

## **1.-Introduccion.**

La Presa de Calderas se ubica en el cantón Yesera de la provincia Cercado del departamento de Tarija, teniendo un área de aprovechamiento de riego en la misma provincia. Ubicado norte oeste con la provincia Méndez al sur con la provincia Avilés, y las comunidades del Barbecho y Gamoneda Santa Ana, al este con provincia de Buret O'conor. Dicha presa deberá suministrar agua de riego a 1.229 Ha de tierra agrícola, a las comunidades que comprende de la zona Yesera Sud que son Caldera Chica, Hornos, Curuyo, Gamoneda, Santa Ana Barbecho y Santa Ana Baja. Situadas en ambas margen del río Caldera, y el rio yesera este proyectó beneficiara más de 305 familias, siendo los cultivos más destacados de la zona como el maíz, papa, cebolla vid entre otros.

El proyecto de Riego Calderas es una presa de cierre sobre el cauce del río Calderas consiste en la construcción de infraestructura para el trasvase de agua del rio yesera al rio calderas, que se encargara de almacenar de 5 hm<sup>3</sup> aprovechables para el sistema de riego.

La conducción de aguas al perímetro de riego se efectúa mediante dos canales principales, uno discurriendo por la margen derecha del río Calderas y otro por la margen izquierda.

El canal de margen derecha se prolongará hasta cruzar el río Gamoneda, alcanzando a las comunidades de Santa Ana Barbecho y Santa Ana Baja. El canal de margen izquierda cruzará el río Yesera para cubrir áreas agrícolas ubicadas en la comunidad Hornos y en la zona baja del cerro Volcán Loma.

En el uso actual de las tierras en las comunidades que están en los márgenes de los ríos Calderas, Yesera y Gamoneda, tienen uso agrícola bajo riego, especialmente durante la estación seca del año, el proyecto Calderas mejora la producción agrícola, en más del 50% de la producción del área bajo riego, siendo su utilización para el mercado de Tarija y el saldo para el autoconsumo y semilla

## **1.2.-Justificación:**

**Técnico.**-Se justifica técnicamente por el estudio de los recursos hídricos en general, para su aprovechamiento y satisfacer las demandas de agua de los cultivos, a partir de un análisis de los diferentes parámetros y requerimientos de los indicadores hidrológicos (Evapotranspiración, Coeficiente de cultivo, demanda neta, volumen de agua requerido, etc.), que nos permita tener un riego optimo y disponer de agua con calidad en el momento oportuno y en el lugar preciso para lograr el desarrollo y el bienestar de las familias de la zona.

**Económico.**-Es indispensable elaborar un plan de cultivo para el área de riego del embalse de la presa calderas, determinando los indicadores técnicos y económicos en el uso eficiente del agua y así mejorar el rendimiento de los cultivos de la zona con el fin aumentar los ingresos económicos del productor, y beneficiar los mercados de Tarija.

**Social.**-Ampliar el número total de beneficiados con el proyecto calderas a través del uso eficiente del agua de riego determinando los indicadores sociales de desarrollo, aumentando la superficie de cultivos, implementando nuevos cultivos, y mejorando el sustento de las familias de la zona y al mismo tiempo evitar la migración de área rural al área urbano. El acceso al agua en las comunidades es fundamentalmente para la obtención de una mejor calidad de vida.

### **1.3.-Objetivos**

#### **1.3.1.-Objetivo General**

Determinar la demanda de agua para riego, en los cultivos más representativos, con el fin de optimizar el uso eficiente del agua de riego, a través de un plan de cultivo en el área de influencia de la presa de calderas.

#### **1.3.2.-Objetivos Específicos**

- Identificar los principales cultivos implementados en las comunidades, con el fin de conocer el área de sembradío, para determinar la demanda de agua de riego.
- Establecer un plan de cultivos, para la dotación de un riego óptimo; con la incorporación de nuevos cultivos, que permita la ampliación de la frontera agrícola de los agricultores de la zona.
- Realizar el balance hídrico de los principales cultivos de la zona, calculando los diferentes indicadores técnicos, que permitan determinar el requerimiento neto de agua y el volumen total requerido, para un buen aprovechamiento del recurso hídrico de la presa caldera.
  
- Realizar una comparación del volumen de agua de riego aprovechable de la presa, con los datos calculados en el proyecto de investigación, con la finalidad de proyectar la ampliación de la superficie cultivada, en las comunidades de Caldera Chica, Hornos, Curuyo, Santa Ana Barbecho, Santa Ana Baja y Gamoneda.

#### **1.4.- Hipótesis**

Mediante el balance hídrico en el área de incidencia del proyecto caldera, es posible determinar la demanda neta de agua de los diferentes cultivos, conociendo el comportamiento fisiológico de los cultivos y la influencia de los factores climáticos edafológicos a cada variedad de cultivo.



## **2.-Marco Teórico**

### **2.1.-El Riego en el Departamento Tarija:**

En el departamento de Tarija hay un alto potencial agrícola, y áreas aptas para el cultivo en descanso, por eso la importancia del riego en las habilitaciones de nuevas áreas de cultivo para incrementar la producción agropecuaria y lograr el desarrollo de la región.

El potencial agrícola intensivo en el departamento es de 225.185 hectáreas, de las cuales se cultivan el 56% (125.300,0 ha).

En el departamento de Tarija, actualmente se riegan aproximadamente 19.558 hectáreas y se encuentran en ejecución 13.160 Ha en todo el territorio departamental, representando una cobertura del 26% (32.718 ha) sobre el total de tierras con uso actual agrícola y pecuario intensivo sujetas a riego (125.300 ha).

(Plan Departamental del Agua de Tarija “Agua para Todos y para Siempre 2013 – 2025”)

### **2.2.- Suelo**

El suelo es un mineral no consolidado en la superficie de la tierra. Que está influenciado por factores genéticos y el medio ambiente el clima, temperatura humedad los macro y micro organismos y la topografía todos ellos actuando en un periodo de tiempo originando un producto el suelo con muchas propiedades y características físicas, químicas, biológicas, morfológicas, su función es nutrir, sostener y ser el conducto de agua hacia la planta.(Cisneros 2003).

#### **2.2.1.-Propiedades Físicas del Suelo.-**

las principales características de suelo son textura, estructura, densidad aparente, densidad real, porosidad, distribución de poros por el tamaño, consistencia, infiltración, permeabilidad, conductividad hidráulica, percolación y color estas interactúan entre ellas formando una variedad de suelos.(Cisneros 2003).

### **2.2.1.1.-Textura.-**

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, de limo y de arenas de menos de 2 mm de diámetro.

### **2.2.1.2.- Estructura.-**

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados del suelo. (FAO).

- a. Granular.** 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. Migajosa.** Relativamente porosos; agregados pequeños y esferoidales no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".
- c. Laminar.** 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.
- d. Bloques angulares.** 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".
- e. Bloques subangulares.** Gránulos similares a bloques limitados por otros agregados, cuyas caras angulares redondeadas forman el molde del gránulo. Se localiza generalmente en el horizonte "B".
- f. Prismática.** Agregados similares a columnas con las partes superiores no redondeadas. Algunos agregados prismáticos se rompen en pedazos de bloques más pequeños y se localiza generalmente en el horizonte "B". (Cisneros 2003).

### 2.2.1.3.- Densidad Aparente.

La densidad aparente de un suelo, se define como el cociente que resulta de dividir el peso de suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros. Usualmente se expresa en  $\text{g/cm}^3$ . Para fines prácticos, conceptualmente esto es lo mismo que la gravedad específica, peso específico o peso volumétrico.

$$Da = Pss/Vt$$

**Dónde:**

$$Da = \text{Densidad aparente (g/cm}^3\text{)}$$

$$Pss = \text{Peso del suelo seco (g)}$$

$$Vt = \text{Volumen total (cm}^3\text{)}$$

Los valores de la densidad aparente varían en función de las propiedades de los suelos fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica. Sin embargo como valores medios se tienen los siguientes:

$$\text{Arenas } 1.4 - 1.6 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Francos } 1.3 - 1.4 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Arcillas } 1.1 - 1.3 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Suelos orgánicos } 0.7 - 1.1 \text{ g/cm}^3$$

La determinación de la densidad aparente puede hacerse por diferentes métodos; con muestras alteradas e inalteradas. Entre ellos se pueden mencionar:

- a) Método de campo utilizando plástico.
- b) Utilizando barrenas o cilindros de volumen conocido (método de campo).
- c) Método del terrón o parafina (método de laboratorio).
- d) Método del petróleo (método de laboratorio). (Cisneros 2003)

#### 2.2.1.4.-Densidad Real.

La densidad real de un suelo, es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (Pss) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (Vp).

$$Dr = Pss/Vp$$

**Dónde:**

Dr = densidad real (g/cm<sup>3</sup>)

Pss = peso del suelo seco (g)

Vp = volumen de las partículas (cm<sup>3</sup>)

La densidad real se puede considerar casi constante debido a que varía de 2.60 a 2.75 g/cm<sup>3</sup> (Cisneros 2003).

#### 2.2.1.5.- La porosidad.

Se define como el porcentaje del volumen total de suelo que está ocupado por los poros siendo ocupados por aire y/o por agua. Los factores que determinan son principalmente la textura, estructura y la cantidad de materia orgánica (Donoso, 1992).

$$Pt = V/Vt * 100$$

**Dónde:**

Pt = porosidad, %

V = volumen de vacíos, cm<sup>3</sup>

Vt = volumen total, cm<sup>3</sup>

Los valores de la porosidad fluctúan alrededor de los porcentajes siguientes:

30% para las arenas

50% para las texturas francas

65% para las arcillas



### **2.2.1.6.-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

#### **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

### **2.2.1.7.-Percolación.**

Según Ortiz y Ortiz (1988), 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. (Cisneros 2003).

### **2.2.2.-Propiedades Química del Suelo.**

#### **2.2.2.1.-EL PH.**

El PH es la medida analítica de las características de la acidez y basicidad del suelo, la determinación si un pH del suelo ácido a básico se lleva a cabo con el peachímetro.

El pH del suelo es generalmente considerado adecuado en agricultura si se encuentra entre 6 y 7. En algunos suelos, incluso con un pH natural de 8, pueden obtenerse buenos rendimientos agropecuarios. En la mayoría de los casos, los pH altos son

indicadores de la presencia de sales solubles, por lo que se requeriría acudir al uso de cultivos adaptados a los ambientes salinos. Del mismo modo, un pH muy ácido, resulta ser otro factor limitante para el desarrollo de los cultivares, el cual puede corregirse mediante el uso de enmiendas como la cal. Del mismo modo, a veces se aplican compuestos de azufre con vistas a elevar el pH de los suelos fuertemente ácidos. (Enciclopedia libre).

### **2.3.-Relación Suelo - Agua – Planta – Atmosfera.**

El estudio integrado de las relaciones suelo – agua –planta – atmosfera es de trascendental importancia en la Ingeniería del Regadío, sobre todo cuando se está planificando un nuevo sistema de riego. (Torrico 2003).

### **2.4.- Relación Suelo – Agua.**

El contenido de agua en el suelo tiene un efecto principal sobre el desarrollo fisiológico de las plantas. Las relaciones más importantes son: capacidad de retención de humedad; infiltración; redistribución; ascenso capilar; conductividad hidráulica.

#### **2.4.1.-Capacidad de Retención de Humedad.**

Se refiere a la capacidad que tienen los suelos de retener humedad. Esta propiedad de los suelos depende de varios factores entre los cuales se destacan: la textura, la densidad aparente, los coloides del suelo y la materia orgánica.

Existen tres puntos característicos de humedad en el suelo: Humedad de saturación; capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

##### **2.4.1.1.-La Humedad de Saturación HSS.**

Es el contenido de humedad cuando el suelo está saturado y en cuyo caso el potencial de agua del suelo es cero. Esa es la máxima capacidad de retención de humedad. La saturación depende de la textura y densidad aparente del suelo y especialmente de la porosidad del mismo.

#### **2.4.1.2.-La capacidad de campo CC.**

Es el contenido máximo de humedad del suelo en condiciones de buen drenaje. En otras palabras es el contenido de humedad de un suelo, previamente saturado, luego de la acción de la gravedad. La capacidad de campo puede ser determinada en el campo o en el laboratorio.

$$C = Cc - Pm$$

**Dónde:**

**C** = Capacidad de retención de agua por el suelo

**Cc** = capacidad de campo

**Pm** = punto de marchitez

#### **2.4.1.3.-El Punto de Marchitez Permanente PMP.**

Representa el contenido de humedad del suelo en el cual las plantas se marchitan permanentemente. Al igual que las otras características, depende altamente de la textura del suelo. La determinación del punto de marchitez permanente se determina en el laboratorio y se corresponde con el contenido de humedad a una succión (tensión) de 15 atmósferas (Cisneros 2003).

#### **2.4.2-La Infiltración.**

Se refiere al paso del agua desde la superficie del terreno hacia el perfil del 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.

Los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

1. Textura. Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
2. Estructura. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.

3. Cantidad de materia orgánica. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
4. Profundidad del suelo a una capa endurecida “hard pan”, lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
5. Cantidad de agua en el suelo. En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.
6. Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.
7. 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. (Cisneros 2003).

#### **Clasificación de la Magnitud de Infiltración.**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>MAGNITUD (cm/hr)</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
MUY LENTA	< 0.25	Suelos con un alto contenido de arcilla.
LENTA	0.25 - 1.75	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados.
MEDIA	1.75 - 2.50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos.
RÁPIDA	> 2.50	Suelos arenosos o migajones limosos profundos y de buena agregación

### **2.4.3.-La Redistribución.**

Es el proceso mediante el cual el agua se mueve en el suelo de acuerdo a los “potenciales del agua” del mismo. De esa manera, ésta se mueve desde sitios de mayor contenido de humedad (potencial) hacia otros de menor potencial.

(Cisneros 2003).

### **2.4.4.-El Ascenso Capilar.**

Es el movimiento del agua desde el nivel freático por efecto de la capilaridad de los suelos. El ascenso capilar depende de la textura y composición de los suelos y de los gradientes de humedad existentes. El ascenso capilar puede alcanzar alturas mayores de un metro. (Cisneros 2003).

### **2.4.5.-La Conductividad Hidráulica.**

Puede definirse como la capacidad de transmisión de agua de los suelos, esta puede ser saturada o no saturada en la práctica sólo se usa la conductividad hidráulica saturada, comúnmente llamada permeabilidad. Esta propiedad de los suelos depende en gran parte de la textura de los suelos.

Esta conductividad hidráulica, representa el coeficiente  $k$  en la ley de Darcy:

En la que:

$$V = k * i$$

#### **Dónde:**

$V$  = velocidad del flujo efectivo (cm/hr)

$i$  = gradiente hidráulico (a dimensional)

El coeficiente  $k$  tiene las mismas dimensiones que una velocidad. Los edafólogos suelen medirla en cm/hr o mm/hr; los hidrólogos prefieren el empleo de las unidades cm/día o m/día. En cálculos de drenaje se prefiere utilizar estas últimas.

### Valores de K según tipo de suelos

CLASE	K
	(m/día)
Muy baja	menos de 0.05
Baja	0.05 - 0.3
Media	0.3 - 1.0
Alta	1.0 - 5.0
Muy alta	más de 5.0

Es necesario mencionar, que la conductividad hidráulica o la permeabilidad y sus valores, tienen numerosas aplicaciones en el proyecto de canales, presas y explotación de acuíferos. (Cisneros 2003).

#### 2.4.6.-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.

Separación de la fuerza total de retención de agua ( $\Psi_t$ ) en sus fuerzas componentes se ilustra con la:

**Ecuación:**

$$\Psi_T = \Psi_M + \Psi_g + \Psi_p + \Psi\pi + \Psi$$

**Dónde:**

$\Psi_T$  = 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).

$\Psi\pi$  = potencial osmótico que resulta de la concentración de sales en el suelo, es apreciable en suelos salinos y obstaculiza la absorción de agua y nutrientes por la planta (atm).

$\Psi\Omega$  = cualquier otra presión externa, es pequeña (atm).

Generalmente la *tensión* o *succión* es numéricamente igual a  $\Psi_T$ , que es aproximadamente igual a  $\Psi_M + \Psi\pi$ , está dado en bares o atmósferas positivas.

(Cisneros 2003)

## 2.5.-Relaciones Suelo – Planta.

La Comisión Nacional de Riego y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile Define en el 2002 en el estudio Relación suelo, agua, planta.

Que la absorción de agua y de minerales esenciales para su desarrollo lo hace a través de las hojas y raíces las plantas obtienen normalmente sus necesidades hídricas y elementos minerales a partir del suelo. Ambos, suelo y planta, están sometidos a los efectos de la lluvia, el sol y viento, que generan un mayor o menor grado de evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas. Este proceso se conoce como evapotranspiración.

El suelo provee 4 necesidades importantes para las plantas:

- a).- Disponibilidad de nutrientes.
- b).- Disponibilidad de agua.
- c).- Un aporte de oxígeno.
- d).- Un soporte para el sistema radicular.

### **2.5.1.-Disponibilidad de Nutrientes.**

El suelo es el principal suministrador de nutrientes para las plantas, sin embargo, el mismo suelo puede ofrecer limitaciones para el uso de los mismos, tales como el **pH**. La disponibilidad de nutrientes para el uso de las plantas dependerá de las formas como están los nutrientes en el suelo y de la **capacidad de intercambio de cationes**. Además de lo anterior, la disponibilidad de nutrientes en el suelo dependerá del contenido de humedad de los mismos, por otro lado, la absorción de nutrientes por las plantas dependerá de aquellos nutrientes que estén en menor cantidad, en respuesta a la famosa “ley del mínimo” (Rojas, 2002)

### **2.5.2.-Disponibilidad de Agua.**

La disponibilidad de agua es una de las más importantes relaciones suelo-planta. El suelo almacena agua y la pone a disposición de las plantas dependiendo del contenido de humedad y potenciales de agua.

Cada planta requiere de condiciones ideales de abastecimiento de agua y cuando éstas no son cumplidas, la planta comienza a sufrir de “stress hídrico”.(Rojas, 2002)



### **2.5.3.-Salinidad y Alcalinidad.**

El contenido de sales de los suelos tiene influencia sobre la asimilación de agua por los cultivos ya que aumenta el potencial osmótico de la solución del suelo; esto trae como consecuencia una disminución del crecimiento de los cultivos.

Por otra parte, el contenido de sodio de los mismos afecta la estructura de los suelos y disminuye la infiltración. La determinación del contenido de sales de los suelos se realiza mediante análisis de laboratorio (Rojas, 2002).

### **2.5.4.-Toxicidad.**

Algunos componentes minerales del suelo pueden ser tóxicos para las plantas o interfieren la asimilación de nutrientes. Los casos más importantes son los del boro y el aluminio.

El boro puede perjudicar el desarrollo foliar de los cultivos induciendo necrosis de los tejidos. El aluminio puede perjudicar el desarrollo de las raíces. (Rojas, 2002).

### **2.5.5.-Compactación.**

La compactación de los suelos afecta la densidad aparente de los mismos, disminuyendo el agua disponible, limitando la penetración de las raíces y disminuyendo la aireación. La compactación puede ser provocada por un mal manejo de los suelos. El pié de arado, es uno de los efectos más conocidos. (Rojas, 2002).

### **2.5.6.- Efecto de las Plantas Sobre el Suelo.**

En los temas anteriores se ha mencionado el efecto de los suelos sobre las plantas; en esta sección se mencionarán algunos aspectos positivos de las plantas sobre los suelos. Entre los efectos más importantes son: incorporación de materia orgánica, protección contra la erosión, mejoramiento de la infiltración, fijación de nitrógeno y formación del suelo. (Rojas, 2002).

Uno de los efectos más importantes es la **incorporación de materia orgánica al suelo**, la cual, a su vez, además mejorar la fertilidad del suelo, tiene influencia sobre la infiltración, retención de humedad y erosión.

### **2.5.7.- Eficiencia de Aplicación de Riego.**

La eficiencia del riego ( $E_a$ ), es la fracción del agua aplicada en el riego que se almacena en el suelo y que está disponible para el cultivo. La aplicación, se expresa normalmente en porcentajes, en la mayoría de los planes de riego, la eficiencia de aplicación no rebasa del 60% especialmente en los primeros años de funcionamiento del proyecto, con frecuencia se dan eficiencias muy diferentes.

(Torrico 2003)

### **2.6.-Relaciones Planta-Atmósfera.**

Las relaciones planta-atmósfera pueden ser analizadas considerando que los factores agua y suelo no son limitantes, la atmósfera influye a la planta a través del clima, nitrógeno y dióxido de carbono este es absorbido a través de los estomas.

#### **2.6.1.-Clima:**

Son los diversos fenómenos meteorológicos que integrados constituyen y caracterizan el estado del tiempo.

- Precipitación
- Humedad relativa
- Radiación solar
- Vientos
- Velocidad y dirección de los vientos
- Nubosidad
- Presión atmosférica

En las estaciones meteorológicas se estudia el clima por medio de instrumentos adecuados o en caso contrario, por apreciaciones personales ajustada a escalas preestablecidas. (Mariscal, 1992).

Entre las relaciones más importantes se encuentran: El crecimiento potencial, La fotosíntesis, la temperatura y la evapotranspiración potencial o de referencia.

### **2.6.1.1.-Crecimiento Potencial.**

El crecimiento potencial de las plantas depende de la energía solar, la temperatura ambiental y del suelo. Para que ese crecimiento se manifieste, tendrá que haber condiciones ideales de suelo y agua. (Rojas, 2002).

### **2.6.1.2-Temperatura.**

Es fundamental la importancia de la temperatura en el crecimiento de cultivos. Cuando la temperatura es muy alta puede ocurrir un **stress de temperatura** (Rojas, 2002).

### **2.6.1.3-Fotosíntesis de la Planta.**

Planta es una fábrica perfecta ya que aprovechando la energía solar, las plantas producen alimento, directo o indirectamente, para casi todas las formas de vida extraterrestre a partir de anhídrido carbónico y minerales este proceso conocido como la fotosíntesis.

La transpiración de las plantas es el proceso de eliminación de vapor de agua a través de los estomas (poros minúsculos), que se encuentran principalmente en la epidermis de las hojas. La radiación solar (luz visible u otras formas de energía radiante provenientes del sol), actúa sobre la apertura y cierre de los estomas. Cuando la luz desaparecen los estomas se cierran y la transpiración, supuestamente, se detiene. Con relación a la humedad relativa (presión de vapor de la atmósfera), mientras más alta sea menor es la transpiración. La temperatura está directamente relacionada con la presión de vapor, tanto al interior de los órganos de la hoja, como de la atmósfera circundante; a mayor temperatura menor es la presión de vapor y, por lo tanto, mayor es la transpiración. El viento aumenta la gradiente de presión de vapor a través de los estomas y, en consecuencia, aumenta la transpiración.

Todo lo anterior implica la pérdida de agua desde la planta, pero, para que realmente esta pérdida se produzca, la planta tiene que haber absorbido agua desde el suelo a través de las raíces. Ambos procesos, absorción y transpiración, son esenciales para la sobrevivencia de las plantas.

El proceso de evaporación de la humedad desde el suelo adyacente a las plantas (sin ser utilizada por ellas), incluida la del agua depositada por el rocío y la lluvia, ocurre conjuntamente con la transpiración. La suma de estos dos procesos es lo que se define como evapotranspiración, la cual se mide en mm por día o mm por mes.

#### **2.6.1.4.-Definición de la Evapotranspiración.**

El concepto de **Evapotranspiración** (ET) combina los procesos de evaporación y transpiración y se define como la pérdida de agua desde una superficie con cubierta vegetal (Elías y Castell 1996). La evapotranspiración es igual a la suma del agua evaporada directamente durante el proceso de riego o lluvia, del agua evaporada desde el suelo, de la evaporación del agua libre interceptada y retenida en la superficie de la cubierta vegetal, y del agua absorbida por el cultivo y transpirada hacia la atmósfera (Olalla y De Juan, 1993).

La **Evaporación**, es el proceso por el cual el agua líquida pasa al estado de vapor mediante el consumo de su calor latente de evaporación y se desplaza desde una superficie a la atmósfera que la rodea. La energía necesaria para este cambio la proporciona fundamentalmente la radiación solar directa y en menor medida la temperatura del aire circundante (Allen *et al.*, 1998). El paso de agua de la superficie evaporante a la atmósfera se desarrolla por la diferencia de presión de vapor de agua entre ambos medios. Conforme se desarrolla el proceso de evaporación, el aire circundante se va aproximando al punto de saturación y el proceso se ralentizaría hasta detenerse si el viento no renovara la capa de aire saturada.

La **Transpiración**, consiste en la vaporización del agua líquida almacenada en los tejidos de un vegetal y en su arrastre a la atmósfera. La vaporización del agua ocurre en los espacios intercelulares de las hojas. El intercambio gaseoso con la atmósfera se realiza a través de los estomas en función de su grado de apertura.

Este proceso, al igual que el de evaporación, depende de la energía disponible, del gradiente de presión de vapor y de la velocidad del viento (G.Allen 1998).

La ET se expresa normalmente en unidades de altura de agua evapotranspirada en una unidad de tiempo; generalmente en mm (equivalentes a  $1 \text{ m}^{-2}$ ) en una hora, día, decena, mes o durante un ciclo de cultivo o año. La equivalencia de esa altura de agua con la unidad más usual en el medio agrario es:

$$1 \text{ m}^{-2} \text{ ó } 1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

Factores que afectan la transpiración Humedad relativa, Temperatura, Humedad del suelo, La luz, El viento, La cobertura vegetal.(G.Allen 1998).

Los factores que influyen en la ET son principalmente:

1. Factores meteorológicos.
2. Factores relacionados con la vegetación.
3. Factores ambientales o de manejo.
4. Las fases vegetativas del cultivo.

#### **2.6.1.4.1.-Factores Meteorológicos.**

Según Allen (1998), los principales factores meteorológicos que afectan a la ET son: radiación solar, temperatura y humedad del aire y velocidad del viento.

##### **2.6.1.4.1.1.- Radiación Solar.**

Como se ha comentado anteriormente, la energía necesaria para que se desarrollen los procesos de evaporación y transpiración es proporcionada en su mayor parte por la radiación solar. La cantidad potencial de radiación disponible depende de la localización geográfica (latitud) y del momento del año en el que se quiere evaluar el proceso de evapotranspiración. La radiación real que incide en la superficie

evaporante viene determinada por la turbidez atmosférica y la presencia de nubes, las cuales pueden reflejar o absorber una parte de la radiación.

Se define como radiación neta a la suma algebraica del balance de radiación solar de onda corta y el balance de radiación de onda larga. El balance de radiación de onda corta es la diferencia entre la radiación solar global incidente en una superficie y la reflejada por esa superficie. El balance de radiación de onda larga es la diferencia entre la radiación emitida por las nubes y partículas atmosféricas hacia la superficie y la emitida a su vez por esta superficie. Una parte de la energía disponible como radiación neta se utiliza en el proceso de evapotranspiración, y otra parte se utiliza también en el calentamiento o enfriamiento del aire y del suelo. Si una superficie vegetal está bien provista de agua, lo normal es que la mayor parte de la radiación neta se utilice en el proceso de evapotranspiración (Olalla y De Juan, 1993).

#### **2.6.1.4.1.2.-Temperatura del Aire.**

La temperatura del aire varía en función de la radiación solar que incide sobre una superficie y el calor emitido y/o transmitido por el suelo. Esa variación en la temperatura del aire influye en el proceso de ET en la medida que modifica los valores del déficit de presión de vapor. Cuanto más cálido es el ambiente mayor será la ET a igualdad del resto de condiciones. Esto se debe a que la capacidad de retención de vapor de agua por parte del aire y por lo tanto, el déficit de presión de vapor son mayores en esas condiciones (G.Allen 1998).

#### **2.6.1.4.1.3 Humedad del Aire.**

El movimiento de vapor de agua desde la superficie evapotranspiradora al aire que la rodea dependerá de la diferencia de presión de vapor entre ambos medios. En ambientes áridos, la atmósfera tiene un gran poder desecante y la tasa de ET es muy elevada (si existe suficiente agua disponible) mientras que en ambientes más húmedos, a igualdad de otros factores, esta tasa es menor (G.Allen 1998).

#### **2.6.1.4.1.4.-Velocidad de Viento.**

Durante el proceso de ET, la atmósfera que rodea a la superficie evapotranspiradora se va saturando de vapor de agua. Si no hay renovación de esa masa de aire, la tasa de ET va disminuyendo, pero si el viento reemplaza el aire húmedo por otro más seco, el proceso continúa. Cuanto mayor sea la velocidad de viento, mayor será esa renovación y por lo tanto mayor será la cantidad de vapor que pierde la superficie evapotranspiradora hasta llegar a un límite máximo. Este límite estará determinado por factores propios de la vegetación y del suelo (conductividad hidráulica, estado hídrico, etc.).(G.Allen 1998).

#### **2.6.1.4.2.-Factores Relacionados con la Vegetación.**

La temperatura de una superficie cubierta por un vegetal dependerá de su estructura y de su capacidad de regulación térmica. Estas características pueden hacer variar el balance de energía y, por lo tanto, la evapotranspiración de esa cubierta vegetal (Olalla y De Juan, 1993).

El albedo de una cubierta vegetal, su área foliar o su rugosidad aerodinámica son consideradas por muchos autores como determinantes de la ET. Estas características dependen del tipo de planta, de la variedad, de su estado de desarrollo y altura, etc.

#### **2.6.1.4.3.-Factores Ambientales o de Manejo.**

Factores como la salinidad del suelo, la fertilidad, la presencia de horizontes impenetrables, el grado de afección por plagas o enfermedades u otros que puedan afectar al desarrollo normal del cultivo pueden modificar la tasa de ET disminuyendo su valor. También deben tenerse en cuenta la cobertura del suelo, la densidad de plantación, el área foliar, la altura del cultivo y por supuesto, la disponibilidad de agua en el suelo. Cuando el cultivo crece y va cubriendo el suelo, la tasa de ET aumenta como consecuencia del incremento del área foliar y de la altura de las plantas.

Las características propias de un suelo también influyen en la ET. Así, aquellos suelos cuyas propiedades hidráulicas reduzcan el ascenso capilar de agua hacia la superficie del suelo o el movimiento de agua hacia la zona radicular de la vegetación, tendrán tasas de ET reducidas con respecto a suelos con mayores conductividades hidráulicas (Olalla y De Juan, 1993).

Por último, el manejo del cultivo también es un factor a tener en cuenta cuando se evalúa la ET. Las prácticas de cultivo o el sistema de riego pueden modificar las características de las plantas o del ambiente que le rodea afectando a la tasa de ET. Por ejemplo, el sistema de poda de conducción en los frutales condiciona la superficie foliar de la planta y por lo tanto la ET.

#### **2.6.1.5.-Evapotranspiración de Referencia ( $ET_0$ ).**

La evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) es un concepto nuevo, que anteriormente correspondía al concepto de evapotranspiración potencial (ETP).

Es la cantidad de agua evaporada y transpirada desde una superficie de referencia con cubierta vegetal en activo crecimiento, la cual se mantiene con superficie de humedad, esta superficie de referencia es un cultivo hipotético de paso con características específicas. (Martin Smith 2003).

Dado que los únicos factores que afectan la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ), son los climáticos, esta se constituye en un índice climático y puede ser calculada por medio de datos climáticos.

Sin embargo con fines investigativos y de calibración se utiliza métodos de campo adecuados aunque de largo y difícil manejo (Martin Smith 2003).

##### **2.6.1.5.1.-Determinación de la Evapotranspiración Referencia.**

La evapotranspiración (ET) se puede determinar mediante medición (directa o indirecta) o mediante su estimación a partir de variables relacionadas. Para la medición de la ET es frecuente utilizar técnicas como la lisimetría, métodos micro meteorológico, fisiológico, etc. Para su estimación se recurre a la utilización de



algoritmos de cálculo en los que intervienen distintas variables meteorológicas o incluso técnicas de teledetección. Sin embargo estos métodos de estimación siempre están sujetos a una calibración frente a valores reales obtenidos por medición directa o indirecta. A continuación se presenta una breve descripción de algunas técnicas de medición y de estimación de la ET.

#### **2.6.1.5.1.-Métodos Directos.**

##### **2.6.1.5.1.1.-Metodo Lisímetros.**

Según Aboukhal (1982), un lisímetro se puede definir como un contenedor de suelo, con o sin cultivo, instalado en una parcela que representa las condiciones ambientales de la zona y que se utiliza para determinar el consumo de agua del suelo desnudo, de un cultivo o de una pradera de gramíneas. Los lisímetros basan su funcionamiento en el control y medida de los componentes del balance hídrico y son los únicos instrumentos que realmente permiten medir directamente la ET.

Hay varios tipos de lisímetros los cuales presentan distintas formas de medición de los componentes del balance hídrico. Según Jensen (1973), se pueden establecer tres categorías:

1. Lisímetros de capa freática constante.
2. Lisímetros de drenaje.
3. Lisímetros de pesada

En los lisímetros de capa freática constante, una parte del contenedor se mantiene saturada.

Artificialmente de forma que desde allí llegue el agua por ascenso capilar hasta la zona donde se sitúan las raíces. Controlando el volumen de agua necesario para mantener el freático al mismo nivel durante un tiempo, el aporte de agua por riego o lluvia y la variación de la humedad en el suelo, se puede obtener el valor de la ET en ese periodo. Los lisímetros de drenaje sin embargo permiten la medida del volumen de agua de percolación profunda mediante un sistema de drenaje o succión. El

funcionamiento de estos dos tipos de lisímetros se puede integrar en uno sólo que permita tanto medir como controlar y variar la capa freática y el drenaje (Faci, 1992).

Los lisímetros de pesada permiten la medida de la variación de la masa del contenedor en el tiempo.

Ese cambio de peso indica las entradas y salidas de agua dentro del contenedor. Si la variación es positiva (aumento de masa) indica una entrada por riego o lluvia, si es negativa (pérdida de masa) indica una salida por drenaje (controlado) o por ET. Este tipo de instrumentos permiten medidas de ET muy exactas en periodos muy cortos de tiempo: días, horas o fracciones de hora y con precisiones de décimas de milímetro.

Existen diversos sistemas de pesada: mecánicos, hidráulicos y de flotación.

(Faci, 1992).

#### **2.6.1.5.1.2.-Métodos fisiológicos.**

Este tipo de métodos incluyen técnicas que miden directamente las pérdidas de agua en alguna parte de la planta, de la planta entera o de un grupo de ellas o bien miden características relevantes de las plantas que permiten la estimación de la transpiración.

Entre estos métodos se pueden incluir aquellos que determinan el flujo de la savia dentro del vegetal por medio de trazadores químicos o mediante la aplicación de campos magnéticos, aunque los más comunes son los térmicos. Estos últimos se justifican por la fuerte capacidad calorífica del agua, cuyo desplazamiento perturba sensiblemente la difusión de calor en los tejidos vegetales (Olalla y De Juan, 1993).

### **2.6.1.5.2.-Métodos Indirectos.**

Para determinar la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) existen varios métodos, los cuales varían cuanto al número de elementos climáticos necesarios para estimar la evapotranspiración ET<sub>o</sub>.

Algunos de estos empíricos más importantes han sido desarrollados por Penman (1948), Thornthwaite (1992), Blanney - Criddle (1950) Doorembos y Pruitt (1977); quienes desarrollaron el método de la Radiación solar Y modificación del método de Penman, (Mariscal, 1992).

Jesen (1973). Realizó una evaluación de varios métodos para estimar ET<sub>o</sub>.

desde el punto de vista de precisión y elementos climáticos necesarios para su cálculo.

Este autor concluyó que no existe un método universal que sea adecuado bajo todas las condiciones climáticas y que el método seleccionado dependerá de los datos meteorológicos disponibles, de entrenamiento y experiencia del usuario, así como de la precisión requerida en las estimaciones.

Entre los métodos que se han hecho más conocidos y están bien, difundidos, por ser tal vez fácilmente adaptables a las condiciones locales, y que permiten estudiar el efecto del clima sobre los cultivos, especialmente en relación con las demandas de agua para la producción de cosechas óptimas entre ellos se puede citar los siguientes métodos:

- 1. Método Hargreaves**
- 2. Método de Thornthwaite**
- 3. Método Blanney --- Criddle**
- 4. Método del Tanque de Evaporación – Clase A**
- 5. Método de Radiación**
- 6. Método de PenmanMonteith**

### 2.6.1.5.2.1.- Método de Hargreaves.

La ecuación original del método de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1982 y 1985) calcula la  $ET_o$  a partir de la radiación solar y la temperatura. No es muy frecuente encontrar datos de radiación solar y por ello se generó una aproximación al método en la que se utilizan estimaciones de radiación extraterrestre ( $R_a$ ).

Ésta se determina en función de la latitud y el día del año por lo que finalmente la única variable meteorológica de la que depende el método es la temperatura (Jacobs y Satti, 2001). La forma final de la ecuación de Hargreaves es la siguiente:

$$ET_o = 0.0023 * R_a (T + 17.8) * \sqrt{TD}$$

#### Dónde:

$ET_o$  = Evapotranspiración de referencia mm/día

$R_a$  = radiación extraterrestre mm/día (tablas)

$T$  = Temperatura media diaria en grados Celsius °C

$TD$  = Diferencia de temperaturas promedio diarias en el periodo considerado en grados Celsius °C

$TD$  = temperatura máxima media °C – Temperatura mínima media °C

El profesor George Hargreaves de la universidad de UTHASTAR –EEUU. Desarrollo una fórmula experimental, que permite cuantificar la evapotranspiración, partir de datos de la Radiación Solar y Temperatura, lo que permitió encontrar resultados más precisos de este parámetro, su expresión es:

$$ET_o = 0.0075 * R_s * T^{\circ}F$$

#### Dónde:

$ET_o$  = evapotranspiración de referencia diaria en mm/día

$R_s$  = Radiación solar medida en mm/día

$T^{\circ}F$  = temperatura media diaria, en grados Fahrenheit

### 2.6.1.5.2.2 Método de Thornthwaite.

Se menciona que el método fue desarrollado en los Estados Unidos, para zonas húmedas, se puede aplicar con relativa confianza en regiones de climas similares.

El método fue ampliado a todo el mundo, debido principalmente a variable temperatura y la duración del día solar. Sin embargo actualmente su utilización se ve cada vez más restringida a alturas superiores a los 1500 m.s.n.m. ya que se ha podido comprobar que los resultados son subestimados.

La fórmula es:

$$E_{To} = 10 * L_d * (10 * T/D)^a$$

$$i = [T/S]^{1.514}$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 0,01792I + 0,4924$$

#### Dónde:

$E_{To}$  = Evapotranspiración de referencia mensual, en mm/mes de 30 días de 12 horas de duración.

$L_d$  = Duración de día solar media en unidades de 12 horas en función al latitud y época de año.

$a$  = Constante en función del índice térmico anual.

$i$  = Índice térmico mensual.

$I$  = Índice térmico anual.

### 2.6.1.5.2.3.- Método Blanney – Criddle.

Se considera que la ecuación de Blanney es uno de los métodos más utilizados para estimar la evapotranspiración de referencia  $E_{To}$ , para predecir las necesidades de agua de los cultivos.

El método Blanney – Criddle recurre a la temperatura ( $T$ ) y al porcentaje de hora diarias ( $p$ ) como variables climáticas para presidir los efectos del clima sobre la evapotranspiración. Su expresión matemática es la siguiente:

$$E_{To} = (8.12 + 0.457 * T) * P$$

**Dónde:**

$E_{To}$  = Evapotranspiración de referencia en mm / día.

$T$  = temperatura media diaria en °C.

$P$  = porcentaje diario medias de horas diurnas anuales, depende de la latitud y época del año

### 2.6.1.5.2.4.-Método de Blanney-Criddle modificado por Phelan.

La ecuación de Blanney - Criddle es usada ampliamente en diversas regiones del mundo, en la que se consideran dos parámetros importantes: la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz mensual con relación al total anual.

Originalmente el método se diseñó para el cálculo de la  $E_{Tc}$  durante todo el ciclo vegetativo del cultivo, mediante la siguiente ecuación:

$$E_{Tc} = K_g * F$$

**Dónde:**

$E_{Tc}$ : Evapotranspiración del cultivo, cm.

$K_g$ : Coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y la ubicación de la zona de estudio, a dimensional (TABLA).

$F$ : Factor climático que es equivalente a la ETP (Evapotranspiración Potencial) global, la ecuación que define su cálculo se precisa a continuación:

$$F = \sum_i^n *f$$

Es la suma de los valores “f” de todos los meses (desde el mes 1 hasta mes del ciclo vegetativo del cultivo).

$$F \left( \frac{T + 17.8}{21.8} \right) = P * \text{duración del mes}$$

**Dónde:**

T = Temperatura media mensual °C.

P = Es el porcentaje horas luz %.

Duración del mes es la división del número de días considerados en un mes para el ciclo vegetativo.

$$Kt = 0.0031144 * T + 0.2396$$

**Dónde:**

T = Temperatura media mensual °C

Kt = Corrección de la temperatura

$$ET_o = f * Kt$$

$$ET_p' = ET_o * Kc$$

**Dónde:**

ETp' = Evapotranspiración potencial sin ajustar.

ETo = Evapotranspiración de referencia (cm).

Kc = Coeficiente de cultivo que depende del cultivo y al zona.

$$K' = \frac{\sum ETp'}{\sum_1^n f} =$$

$K'$  = Constante que es el producto evapotranspiración sin ajustar dividida entre la sumatoria de “ $f$ ”.

$$ETp = \frac{K_G}{K'} * ETp'$$

**Dónde:**

$ETp$  = Evapotranspiración potencial ajustada.

$K_G$  = Coeficiente global del cultivo (tabla).

#### **2.6.1.5.2.5.- Método del Tanque de Evaporación - Clase A.**

El tanque de evaporación permite estimar los efectos combinados de radiación solar, viento, temperatura y humedad sobre la evaporación de la superficie de agua, de un modo que la planta responde a las mismas variables climáticas. El tanque de evaporación permite relacionar la evaporación del agua del tanque con la evaporación del cultivo de referencia  $ET_0$ .

Existen una íntima relación entre el proceso de evapotranspiración del cultivo y la evaporación del cultivo y el tanque de tipo A por lo que este método es de gran utilidad para programa de riego en una zona determinada.

(Torrico2004)

#### **2.6.1.5.2.6.- Método de la Radiación.**

Se sugiere en zonas donde los datos climáticos disponibles como la insolación, nubosidad, radiación, y la temperatura del aire medida, para el empleo del método de la radiación para medir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos.



Para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $ET_o$ , a partir de datos de la temperatura y de radiación es la siguiente:

$$ET_o = w * R_s * C$$

**Dónde:**

$ET_o$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia, en mm/día, que representa el valor medio diario.

$R_s$  = Radiación solar recibida en la superficie de suelo media, en mm/día para el periodo considerado, es decir 30 o 10 días.

$W$  = Índice de ponderación que depende de la temperatura y de la latitud.

$C$  = factor de ajuste, que depende de los valores estimados de la humedad y del viento.

Cuando no se dispone de datos medidos de la radiación solar, esta puede ser estimada a partir de las observaciones conocidas de duración de la insolación fuerte o sobre nubosidad la relación es:

$$R_s = (0.25 + 0.50 * n/N) * R_a$$

**Dónde:**

$n/N$  = Es la relación entre la hora reales y las máximas posibles de fuerte insolación en horas.

$R_a$  = radiación extraterrestre en mm/día en función de la latitud y época de la año.

Doorenbos y Pruitt ( 1977 ) concluyen que los resultados que se obtienen con el empleo de este método deben ser más fiables que los obtenidos por el método de Blannet – Criddle.

### 2.6.1.5.2.6.- Método de Penman Monteith

En zonas donde se dispone 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 una fórmula propuesta por Penman Monteith para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de preferencia, por ser esta metodología la que mejor estima los efectos del clima sobre el desarrollo de los cultivos. El cálculo se realiza aplicando la siguiente expresión. (PRONAR).

$$ET_0 = \frac{0.408 * \Delta + Y \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + Y (1 + 0.34 U_2)}$$

#### Dónde:

$ET_0$  = Evapotranspiración de referencia ( mm/día).

$R_n$  = Radiación neta en la superficie del cultivo (  $MJ/m^2/día$  ).

$R_a$  = Radiación extraterrestre ( mm/día)

$G$  = Densidad de flujo del calor del suelo (  $MJ/m^2/día$  ).

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

$U_2$  = Velocidad del viento a 2 m. de altura (m/s)

$e_s$  = presión de vapor de saturación (KPa).

$e_a$  = Presión real del vapor (KPa)

$e_s - e_a$  = déficit de presión de vapor (KPa)

$\Delta$  = Pendiente de la curva depresión de vapor (KPa/°C).

$Y$  = Constante psicométrica (KPa/°C).

En las zonas en las que no se encuentra con datos agro meteorológicos completos, es posible aplicar la fórmula de Penman Monteith, a través de

estaciones de las variables faltantes, como velocidad del viento humedad relativa y radiación solar.

### **2.7.-Relaciones Agua-Planta.**

El agua es el más importante factor de crecimiento de las plantas. Un suelo fértil con buena temperatura, pero seco, no produce nada, de la misma manera un suelo con mucho agua no permite un normal desarrollo de las plantas.

En esta sección se tratarán los temas de: agua y crecimiento, déficit de agua, excesos de agua, calidad del agua y evapotranspiración real. (Rojas, 2002).

#### **2.7.1.-Agua y Crecimiento.**

El crecimiento potencial de las plantas sólo puede ocurrir cuando la humedad del suelo sea suficiente. El estudio de la relación agua – crecimiento es de suma importancia en la planificación de la agricultura de secano y en el diseño de riego y drenaje. (Rojas, 2002).

#### **2.7.2.-Deficit de Agua.**

Lo expuesto en el tema anterior indica que los déficits de agua limitan el crecimiento de las planta y por lo tanto es necesario definirlos para poder planificar el uso de la tierra y para la operación de sistemas de riego.

Para la planificación de un sistema de riego, los déficits son estimados mediante la utilización de balances hídricos diarios o con modelos de simulación. Para ello es necesario conocer las características del clima de humedad de los suelos esta se puede determinar con una metodología idónea y tomar las decisiones pertinentes. (Rojas, 2002).

#### **2.7.3.-Excesos de agua.**

El exceso de agua en el suelo tiene efectos negativos para el crecimiento de los cultivos. Entre los efectos negativos se pueden mencionar: Disminución de la aireación del suelo, disminución de la temperatura del suelo, reacciones químicas en el suelo. De todos ellos la disminución de la aireación del suelo es la más importante. (Rojas, 2002).

#### **2.7.4.-Calidad del agua.**

La calidad del agua puede ser referida a calidad física y calidad química.

La calidad física principal se refiere al contenido de sedimentos y por lo general no afecta a las plantas de forma apreciable. La calidad química afecta a las plantas de dos maneras: Por salinidad y por toxicidad.

Ya se ha mencionado el tema de la salinidad que afecta la disponibilidad de agua. La toxicidad, se refiere a ciertos cationes que afectan directamente a las plantas como el boro o como el aluminio que afecta la disponibilidad de nutrientes (Rojas, 2002).

#### **2.7.5.-Evapotranspiración del Cultivo (ETc).**

Se define que la evapotranspiración del cultivo (ETc), se refiere a la evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades que crece en un campo extenso ( una o más hectáreas ) en condiciones óptimas de suelo. Incluida una fertilidad y una agua suficientes en aquellas zonas el que se llega a potencial de plena producción de ese cultivo con arreglo al medio vegetal dado.

Por lo tanto podemos definir a la evapotranspiración del cultivo mediante la siguiente expresión matemática.

$$ETc = ET_o * Kc$$

**Dónde:**

**ETc** = Evapotranspiración del cultivo en mm/día.

**ETo** = Evapotranspiración del cultivo de referencia, mm/día.

**Kc** = Coeficiente del cultivo.

##### **2.7.5.1.-Factores que Inciden en la Evapotranspiración del Cultivo (ETc).**

La evapotranspiración del cultivo ( ETc ), depende en gran medida de las condiciones locales entre ellas.

- Variación del clima, el tamaño de los campos y las características de su medio circundante.
- La latitud las condiciones de los suelos, como humedad, la salinidad, el método de riego, los métodos de cultivos y a su vez alguna de estos factores dependen en parte de las prácticas agrícolas.

#### **2.7.5.2.-Coeficiente de Cultivo.**

El valor del coeficiente del cultivo  $K_c$ , representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y que produzcan rendimientos óptimos.

##### **2.7.5.2.1.-Coeficiente General de su Elección del ( $K_c$ ).**

Los factores que repercuten en el valor de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), son principalmente las características del cultivo, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo y su duración del periodo vegetativo, las condiciones climáticas y especialmente durante la primera etapa de crecimiento, la frecuencia de las lluvias o del riego. (Ing. Torrico 2004).

##### **2.7.5.2.2.-Etapas de Desarrollo de los Cultivos.**

Las etapas de desarrollo de un cultivo son las siguientes:

- 1.- Etapa inicial:** La etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo.
- 2.-Etapa de desarrollo del cultivo:** La etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa.
- 3.-Etapademediados:** Desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración.
- 4.-Etapa de finales :** Desde el final de la fase demediados hasta que se llega a la plena maduración o a la recolección.

### **2.7.5.2.3.-Definición de Precipitación Efectiva.**

Se define como la proporción de agua retenida en la capa radicular con relación a la cantidad de lluvia caída. Su magnitud depende, de un lado de las características del terreno (condiciones físicas, grado de humedad, pendiente, cobertura vegetal, etc.) y por otra parte las características de la precipitación.

(Altura de la caída de agua, intensidad, duración, frecuencia).

### **2.7.5.2.4.-Métodos para Estimar la Precipitación Efectiva.**

Son muchos los métodos para cuantificar los valores de la precipitación efectiva, aquí nos limitaremos a explicar los más usuales y que pueden adaptarse mejor a las condiciones de nuestro medio.

#### **2.7.5.2.4.1.- Método de Weibull.**

Este método estima precipitación efectiva en base a la precipitación confiable utilizando distribución estadística de Weibull. Para su determinación se utiliza la siguiente ecuación.

$$Pe = Fa * 0.80$$

**Dónde:**

**Pe** = Precipitación efectiva en mm.

**Fa** = precipitación confiable a diferentes niveles de probabilidad.

Para la determinación de la precipitación efectiva se debe considerar a la precipitación confiable con una probabilidad de ocurrencia del 75% para un mes dado.

Los valores de la precipitación confiable  $Fa$  para diferentes niveles de probabilidad, pueden calcularse mediante la distribución estadística de Weibull.

$$Fa = \frac{100 * m}{N + 1}$$

**Dónde:**

**Fa**= probabilidad de ocurrencia de la lluvia en %

**M** = Número de orden en la serie estadística de modo decreciente, por consiguiente:

**m** = 1 es el más importante.

**N**= Número total de eventos de las precipitaciones.

Para tener en cuenta las pérdidas originales en escorrentía superficiales y la percolación profunda se adopta la precipitación efectiva. (Torrice 2003).

**2.7.5.2.4.2.- Método de USDA – Soil Conservación Service.**

Este método relaciona la evapotranspiración y las precipitaciones para determinar lluvia efectiva. En él se indica la relación existente entre la lluvia efectiva mensual media y las mensuales medias para distintos valores de la evapotranspiración mensual media del cultivo. Se supone que la capacidad del almacenamiento de agua en el suelo corresponde a una lámina de 75mm en el momento de riego. Para el caso en el que la capacidad de almacenamiento de agua del suelo es mayor o menor que 75 mm se debe corregir el valor mediante unos factores de corrección (Torrice 2004 ).

#### **2.7.5.2.4.3.-Porcentaje Fijo de Precipitación.**

Para estimar la precipitación efectiva por este método, se indica la siguiente relación.

$$Pe = a * Pt$$

**Dónde:**

**Pe** = precipitación efectiva en mm

**Pt** = precipitación total en mm

**a** = es un porcentaje fijo que debe dar el usuario para tener en cuenta escorrentía y percolación profunda. Normalmente las pérdidas son de 10 a 30 %, por lo tanto 0.7 - 0.9

#### **2.7.5.2.4.4.-Método de la FAO/AGLW.**

Este método está basado en un análisis que se hizo sobre distintos climas áridos y sub húmedos se desarrolló una fórmula empírica por FAO/AGLW para estimar la precipitación fiable ( 80 % probabilidad de excelencia ) y las pérdidas estimadas a escorrentías percolación.

Los cálculos se hacen de acuerdo:

$$Pe = 0.6 Pt - 10 \text{ para } Pt < 70 \text{ mm}$$

$$Pe = 0.8 Pt - 24 \text{ para } Pt > 70 \text{ mm}$$

**Dónde:**

Pe = Precipitación efectiva en mm

Pt = Precipitación total en mm

#### **2.7.5.2.4.5.- La precipitación Efectiva (Pe) PRONAR (2002)**

PRONAR ( 2002 ), Programa nacional de riego, en función a las características agro meteorológicas de las regiones del altiplano, valles, chaco, considera que son efectivas las precipitaciones menores a 12, 15, 20 mm respectivamente.



Las lluvias mensuales resultante de la, y diferencia, son efectiva al 70, 75 y 80 %  
Siendo adoptada la siguiente expresión para el cálculo de la precipitación efectiva.

- Altiplano.....(Pp. mm/ms - 12) \* 0.70
- **Valles** ..... **(Pp. mm/mes - 15) \* 0.75**
- Chaco ..... (Pp. mm/mes - 20)\* 0.80

**Dónde:**

Pp. = precipitación media mensual en mm

**2.7.6.- Demanda de Agua para Riego.**

(Torrico 2004), en su libro elaborado indica cuando se tiene que formular, analizar y evaluar la factibilidad de un proyecto de riego es necesario estimar con precisión los volúmenes de agua que se requiere para obtener una producción optima de los cultivos planteados.

**2.7.7.- Demanda Neta o Necesidad Neta de Riego.**

Las necesidades de riego se refiere a la cantidad de agua ya al momento de su aplicación con el objeto de compensar el déficit de humedad del suelo durante el periodo vegetativo de un cultivo dado.

Estas necesidades de riego quedad determinadas por la evapotranspiración del cultivo menos el agua que han aportado las precipitaciones, las aguas subterráneas, la acumulación de agua en el suelo debido a anteriores precipitaciones o aportaciones de agua superficial y subterráneas.

La demanda neta de riego, puede expresarse de la siguiente manera:

$$\mathbf{Dn = ETc - P e}$$

**Dónde:**

Dn = Demanda neta riego, mm

ETc = evapotranspiración del cultivo también, en mm

Pe = precipitación efectiva en mm

### **2.7.8.- Demanda Bruta o Necesidades Brutas de Riego.**

Para obviar los fallos evitables e inevitables de la aplicación de agua es preciso las necesidades netas de riego, en función de la eficiencia de aplicación de riego, para obtener las necesidades brutas de agua del cultivo.

En la práctica, todos los sistemas de riego en su operación presentan pérdidas de agua por escorrentía, percolación, y otros conceptos, por lo que se hace necesario introducir un factor de refería de riego para estimar las demandas brutas de riego.

La demanda bruta de riego se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Db = \frac{Dn}{Ea}}$$

**Dónde:**

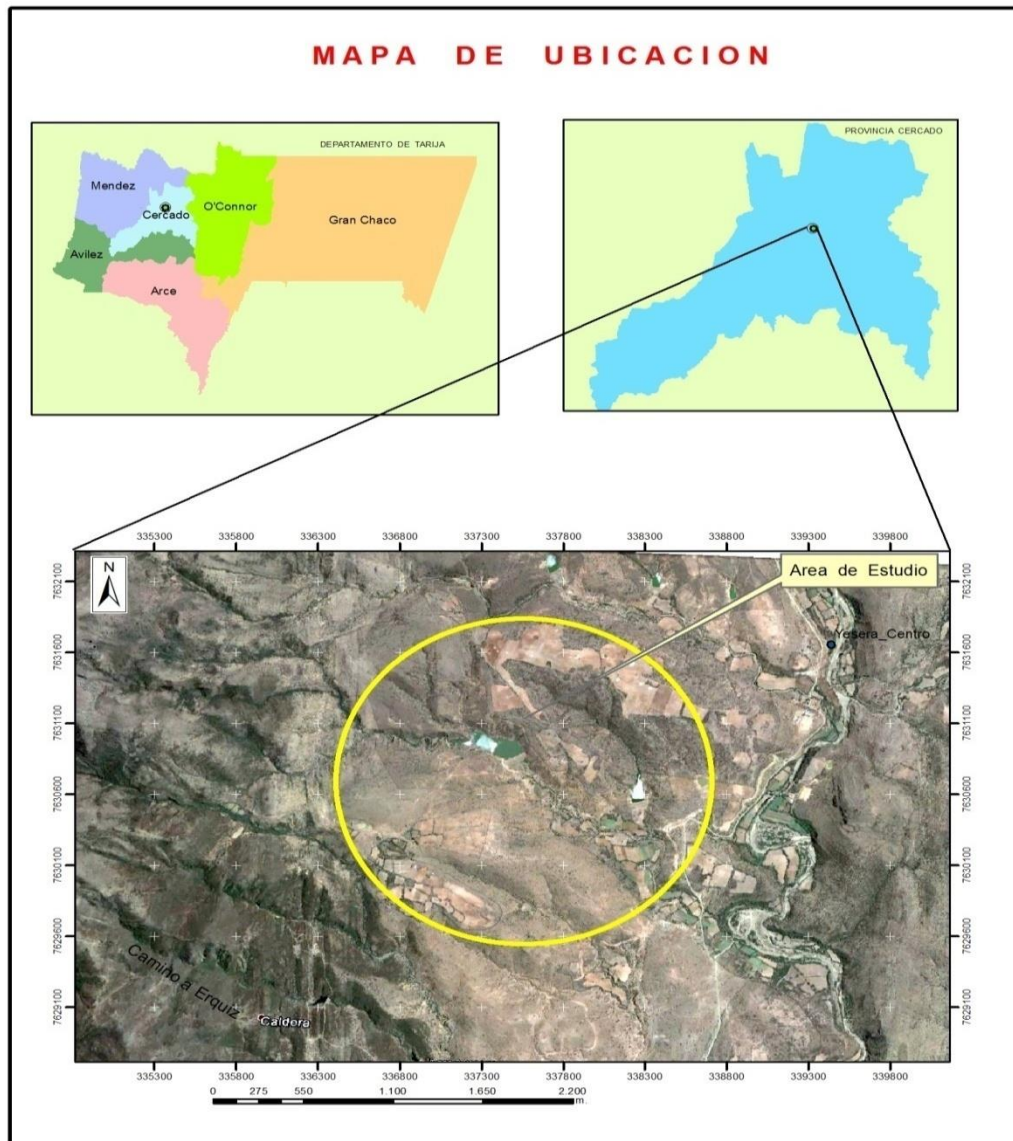
Db = Demanda bruta de riego en mm

Dn = Demanda neta de riego en mm

Ea = Eficiencia de aplicación del riego, en fracción

### 3.1-Localización

El proyecto se encuentra ubicado en el Departamento de Tarija, en la Provincia Cercado en el lugar denominado Caldera Chica del Cantón Yesera, a 30 km de la ciudad de Tarija, entre las coordenadas a  $21^{\circ} 26' 44''$  Latitud Sur y  $64^{\circ} 34' 38''$  Longitud Oeste a una altura de 2090 m.s.n.m.



### 3.2.-Vegetación:

Estas tierras corresponden a áreas cubiertas por bosques que se formaron simultáneamente por plantaciones sistemáticas o por cerramientos, está conformado por diferentes estratos vegetal.

#### Estrato arbóreo

<b>N. Común</b>	<b>N. Científico</b>	<b>Familia</b>
Eucalipto	Eucaliptus sp	Myrtaceae
Sauces	Salix humbultiana	Salicácea
Nogal	Juglans australis	Juglandáceas
Molle	Schinus molle	Anacardiácea
Algarrobo	Ceratonía ciliqua	Fabáceas
Chañar	Geoffroea decorticans	Fabáceas

#### Estrato arbustivo

<b>N. Común</b>	<b>N. Científico</b>	<b>Familia</b>
Churqui	Acacia caven	Fabáceas
Carallanta	Nicotania glauca Graham	Solanácea
Palqui	Acacia feddeana Hanms	Fabáceas
Tolilla Chiswa	Baccharis boliviensis	

#### Estrato herbáceo

<b>N. Común</b>	<b>N. Científico</b>	<b>Familia</b>
Caña hueca	Arando donax	Poaceae
Hierba menta	Hedeomas	Lamiaceae
Llantén	Plantago Australis	Plantaginácea

### **3.3.-Clima.**

Las comunidades Caldera Chica, Hornos, Curuyo, Gamoneda, Santa Ana Barbecho y Santa Ana Baja tienen un clima templado por parte valle con vegetación natural.

#### **3.3.1.-Precipitación.**

Las comunidades de influencia del proyecto calderas tiene una deficiencia hídrica. Además, los valores de la precipitación media 453.16 mm A 712 mm anual, el 90% de las precipitaciones se presenta en los meses de diciembre, enero, febrero marzo y los demás son porcentajes mínimos. (ANEXOS 4 Estación Yesera Sud).

#### **3.3.2.- Temperatura.**

La temperatura media registrada se estima es de 24.62°C en los meses verano y la temperatura media en los meses de invierno es 4.13°C (ANEXOS 5 Estación Yesera Sud).

### **3.4.- Suelo.**

Las tierras de uso agrícola bajo riego corresponden a tierras utilizadas para agricultura intensiva. Las principales características de esta unidad son la sobreutilización 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 cm es pardo arenoso y 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 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 un PH suavemente alcalino de 7.2.

### **3.5.-Fauna**

Los procesos de degradación de hábitats y amenazas a la conservación de la biodiversidad es un problema de largo tiempo en el Valle Central de Tarija, realidad de la cual no escapa el área de estudio.

En el área de estudio, la vegetación natural ha sufrido fuertes cambios por la deforestación, a causa de las profundas intervenciones del hombre, ya sea por la explotación forestal sin control, lo que está ocasionando cambios en la estructura de la vegetación, destruyendo de esta manera su hábitat natural; la evidencia es el predominio de matorrales xerofíticos de sustitución como los churquiales.

## **MATERIALES**

- Computadora WINDOWS 2007

Microsoft Word. (Procesador de textos)

Microsoft Excel (procesador de datos y Planillas de cálculos).

Materiales de apoyo

- Calculadora
- Memoria USB
- Cámara digital
- Libros

## **METODOLOGÍA EMPLEADA.**

### **3.6.-Información y Características de la Presa Calderas**

Para tener una información detallada de la presa calderas se tomó como fuente de información los estudios del proyecto de riego calderas realizados por (OTN) OFICINA TÉCNICA NACIONAL DE LOS RÍOS PILCOMAYO Y BERMEJO.

### **3.7.-Identificación de los Principales Cultivos de Zona de Estudio**

Para la realización de este trabajo se precisó, en primer lugar, identificar los cultivos más representativos en la zona.

Para determinar los cultivos más importantes de la zona en estudio se utilizó la información proporcionada por la Dirección de Control de Calidad de Agua (D.I.C.C.A.D.A.) Secretaria de Obras Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Gobernación de Tarija. (CUADRO 4.2 EN RESULTADOS).

Asimismo se necesitó recopilar información sobre su desarrollo fenológico y Kc. Esa información era necesaria para el cálculo de las necesidades hídricas de cada cultivo.

Para el presente estudio, el valor del coeficiente del cultivo se utilizó los valores de los estudios de “PRONAR” 2002 ( Programa Nacional de Riego ), coeficientes de cultivo para zona valles considerando su ciclo vegetativo del cultivo

### 3.8.-Elección de las Estaciones Meteorológicas.

Para el presente trabajo se tomó en cuenta a las estaciones más cercanas a la zona de estudio estas estaciones son: Yesera Sur, Yesera Norte, estas estaciones cuentan con los datos de información de temperatura, precipitación, la cuales hacen posible el estudio.

#### 3.8.1 Análisis de la Calidad de la Información Climatológica.

En este análisis se tomara en cuenta los siguientes factores:

- a).- Localización (latitud, longitud, altitud).
- b).- Fecha de inicio de registro y cambios ocurridos.
- c).- Disponibilidad de datos.

Los datos meteorológicos fueron obtenidos y formulado de campo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología ( SENAMHI) – Regional Tarija, como se detalla en el cuadro.

**CUADRO 3.8.1**

#### Ubicación y Periodo de Registro por las Estaciones Cercanas a la Zona de Estudio

Estaciones	Precipitación	Temperatura	Lat. S	Long. O.	m.s.n.m.
Yesera Sur	2002-13	2002 - 13	21°28'02"	64°33'30"	2092
Yesera Norte	1997-13	1990-13	21°22'20"	64°33'03"	2277

#### Fuente Elaboración propia

Observando el cuadro 3.8.1 se muestra el registro de información meteorológica por las estaciones cercanas a la zona de estudio, se puede ver que la estación Yesera Norte lleva mayor tiempo de registros y mayor disponibilidad de datos que la estación Yesera Sud.



### 3.9.- Cálculo de las Necesidades Hídricas de cada Cultivo.

En este trabajo, para llegar a determinar las necesidades hídricas de cada cultivo, se realizó primero la determinación de la evapotranspiración de referencia siguiéndola metodología Blanney - Criddle, Hargreaves, En consecuencia se desarrollaron las siguientes etapas:

- a).- Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>).
- b).- Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos (ET<sub>c</sub>).
- c).- Cálculo de la precipitación efectiva (PE).
- d).- Cálculo de las necesidades hídricas netas (L<sub>n</sub>).

#### 3.9.1.- Cálculos de la Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) Método Blanney-Criddle

$$ET_p = (8.12 + 0.457 * T) * P\%$$

**Dónde:**

ET<sub>p</sub> = Evapotranspiración de referencia o potencial (mm/mes)

T = Temperatura media mensual °C

P% = Porcentaje de horas luz %

#### 3.9.1.1.-Cálculos de la Evapotranspiración Real del Cultivo (ET<sub>c</sub>)

$$ET_c = ET_p * K_c$$

**Dónde:**

ET<sub>c</sub> = Evapotranspiración de los cultivos (mm/mes)

K<sub>c</sub> = Coeficiente del cultivo (según la zona y variedad de cultivo)

### 3.9.1.2.- Cálculo de Precipitación Efectiva

$$Pe = \text{Para valles..... } (PP.\text{mm/mes} - 15) * 0.75$$

**Dónde:**

Pe = Precipitación efectiva (mm/mes)

Pp = Precipitación total mensual (mm/mes)

**0.75** = Constante propuesta por PRONAR

### 3.9.1.3.-Cálculo de las Necesidades Hídricas Netas del Cultivo.

$$Ln = ETc - Pe \text{ (mm)}$$

**Dónde:**

Ln = Lámina neta o necesidades hídricas netas

ETc = Evapotranspiración de los cultivos (mm/mes)

Pe = Precipitación efectiva (mm/mes)

### 3.9.2.- Cálculos de la Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) Mediante Método Hargreaves

$$ET_o = 0,0023 * Ra * (T_m + 17,8) * TD^{1/2}$$

**Dónde:**

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

Ra = Radiación extraterrestre en (mm/día – tabla)

T<sub>m</sub> = Temperatura media mensual °C

TD = Diferencia de temperatura promedio diaria en el periodo considerado °C

TD = Temperatura máxima media °C – Temperatura mínima media °C

### 3.9.2.1.-Cálculos de la Evapotranspiración Real del Cultivo (ETc)

$$ETc = ET_o * Kc$$

**Dónde:**

**ETc** = Evapotranspiración de los cultivos (mm/mes)

**Kc** = Coeficiente del cultivo (según la zona y variedad de cultivo)

### 3.9.2.2.- Cálculo de Precipitación Efectiva

$$Pe = \text{Para valles.....} (PP.\text{mm/mes} - 15) * 0.75$$

**Dónde:**

**Pe** = Precipitación efectiva (mm/mes)

**Pp** = Precipitación total mensual (mm/mes)

**0.75** = Constante propuesta por PRONAR

### 3.9.2.3.-Cálculo de las Necesidades Hídricas Netas del Cultivo.

$$Ln = ETc - Pe \text{ (mm)}$$

**Dónde:**

**Ln**= Lámina neta o necesidades hídricas netas

**ETc** = Evapotranspiración de los cultivos (mm/mes)

**Pe** = Precipitación efectiva (mm/mes)

### 3.10.-Comparación el Volumen de Agua de riego aprovechable de la presa, con los Datos Calculados en el Proyecto de Investigación.

Se tomó en cuenta el volumen útil aprovechable presa y se hizo una comparación con la demanda de agua de los cultivos de la zona.

#### 4.1.-Características Generales de la Presa Calderas

La Presa Calderas es un embalse de Regulación sobre el Río Calderas, que comprende una toma de derivación en el Río Yesera para alimentar por medio de un canal de trasvase, el embalse de Calderas. Esta alimenta dos redes de canales primarios, para el riego de terrenos de los márgenes izquierda y derecha.

La Presa de Calderas deberá suministrar agua para el Riego de 1.229 Ha de tierras agrícolas, situadas en ambos márgenes de los ríos Calderas y Yesera, de las comunidades de Caldera Chica, Hornos, Curuyo, Gamoneda, Barbecho y Santa Ana Baja

- a) Presa de derivación en el río Yesera de H<sup>0</sup>C<sup>0</sup>, con un toma tipo orificio, que permitirá la captación de 0.86 m<sup>3</sup>/s.
- b) Un canal de trasvase de sección rectangular y sección trapezoidal, ubicada en la margen izquierda del río Yesera, con una longitud de 8600 m con sus respectivas obras de arte, para conducir el agua de la presa derivadora al embalse.
- c) Presa de Enrocado.- La presa de Calderas tiene de altura total 32,90 m y una longitud de coronamiento de 205,00 m, la cual permitirá un almacenamiento de 5'000.000,00 m<sup>3</sup> generando un espejo de agua de 51.14 ha.; un perímetro de inundación de 8.4 km, cuyo volumen útil será de 4'460.000,00 m<sup>3</sup>.
- d) Sistema de riego.- Que consiste en dos obras de toma situadas en ambas márgenes de la presa.
- e) Canales de riego: Consiste en la construcción de 28 km de canales principales de riego de las márgenes izquierda y derecha.

#### 4.2.-Información Referente a los Cultivos.

En el área de incidencia de la presa de Calderas, se siembran diferentes cultivos en diferentes épocas, cuyo detalle de la superficie que se cultiva y la posible ampliación de la superficie cultivada los presentamos en el siguiente cuadro.

**CUADRO 4.2**

**Superficie de los Cultivos bajo Riego dela Presa Calderas**

Cultivo	Área Bajo Riego Optimo				Incrementales
	Sin Proyecto		Con Proyecto		
	Has	%	Has	%	(ha)
Maíz Choclo	10,6	32,03	28	3,91	17,4
Papa Tardía	3,53	10,67	50	6,98	46,47
Papa temprana	2,93	8,85	35	4,89	32,07
Arveja Grano	6,33	19,13	40	5,59	33,67
Arveja Verde	2,23	6,74	26	3,63	23,77
Tomate tardío	0,42	1,27	90	12,57	89,58
Pimentón	0	0,00	90	12,57	90
Cebolla cabeza	0	0,00	40	5,59	40
Cebolla verde	0	0,00	40	5,59	40
Lechuga y Hort.	0	0,00	40	5,59	40
Haba Verde	0	0,00	40	5,59	40
Repollo	0	0,00	20	2,79	20
Trigo	5,19	15,68	0	0,00	-5,19
Linaza	1,14	3,45	0	0,00	-1,14
Vid	0,1	0,30	80	11,17	79,9
Durazno	0,62	1,87	60	8,38	59,38
Frutilla	0	0,00	37	5,17	37
<b>Total cultivado</b>	<b>33,09</b>	<b>100</b>	<b>716</b>	<b>100</b>	<b>682,91</b>

**Fuente:** (D.I.C.C.A.D.A.) Dirección de Control de Calidad de Agua 2012

### 4.3.-Datos Generales de los Cultivos.

#### 4.3.1.- Cultivo del Maíz Choclo.

Como se muestra en el cuadro 4.3.1 los valores utilizados para estimar las necesidades de agua considerando el periodo vegetativo del cultivo es de 150 días, El coeficiente de cultivo fueron tomados de ( PRONAR ).

**CUADRO 4.3.1**

#### Datos Generales del Maíz Choclo

<b>Etapas de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	30	50	70		150
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.24	0.41 - 0.80	1.08	1.03	1.03
<b>Profundidad de las Raíces</b>	metro	0.40		0.70	0.70	

#### 4.3.2.-Cultivo de la Papa Tardía.

Como se muestra en el cuadro 4.3.2 los valores utilizados para estimar las necesidades de agua, considerando el periodo vegetativo de los cultivos de 180 días, generalmente cultivadas por el agricultor en la zona de estudio.

**CUADRO 4.3.2**

#### Datos Generales de la Papa Tardía

<b>Etapas de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	30	50	60	40	180
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.74	1.02	0.75 - 0.60	0.48	
<b>Profundidad de las Raíces</b>	Metros	0.35		0.34	0.35	

### 4.3.3.-Cultivo de la Papa Temprana

Como se muestra en el cuadro 4.3.3 los valores utilizados para estimar las necesidades de agua, considerando el periodo vegetativo de los cultivos de 120 días, generalmente cultivadas por el agricultor en la zona de estudio.

**CUADRO 4.3.3**

#### Datos Generales de la Papa Temprana

<b>Etapa de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	30	30	30	30	120
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.24	0.74	1.02	0.48	
<b>Profundidad de las Raíces</b>	Metros	0.35		0.35	0.35	

### 4.3.4.-Cultivo de Arveja Verde

En el cuadro 4.3.4 se muestra los valores utilizados para estimar las necesidades de agua conociendo unos periodos vegetativos del cultivo de 150 días, generalmente para variedades cultivadas por el agricultor en la zona de estudio

**CUADRO 4.3.4**

#### Datos Generales de la Arveja Verde

<b>Etapa de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	30	50	40	30	150
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.41	0.78	1.15-1.05	0.80	
<b>Profundidad de las Raíces</b>	Metros	0.20		0.20	0.20	

#### 4.3.5.-Cultivo de Tomate Tardío

En el cuadro 4.3.5 se muestra los valores utilizados para estimar las necesidades de agua considerando los periodos vegetativos del cultivo de 150 días, generalmente para variedades tardías, cultivadas en la zona por el agricultor.

**CUADRO 4.3.5**

##### Datos Generales de la Tomate Tardío

<b>Etapas de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	30	50	40	30	150
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.42	0.81	1.20-0.92	0.65	
<b>Profundidad de las Raíces</b>	Metros	0.20		0.20	0.20	

#### 4.3.6.-Cultivo del pimentón

En el cuadro 4.3.6 se muestra los valores utilizados para estimar las necesidades de agua considerando los periodos vegetativos del cultivo de 150 días, generalmente para variedades tardías, cultivadas en la zona por el agricultor.

**CUADRO 4.3.6**

##### Datos Generales de la Pimentón

<b>Etapas de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	30	50	40	30	150
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.41	0.73	1.05-0.95	0.85	
<b>Profundidad de las Raíces</b>	Metros	0.20		0.20	0.20	



#### 4.3.7.-Cultivo de la Haba Verde.

En el cuadro 4.3.7 se muestra los valores utilizados para estimar las necesidades de agua conociendo los periodos vegetativos del cultivo de 120 días, generalmente para variedades cultivadas por el agricultor en la zona de estudio.

**CUADRO 4.3.7**

##### Datos Generales de la Haba Verde

<b>Etapa de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	30	30	30	30	120
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.43	0.79	1.14	1.03	
<b>Profundidad de las Raíces</b>	Metros	0.20		0.20	0.20	

#### 4.3.8.-Cultivo de la Cebolla Cabeza.

En el cuadro 4.3.8 se muestra los valores utilizados para utilizar las necesidades de agua considerando los periodos vegetativos del cultivo de 150 días, generalmente para variedades tardías o con cabeza cultivadas en la zona por el agricultor.

**CUADRO 4.3.8**

##### Datos Generales de la Cebolla Cabeza

<b>Etapa de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	30	50	40	30	150
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.78	0.91	1.05-1.02	1.00	
<b>Profundidad de las Raíces</b>	Metros	0.30		0.30	0.30	

#### 4.3.9.-Cultivo de Hortalizas

En el cuadro 4.3.9 se muestra los valores utilizados para utilizar las necesidades de agua considerando los periodos vegetativos del cultivo de 115 días, generalmente para variedades tardías o con cabeza cultivadas en la zona por el agricultor.

**CUADRO 4.3.9**

#### Datos Generales de la Hortalizas

<b>Etapas de crecimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Siembra</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Madurez</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Total</b>
<b>Duración de ciclo Vegetativo</b>	Días	25	30	30	30	115
<b>Coefficiente del Cultivo Kc</b>	Coef.	0.38	0.91	1.00	0.90	
<b>Profundidad de las Raíces</b>	Metros	0.30		0.30	0.30	

#### 4.4.-Plan de cultivo

Para la elaboración del plan de cultivos se ha considerado los siguientes aspectos: características climáticas de la zona, rentabilidad de los cultivos ,además con la finalidad de un mejor aprovechamiento de nutrientes del suelo evitar la propagación de las enfermedades se ha tomado en cuenta la rotación de cultivos.

**CUADRO 4.4**

**EL PLAN DE CULTIVOS PARA LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA PRESA CALDERAS**

TEMPORADA		Invierno - Primavera						Verano - Otoño					
Nº	CULTIVO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1	Haba - Maiz choclo	C		S				C			S		
2	Trigo - Papa Temprana		S			C		S					C
3	tomate tardío - cebolla cabeza	S				C		S				C	
4	Cebolla Verde - Arveja verde	C			S			C			S		
5	Hortalizas - Pimenton		S				C		S		C		
6	Haba - Papa Tardía		S					C		S			C
7	Repollo - Arveja Grano			C		S				C		S	
8	Frutilla							C				S	
9	Durazno		S								C		
10	Vid			S							C		

**S = Siembra**

**C = cosecha**

En el cuadro 4.4 se muestra el calendario agrícola propuesta para el cálculo del requerimiento de riego para los dos ciclos vegetativos de la época de Invierno-Primavera, Verano – Otoño correspondientes a las épocas de siembra cosecha con la implementación de riego para el año agrícola, en zona que comprende el proyecto Calderas.

#### 4.5.-Evapotranspiración de Referencia Mensual Método Blaney – Criddle (Estación Yesera Sud).

Como se observa en el cuadro 4.5 la evapotranspiración de referencia fue estimada por la fórmula original de Blaney–Criddle (Blaney H.F. & Criddle W. D.1950) fue desarrollada en EEUU. Esta fórmula toma en cuenta la temperatura media, porcentaje de horas luz.

**CUADRO 4.5**  
**ESTACIÓN: YESERA SUD**

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
T °C	18,5	18,4	16,8	15,3	14,4	12,5	12,4	10,9	14,8	17,4	18,2	20
P% Horas/lu	9,31	8,1	8,58	7,87	7,69	7,24	7,74	8,02	8,13	8,84	8,87	9,35
ETP mm/mes	154,31	133,88	135,54	118,93	113,05	100,15	106,71	105,07	121,00	142,07	145,80	161,38

Fuente de elaboración propia

#### 4.5.1.-Precipitación Efectiva (Método – Pronar) Estación Yesera Sud.

**CUADRO 4.5.1**  
**ESTACIÓN: YESERA SUD**

Mes	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Prec.	161,0	79,0	58	0,00	0,00	6	0,00	10	0,00	23	13	63,4
prec. Efec.	109,5	48	32,25	0,00	0,00	-6,8	0	-3,75	0	6,0	-1,5	36,3

Fuente de elaboración propia

En el cuadro 4.5.1 se puede observar los valores de la precipitación efectiva estimada por el método de (PRONAR) los datos tomados fueron la estación de Yesera Sud.

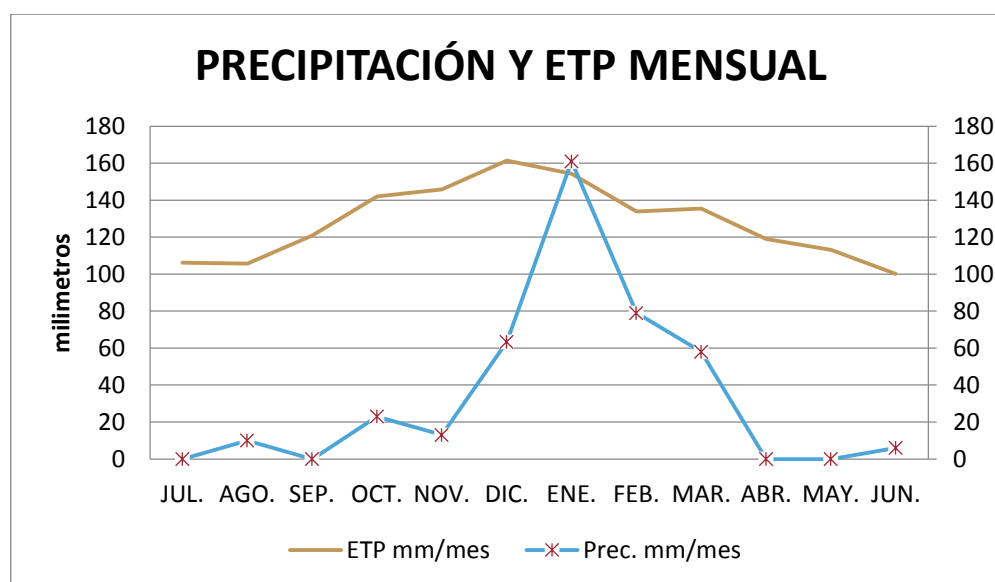
#### 4.5.2.-Precipitación y Evapotranspiración de Referencia Mensual (Estación Yesera Sud).

**CUADRO 4.5.2**

**ESTACIÓN: YESERA SUD**

	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
<b>ETP mm/mes</b>	106,15	105,7	121	142,07	145,8	161,38	154,31	133,88	135,54	118,93	113,05	100,15
<b>Prec. mm/mes</b>	0	10	0,00	23	13	63,4	161,0	79,0	58	0	0	6

**FIGURA N° 1**



Fuente de elaboración propia

Observando en el cuadro 4.5.2 se puede indicar que la evapotranspiración de referencia es mayor que la precipitación mensual, por lo cual la agricultura se realiza en las condiciones de déficit hídrico, por lo que es necesario el uso del recurso agua para el riego de los cultivos y garantizar la producción.

**DEMANDA DE AGUA DE RIEGO  
CUADRO : Nº 4.5.3**

**ESTACIÓN : YESERA SUD  
PROVINCIA: CERCADO  
DEPARTAMENTO : TARIJA**

DESCRIPCIÓN	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
Temperatura Media °C	12.4	10.9	14.8	17.4	18.2	20.0	18.5	18.4	16.8	15.3	14.4	12.5
% Horas Luz P%	7,7	8,0	8,1	8,8	8,9	9,4	9,3	8,1	8,6	7,9	7,7	7,2
ETP/mes (Blanney - Criddle)	106,71	105,07	121	142,07	145,8	161,38	154,31	133,88	135,54	118,93	113,05	100,15
Kc ( Haba - maíz )	1,03		0,24	0,41	0,80	1,08	1,03			0,43	0,79	1,14
ETc ( mm ) sup. 9.5 %	109,91		29,04	58,25	116,64	174,29	158,94			51,14	89,31	114,17
Kc (Papa - Trigo )		0,24	0,74	1,02	0,48		0,38	0,78	0,95	1,15	0,87	0,60
ETc ( mm ) sup. 4.89 %		25,22	89,54	144,91	69,98		58,64	104,43	128,76	136,77	98,35	60,09
Kc (Tomate - cebolla)	0,78	0,91	1,05	1,02	1,00		0,42	0,81	1,20	0,92	0,65	
ETc (mm) sup. 18.16%	83,23	95,61	127,05	144,91	145,80		64,81	108,44	162,65	109,42	73,48	
Kc ( Cebolla - Arveja )		1		0,41	0,78	1,15	1,05			0,78	0,91	1,05
ETc ( mm ) sup. 9.22 %	106,71			58,25	113,72	185,59	162,03			92,77	102,88	105,16
Kc ( Hortalizas - Pimentón )		0,41	0,73	1,05	0,95	0,85		0,38	1,00	0,90		
ETc ( mm ) sup. 18.16 %		43,08	88,33	149,17	138,51	137,17		50,87	135,54	107,04		
Kc ( Haba-papa )		0,24	0,74	1,02	0,75	0,61	0,48		0,43	0,79	1,14	1,03
ETc ( mm ) sup. 12.57 %		25,22	89,54	144,91	109,35	98,44	74,07		58,28	93,95	128,88	103,15
K c (Frutilla )	0,80	0,85	0,95	0,90	0,87	0,80	0,65				0,50	0,65
ETc ( mm ) sup. 5.17%	85,37	89,31	114,95	127,86	126,85	129,10	100,30				56,53	65,10
Kc ( repollo- Arveja Grano)	1,05	0,90		0,41	0,78	1,15	1,05	0,80			0,47	0,76
ETc (mm) sup. 8,38 %	112,05	94,56		58,25	113,72	185,59	162,03	107,10			53,13	76,11
Kc ( Vid )			0,45	0,60	0,70	0,70	0,70	0,65	0,50	0,30		
ETc ( mm ) sup. 11.17 %			54,45	85,24	102,06	112,97	108,02	87,02	67,77	35,68		
Kc ( durazno )		0,55	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,10	0,90	0,85		
ETc (mm) sup. 8.83 %		57,79	114,95	149,17	167,67	185,59	177,46	147,27	121,99	101,09		
ETc Total	497,27	430,79	707,85	1062,68	1204,31	1208,74	1066,28	605,14	674,99	727,85	602,56	523,78
Días del mes	31,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	28,00	31,00	30,00	31,00	30,00
ETc (mm)	16,04	13,90	23,60	34,28	40,14	38,99	34,40	21,61	21,77	24,26	19,44	17,46
Precipitación		0	10.0	0	23.00	13.00	63.4	161.0	79.0	58.0	0	0.0
Precipitación Efectiva ( mm )	0	- 3,75	0	6,0	-1,5	36,3	109,5	48	32,25	0	0	-6,8
Demanda neta total ( mm )	16,04	17,65	23,60	28,28	41,64	2,69	0,00	0,00	0,00	24,26	19,44	24,21
Demanda bruta total ( mm )	26,73	29,41	39,33	47,13	69,41	4,14	0,00	0,00	0,00	40,44	32,40	40,35
Demanda total ( m <sup>3</sup> /Ha )	267,35	294,11	393,25	471,34	694,06	41,41	0,00	0,00	0,00	404,36	323,96	403,49
Demanda bruta total ( m <sup>3</sup> )	191421,68	210579,83	281567,00	337476,05	496946,96	29647,80	0,00	0,00	0,00	289523,19	231951,86	288899,83
TOTAL ( m <sup>3</sup> )												2358014,21

Fuente :Elaboración propia (\*) Eficiencia de aplicación = 0,60

Como muestra en el cuadro 4.5.3 haciendo los calculos de la evapotranspiracion con el metodo de Blanney - Criddle con los datos registrados de la estacion de Yesera Sud y procediendo a la determinacion del requerimiento hidrico, de los cultivos de papa, maíz, trigo, arveja verde y grano, cebolla cabeza, pimentón, hortalizas y los demas cultivos tomados en cuenta en el calendario agricola, se puede destacar que en los meses de enero, febrero y marzo no hay deficit hidrico ya que en estas epoca las precipitaciones fluviales son altas en zona y son aprovechables por los cultivos sembrados en esa epoca.

Siendo la menor demanda de agua de riego en los meses de diciembre julio y agosto son menores las demadas de agua en diciembre por que la precipitaciones fluviales cubren parte de las nececiades hidricas de los cultivos,y se puede aplicar una frecuencia de riego de acuerdo a intensidad de las precipitacion en la zona y asi lograr un optimo riego, en julio y agosto son menores la demandas de agua por que hay pocos cultivos de siembra en esa epoca.

El mes de mayor consumo de agua por los cultivos es de octubre y noviembre ya que en estas épocas las temperaturas se elevan y las precipitaciones no son frecuentes.

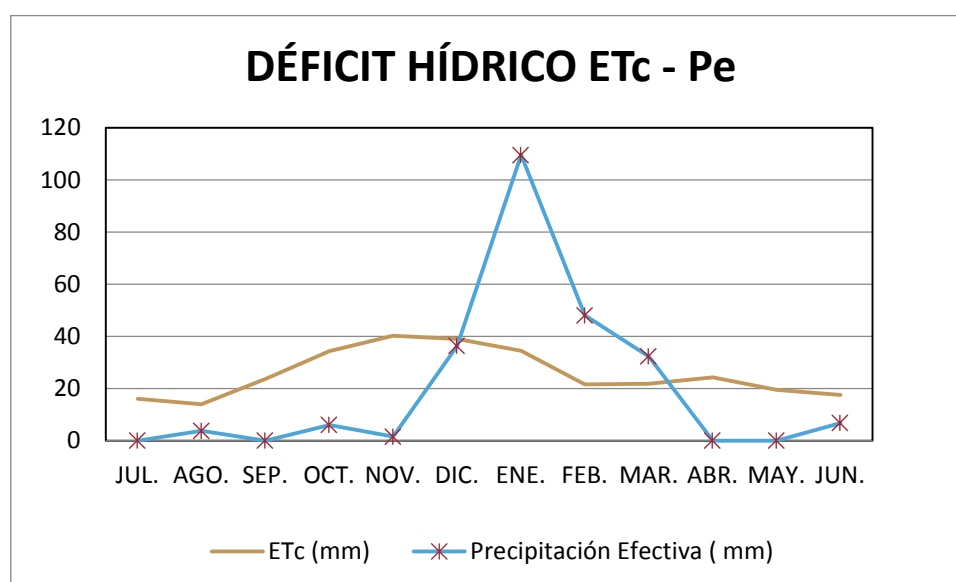
El estudio realizado con la estación de Yesera Sud la necesidad de agua neta bruta es de **2`358.014.21** m<sup>3</sup>/716 hectáreas al año.

#### 4.5.4.-Precipitación Efectiva y la Evapotranspiración real de los Cultivos (Estación Yesera Sud).

**CUADRO 4.5.4**  
**ESTACIÓN. YESERA SUD**

	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
ETc (mm)	16,04	13,9	23,6	34,28	40,14	38,99	34,4	21,61	21,77	24,26	19,44	17,46
Precipitación Efectiva (	0	- 3,75	0	6,0	-1,5	36,3	109,5	48	32,25	0	0	-6,8

**FIGURA N° 2**



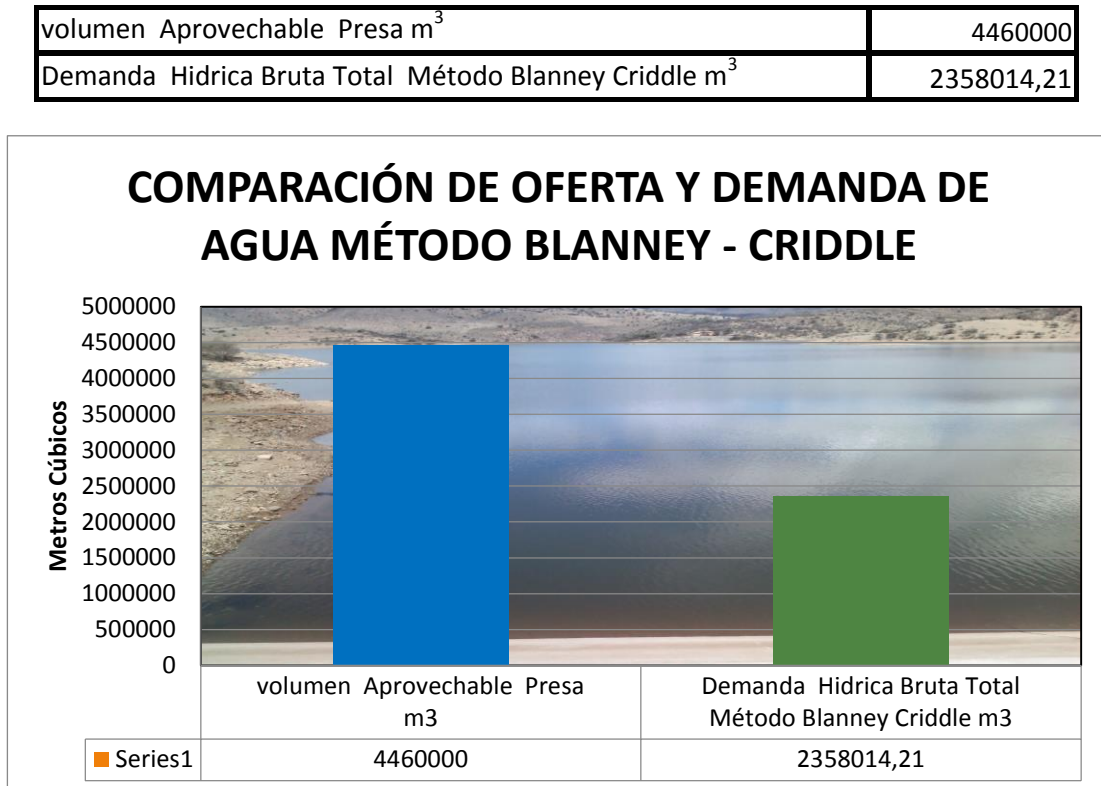
Fuente de elaboración propia

Haciendo un análisis a los cuadros 4.5.4 nos muestra que la evapotranspiración real de los cultivos, es mayor que la precipitación efectiva, en excepción del mes de enero febrero marzo por que hay altas precipitaciones fluviales en la zona.



**4.5.5.-Comparación del Volumen de Agua de riego aprovechable de la presa, con los Datos Calculados en el Proyecto de Investigación.**

**FIGURA N° 5**



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en FIGURA N° 5 el volumen aprovechable de la presa Calderas es más alta que la demanda hídrica de los cultivos.

se puede destacar que el volumen aprovechable de la presa cubre 1226 Ha, en nuestro estudio se realizó el balance hídrico para 716 Ha, haciendo un buen uso del agua construyendo los canales secundarios y terciarios y utilizando un sistema de riego tecnificado se podría habilitar más 1226 Ha

#### 4.6.-Evapotranspiración de Referencia Mensual Método Hargreaves (Estación Yesera sud)

La fórmula que fue desarrollada por (Hargreaves G.H. Samani Z.A. 1991) para la estimación se toma en cuenta temperatura media diaria, temperatura máxima media, temperatura mínima media, radiación extraterrestre mm/día.

**CUADRO 4.6**

#### **ESTACIÓN: YESERA SUD**

Índice	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Temperatura media °C Tm	18,5	18,4	16,8	15,3	14,4	12,5	12,4	10,9	14,8	17,4	18,2	20,0
Temp. Media máximas °C "T"	24,4	23,8	22,8	23,2	22,9	22,1	22,9	21,3	23,5	25,1	25,2	26,4
Temp. Media mínima °C "t"	12,6	12,9	10,8	7,4	5,9	2,9	1,9	0,5	6,2	9,6	11,3	13,5
temp. Max. - temp. Min. (T - t)TD	11,8	10,9	12,0	15,8	17,0	19,2	21,0	20,8	17,3	15,5	13,9	12,9
Radiación extraterrestre mm/ día	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10	11,6	13,7	15,7	17	17,5
ETo Referencia mm/día	4,99	4,54	4,08	3,81	3,24	2,84	3,18	3,49	4,27	5,00	5,25	5,46
ETo Referencia mm/mes	154,70	131,53	126,48	114,39	100,34	85,27	98,67	108,26	128,18	155,13	157,44	169,40

Fuente de elaboración propia

Como se muestra en el cuadro 4.6 los resultados de la evapotranspiración de referencia de la estación de Yesera Sud que se empleó el método de Hargreaves.

#### 4.6.1.-Precipitación Efectiva (Método – Pronar) Estación Yesera Sud

**CUADRO 4.6.1**  
**ESTACIÓN: YESERA SUD**

Mes	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Prec.	161,0	79,0	58	0,00	0,00	6	0,00	10	0,00	23	13	63,4
prec. Efec.	109,5	48	32,25	0,00	0,00	-6,8	0	- 3,75	0	6,0	-1,5	36,3

Fuente de elaboración propia

En el cuadro 4.6.1 se puede observar los valores de la precipitación efectiva estimada por el método de (PRONAR) los datos tomados fueron la estación de Yesera Sud.

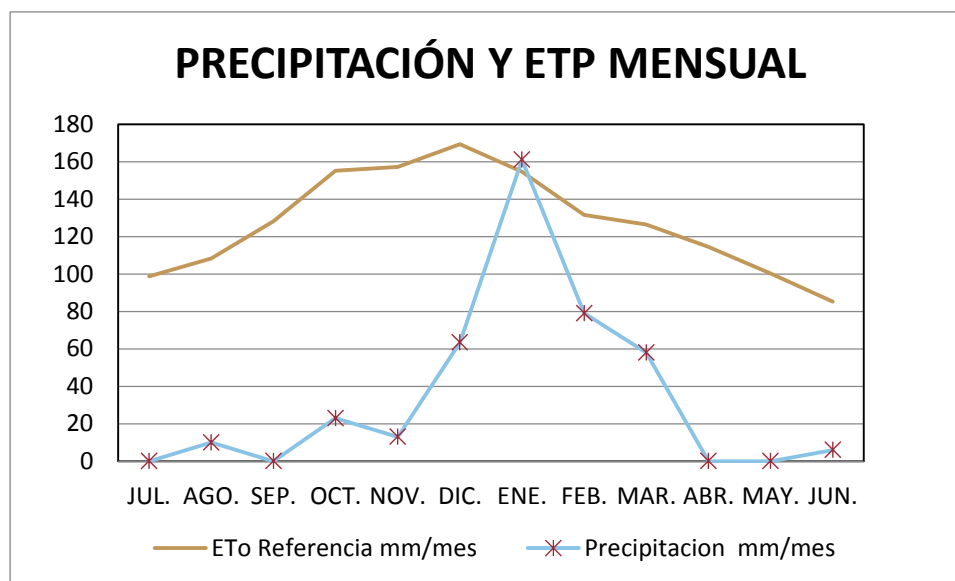
#### 4.6.2.-Precipitación y Evapotranspiración de Referencia Mensual (Estación Yesera sud)

**CUADRO 4.6.2**

**ESTACIÓN: YESERA SUD**

Mes	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
ETo Referencia mm/mes	98,67	108,26	128,18	155,13	157,13	169,4	154,7	131,53	126,48	114,39	100,34	85,27
Precipitacion mm/mes	0	10	0	23	13	63,4	161,0	79,0	58	0	0,0	6

**FIGURA N° 3**



Fuente de elaboración propia.

Como se muestra en el cuadro 4.6.2 la evapotranspiración de referencia con estación del Aeropuerto es más alta que las precipitaciones por lo cual la agricultura se realiza en las condiciones de déficit hídrico, por lo que es necesario el uso del recurso agua para el riego de los cultivos y garantizar la producción.

**DEMANDA DE AGUA DE RIEGO  
CUADRO : 4.6.3**

ESTACIÓN : YESERA SUD  
PROVINCIA: CERCADO  
DEPARTAMENTO : TARIJA

DESCRIPCIÓN	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
Temperatura Media °C	12.4	10.9	14.8	17.4	18.2	20.0	18.5	18.4	16.8	15.3	14.4	12.5
Dif. Temp. Max - temp. Min	21,0	20,8	17,3	15,5	13,9	12,9	11,8	10,9	12	15,8	17	19,2
Radiación extraterrestre	10	11,6	13,7	15,7	17	17,5	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6
ETP/mes Hargreaves	98,67	108,26	128,18	155,13	157,44	169,4	154,7	132,24	126,48	114,39	100,34	85,27
Kc ( Haba - maíz )	1,03		0,24	0,41	0,80	1,08	1,03			0,43	0,79	1,14
ETc ( mm ) sup. 9.5 %	101,63		30,76	63,60	125,95	182,95	159,34			49,19	79,27	97,21
Kc (Papa - Trigo )		0,24	0,74	1,02	0,48		0,38	0,78	0,95	1,15	0,87	0,60
ETc ( mm ) sup. 4.89 %		25,98	94,85	158,23	75,57		58,79	103,15	120,16	131,55	87,30	51,16
Kc (Tomate - cebolla)	0,78	0,91	1,05	1,02	1,00		0,42	0,81	1,20	0,92	0,65	
ETc (mm) sup. 18.16%	76,96	98,52	134,59	158,23	157,44		64,97	107,11	151,78	105,24	65,22	
Kc ( Cebolla - Arveja )		1		0,41	0,78	1,15	1,05			0,78	0,91	1,05
ETc ( mm ) sup. 9.22 %	98,67			63,60	122,80	194,81	162,44			89,22	91,31	89,53
Kc ( Hortalizas - Pimentón )		0,41	0,73	1,05	0,95	0,85		0,38	1,00	0,90		
ETc ( mm ) sup. 18.16 %		44,39	93,57	162,89	149,57	143,99		50,25	126,48	102,95		
Kc ( Haba-papa )		0,24	0,74	1,02	0,75	0,61	0,48		0,43	0,79	1,14	1,03
ETc ( mm ) sup. 12.57 %		25,98	94,85	158,23	118,08	103,33	74,26		54,39	90,37	114,39	87,83
Kc ( Frutilla )	0,80	0,85	0,95	0,90	0,87	0,80	0,65				0,50	0,65
ETc ( mm ) sup. 5.17%	78,94	92,02	121,77	139,62	136,97	135,52	100,56				50,17	55,43
Kc ( repollo- Arveja Grano)	1,05	0,90		0,41	0,78	1,15	1,05	0,80			0,47	0,76
ETc (mm) sup. 8.38 %	103,60	97,43		63,60	122,80	194,81	162,44	105,79			47,16	64,81
Kc ( Vid )			0,45	0,60	0,70	0,70	0,70	0,65	0,50	0,30		
ETc ( mm ) sup. 11.17 %			57,68	93,08	110,21	118,58	108,29	85,96	63,24	34,32		
Kc ( durazno )		0,55	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,10	0,90	0,85		
ETc (mm) sup. 8.83 %		59,54	121,77	162,89	181,06	194,81	177,91	145,46	113,83	97,23		
ETc Total	459,80	443,87	749,85	1223,98	1300,45	1268,81	1068,98	597,72	629,87	700,07	534,81	445,96
Días del mes	31,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	28,00	31,00	30,00	31,00	30,00
ETc (mm)	14,83	14,32	25,00	39,48	43,35	40,93	34,48	21,35	20,32	23,34	17,25	14,87
Precipitación		0	10,0	23,00	13,00	63,4	161,0	79,0	58,0	0	0,0	6,0
Precipitación Efectiva ( mm )	0	- 3,75	0	6,0	-1,5	36,3	109,5	48	32,25	0	0	-6,8
Demanda neta total ( mm )	14,83	18,07	25,00	33,48	44,85	4,63	0,00	0,00	0,00	23,34	17,25	21,62
Demanda bruta total ( mm )	24,72	30,11	41,66	55,81	74,75	7,12	0,00	0,00	0,00	38,89	28,75	36,03
Demanda total ( m <sup>3</sup> /Ha )	247,21	301,14	416,59	558,05	747,47	71,22	0,00	0,00	0,00	388,93	287,53	360,26
Demanda bruta total ( m <sup>3</sup> )	176999,13	215614,55	298274,86	399564,84	535191,86	50992,70	0,00	0,00	0,00	278471,02	205873,94	257943,81
TOTAL ( m <sup>3</sup> )												2418926,71

Fuente :Elaboración propia (\*) Eficiencia de aplicación = 0,60

Como muestra en el cuadro 4.6.3 haciendo los calculos de la evapotranspiracion con el metodo de Hargreaves con los datos registrados de la estacion de Yesera Sud y procediendo a la determinación del requerimiento hidrico, de los cultivos de papa, maíz, trigo, arveja verde y grano, cebolla cabeza, pimentón, hortalizas y los demás cultivos tomados en cuenta en el calendario agricola, se puede destacar que en los meses de enero, febrero y marzo no hay deficit hidrico ya que en estas epoca las precipitaciones fluviales son altas en zona y son aprovechables por los cultivos sembrados en esa epoca.

Siendo la menor demanda de agua de riego en los meses de diciembre julio y agosto son menores las demadas de agua en diciembre por que la precipitaciones fluviales cubren parte de las nececiades hidricas de los cultivos,y se puede aplicar una frecuencia de riego de acuerdo a intensidad de las precipitacion en la zona y asi lograr un optimo riego, en julio y agosto son menores la demandas de agua por que hay pocos cultivos de siembra en esa epoca.

El mes de mayor consumo de agua por los cultivos es de octubre y noviembre ya que en estas épocas las temperaturas se elevan y las precipitaciones no son frecuentes.

El estudio realizado con la estación de Yesera Sud la necesidad de agua neta bruta es de **2`418.926.71** m<sup>3</sup>/716 hectáreas al año.

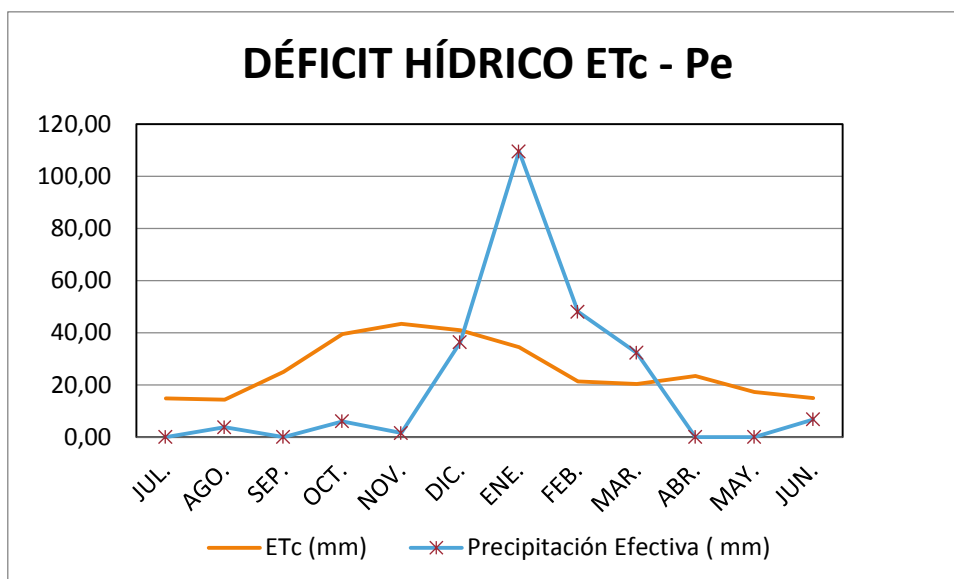
#### 4.6.4.-Precipitación Efectiva y la Evapotranspiración real de los Cultivos (Estación Yesera sud)

**CUADRO 4.6.4**

**ESTACIÓN. YESERA SUD**

	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
ETc (mm)	14,83	14,32	25,00	39,48	43,35	40,93	34,48	21,35	20,32	23,34	17,25	14,87
Precipitación Efectiva ( mm)	0	- 3,75	0	6,0	-1,5	36,3	109,5	48	32,25	0	0	-6,8

**FIGURA N° 4**



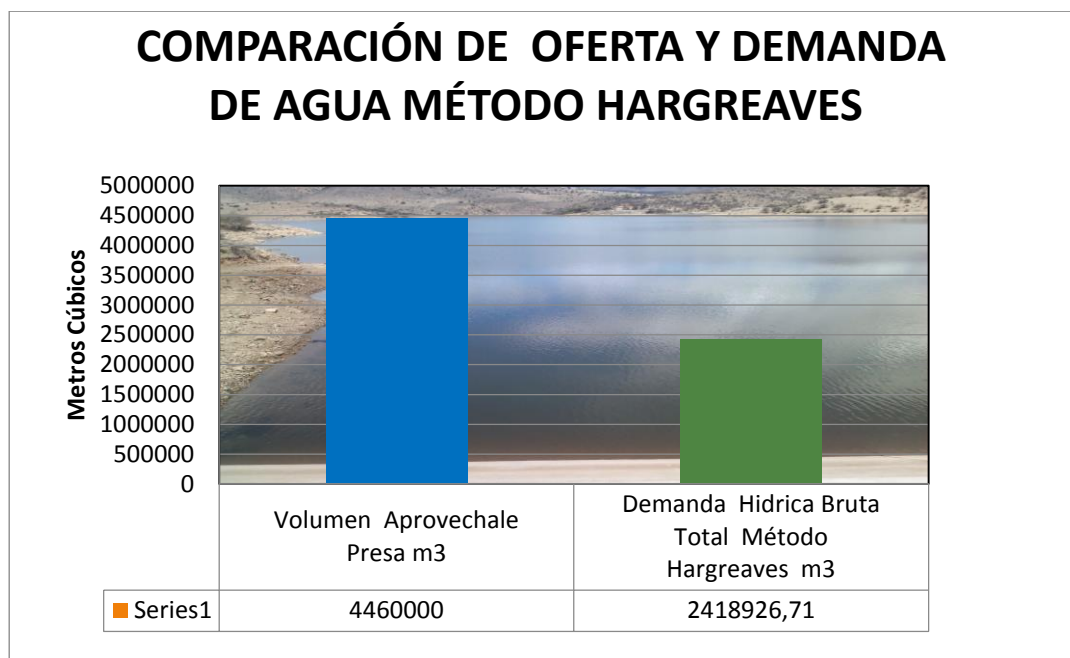
Fuente de elaboración propia

Como muestra el cuadro 4.6.4 y la figura N° 4 hay una alta demanda del recurso agua, porque la precipitación efectiva no satisface las necesidades hídricas de los cultivos a excepción del mes de enero, febrero y marzo ya que en esa época las precipitaciones fluviales son altas.

**4.7.-Comparación del Volumen de Agua de riego aprovechable de la presa, con los Datos Calculados en el Proyecto de Investigación.**

**FIGURA N° 6**

volomen Aprovechale Presa m <sup>3</sup>	4460000
Demanda Hidrica Bruta Total Método Hargreaves m <sup>3</sup>	2330733,7



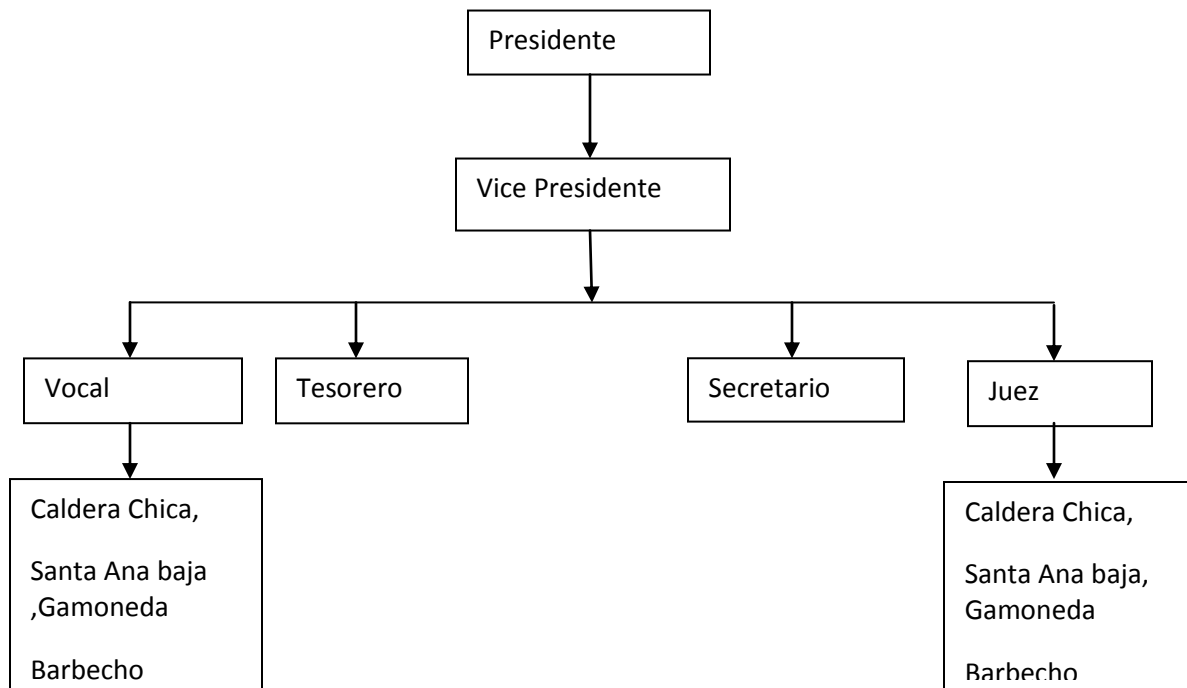
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en FIGURA N° 6 el volumen aprovechable de la presa Calderas, es más alta que la demanda hídrica de los cultivos que están bajo riego, se podría ampliar la frontera agrícola haciendo un óptimo riego con la construcción de los canales secundarios.

#### 4.8.- Optimización de Agua de Riego.

Para la optimización de agua de riego se debe organizar el comité de riego y realizar diferentes talleres de capacitación para realizar la programación de los cultivos que se pretende realizar en las comunidades de Calderas, Gamoneda, Santa Ana Barbecho.

La organización debe estar conformada de la siguiente manera:



Para la optimización de agua de riego se debe realizar los siguientes talleres:

- 1.- Métodos de riego (surcos, aspersión y goteo)
- 2.- Manejo suelo agua planta,
- 3.- Operación mantenimiento sistema de riego,
- 4.- Manejo de cuencas en finca





## Conclusiones

En base al estudio realizado y en los resultados obtenidos, se puede establecer las siguientes conclusiones.

- 1) De acuerdo a la entrevista realizada a los comunarios que habitan en la zona, se identificaron los cultivos de hortalizas, leguminosas, cereales, gramíneas.
- 2) Para el cálculo de la demanda bruta de riego se ha adoptado una eficiencia de riego de 60%. Obteniendo las siguientes demandas de agua diferentes metodología aplicada.
- 3) Utilizando la metodología de la fórmula original de Blaney – Criddle (Blaney H.F. & Criddle W. D.1950) con la estación Yesera Sud para cubrir las necesidades hídricas de las 716 Ha, área que esta bajo riego del proyecto calderas se requiere un volumen de  $2\`358.014,21\text{m}^3/\text{año}$ . En la estación Yesera Norte de  $2\`331.188,05\text{m}^3/\text{año}$  (ANEXO 9). Siendo los meses de mayor demanda octubre y noviembre los meses de menor demanda, julio y diciembre.
- 4) Utilizando la metodología de la formula desarrollada por (Hargreaves G.H. - Samani Z.A. 1991) con la estación Yesera Sud para cubrir las necesidades hídricas de las 716ha. Área que está bajo riego del proyecto calderas se requiere un volumen de  $2\`418926,71\text{ m}^3/716\text{ ha}$  al año. Estación Yesera Norte  $2\`297.466,11/716\text{ Ha}$  al año (ANEXO 10) los meses de mayor demanda corresponden octubre y noviembre de menor demanda diciembre julio y diciembre.

- 5) De acuerdo a los cálculos de los requerimientos y de la disponibilidad de agua para riego, tenemos que los meses de diciembre enero febrero no necesitan de agua porque se abastecen con las precipitaciones fluviales, presentándose un mayor déficit hídrico en los meses de octubre y noviembre.
  
- 6) Del estudio de aportaciones de la presa de calderas, se tiene suficiente disponibilidad de agua para riego que es de **4`460.000.0m<sup>3</sup>** siendo las necesidades hídricas de **2`358.014,21m<sup>3</sup>/716** Ha al año, siendo necesario regular los caudales excedentes que se presentan en los meses lluviosos.

## Recomendaciones

De acuerdo a las conclusiones en el presente estudio, y dado la necesidad de la continuidad de investigación para mejorar el conocimiento de las potencialidades y limitaciones en la producción agrícola de la zona se recomienda.

- Estudiar y recomendar la posibilidad de introducir variedades en la zona que comprende el proyecto calderas, tomando en cuenta la disponibilidad los factores climáticos de la misma.
- Utilizar los valores del coeficiente de los cultivos, investigado y adaptado a nuestro medio.
- Considerar la duración del ciclo vegetativo y las fechas de siembra, para estimar la demanda de agua
- Para determinar la evapotranspiración de referencia se recomienda utilizar los datos climáticos de la estación de Yesera Sud. Porque nos permite determinar con mayor precisión el efecto del clima sobre los cultivo.
- En la metodología se recomienda utilizar el método de Hargreaves como instrumento para predecir el efecto del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos, en zonas con disponibilidad de datos meteorológicos porque es un método que se acerca a la realidad de nuestro medio.
- Es importante proveer a las comunidades que comprende el proyecto calderas. Una asistencia técnica orientada a programar y regular las prácticas agrícolas de riego para lograr un manejo de acuerdo a la relación suelo-agua-planta.
- Es necesario promover la organización de los regentes de los usuarios que permitan lograr una buena planificación y por ende una óptima distribución de agua de riego.