

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO
EN EL CULTIVO DE TARA (*Caesalpinia spinosa*). PACAYCASA –
AYACUCHO 2760 msnm”**

Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por:
SANTOS MITMA HUAMANÍ

AYACUCHO - PERÚ

2015

DEDICATORIA

Con todo cariño:

A mí amada madre y hermanas

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater de mis estudios universitarios.

A mis profesores de la Facultad de Ciencias Agrarias, por sus valiosas enseñanzas y orientaciones que afianzaron mis conocimientos que condujeron al logro de mis objetivos.

Al Ing. Rubén Alfredo Meneses Rojas, por su asesoramiento, aporte y colaboración en el desarrollo y conducción del presente trabajo de investigación

A SOLID PERÚ, al proyecto tara, en especial al Ing. Juan Pablo Contreras, institución que financió la presente tesis en convenio con la Facultad de Ciencias Agrarias.

Al agricultor Rómulo Zarate, dueño del predio donde se realizó el estudio.

Mi eterno agradecimiento a mis queridos padres Herminia y Celestino; por su enorme sacrificio en el logro de mi profesión. Mi eterna gratitud a mis hermanas Rebeca y Esther por su apoyo y comprensión.

A mis queridos(as) amigos(as), y a todas las personas que directa e indirectamente contribuyeron en la materialización del presente trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de Pacaycasa, provincia Huamanga y departamento de Ayacucho.

El cultivo de la tara es una actividad importante para los productores de nuestra región. Por lo mismo es conveniente dentro del marco tecnológico, proporcionar buenas condiciones hídricas de riego. La presente investigación buscó determinar el requerimiento hídrico de la tara, a fin de mantener un régimen óptimo de humedad en el suelo para lograr el mejor rendimiento.

La investigación tuvo como tratamientos intervalos de riego de 10, 20 y 30 días (tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3 respectivamente). Se tomaron muestras de suelo antes y después de realizar el riego y mediante el método gravimétrico se determinó la humedad del suelo en zona de raíces.

Con la información obtenida se procedió a calcular la lámina de agua consumida que viene a ser la evapotranspiración del cultivo de tara. El diseño experimental utilizado fue el diseño en bloque completamente randomizado.

El requerimiento hídrico del cultivo de tara con un intervalo de riego de 10 días fue de 905.19 mm/campaña. Para el intervalo de riego de 20 días el requerimiento fue de 492.16 mm/campaña y con un intervalo de riego de 30 días fue de 344.78 mm/campaña. Además se obtuvo el coeficiente del cultivo K_c al relacionar la ET_c determinado por el método gravimétrico y la ET_o determinado por métodos empíricos.

De los tratamientos aplicados, con el tratamiento 1 (intervalo de riego de 10 días) se obtuvo el mayor rendimiento de vainas de tara.

Los rendimientos obtenidos en la presente investigación son 1457 Kg/Ha, 1043 Kg/Ha y 977 Kg/Ha para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente.

ÍNDICE

	Pag.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
INTRODUCCIÓN	01
CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA	04
1.1 La tara	04
1.1.1 Origen y distribución	04
1.1.2 Taxonomía	05
1.1.3 Características morfológicas	06
1.1.4 Requerimientos agroecológicos	07
1.1.5 Fenología de la tara	09
1.1.6 Rendimiento y productividad de la tara	11
1.2 Requerimiento hídrico	11
1.2.1 Evapotranspiración	12
1.2.2 Factores que afectan la evapotranspiración	14
1.2.3 La evapotranspiración potencial o de cultivo de referencia (ET _o)	14
1.2.4 Evapotranspiración del cultivo – ET _c	15
1.2.5 La evapotranspiración real o actual (ET _r)	16
1.2.6 Factor o coeficiente del cultivo (K _c)	17

1.2.6.1 Factores que afectan los valores de Kc	17
1.2.6.2 Fases de desarrollo del cultivo	18
1.2.7 Métodos para determinar la evapotranspiración	18
1.3 Coeficientes hídricos	22
1.3.1 Capacidad de campo (CC)	22
1.3.2 Punto de marchitamiento permanente (PMP)	22
1.3.3 Densidad aparente (da)	22
1.3.4 Medidas de humedad del suelo	22
1.4 Necesidades de riego de los cultivos	24
1.4.1 Definición del riego	24
1.4.2 Programación de riego	24
1.5 Antecedentes e importancia	28
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	32
2.1 Descripción del trabajo de investigación	32
2.1.1 Ubicación	32
2.1.2 Características climáticas	33
2.1.3 Características del suelo	34
2.2 Organización del experimento	35
2.2.1 Factores de estudio	35
2.2.2 Diseño experimental	35
2.2.3 Características de la parcela experimental	36
2.3 Materiales y equipos	36
2.3.1 Materiales	36
2.3.2 Equipos	37

2.3.3 Insumos	37
2.4 Metodología	37
2.4.1 Trabajo de campo	37
2.4.2 Trabajos de laboratorio	40
2.4.3 Trabajos de gabinete	41
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES	45
3.1 Evapotranspiración del cultivo (ETc)	45
3.2 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)	50
3.3 Evapotranspiración ETc y ETo	55
3.4 Requerimiento de agua del cultivo de tara	56
3.5 Rendimiento de vainas de tara de por hectárea	56
3.6 Análisis estadístico	58
3.6.1 Requerimiento hídrico del cultivo de tara	58
3.6.2 Rendimiento de vainas de tara	59
3.7 Determinación del coeficiente del cultivo (kc)	62
3.8 Determinación de la etapa crítica de consumo de agua	68
3.9 Programación de riego para el cultivo de tara	70
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
4.1 Conclusiones	77
4.2 Recomendaciones	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXOS	83

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 3.1: ETc de cultivo de tara – intervalo de riego de 10 días	45
Cuadro 3.2: ETc de cultivo de tara – intervalo de riego de 20 días	46
Cuadro 3.3: ETc de cultivo de tara – intervalo de riego de 30 días	46
Cuadro 3.4: Evapotranspiración del Cultivo (ETc) por tratamiento	47
Cuadro 3.5: Evapotranspiración del Cultivo de referencia o potencial (ETo)	50
Cuadro 3.6: Cálculo de la Evapotranspiración ETo, Ec. Hargreaves	53
Cuadro 3.7: Cálculo de la ETo Ec. FAO Penman-Monteith	54
Cuadro 3.8: Resumen de evapotranspiración ETc en mm/día	55
Cuadro 3.9: Datos de requerimiento hídrico del cultivo de tara	56
Cuadro 3.10: ANVA del requerimiento hídrico del cultivo de tara	58
Cuadro 3.11: Prueba de significación o contraste – Prueba de Tukey	59
Cuadro 3.12: ANVA del rendimiento total de vaina de tara	59
Cuadro 3.13: Prueba de significación o contraste – Prueba de Tukey	60
Cuadro 3.14: Datos característicos en la investigación	61
Cuadro 3.15: Rendimiento y costos de aplicación de riego por cada tratamiento	62
Cuadro 3.16: Coeficiente de cultivo (Kc) para la tara	62
Cuadro 3.17: Ciclo productivo evaluado en el cultivo de tara	63
Cuadro 3.18: Programación de riego para el cultivo de tara	72
Cuadro 3.19: Programación de riego para el cultivo de tara	73
Cuadro 3.20: Programación de riego para el cultivo de tara	74
Cuadro 3.21: Calendario de riego para el cultivo de tara en tratamiento 1	75
Cuadro 3.22: Calendario de riego para el cultivo de tara en tratamiento 2	76
Cuadro 3.23: Calendario de riego para el cultivo de tara en tratamiento 3	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 3.1: Evapotranspiración del cultivo tara (mm/día) por tratamientos	45
Figura 3.2: Evapotranspiración del cultivo acumulada por tratamientos	49
Figura 3.3: Relación entre Evapotranspiración e intervalo de riego	49
Figura 3.4: Evapotranspiración ETo FAO Penman-Montheit y Hargreaves	51
Figura 3.5: Evapotranspiración ETo y (ETc)	55
Figura 3.6: Rendimiento de vainas de tara (kilogramos/Hectárea)	57
Figura 3.7: Rendimiento de vainas de tara en por tratamiento	61
Figura 3.8: Curva de coeficiente de cultivo, tratamiento 1	65
Figura 3.9: Curva de coeficiente de cultivo, tratamiento 2	66
Figura 3.10: Curva de coeficiente de cultivo, tratamiento 3	67
Figura 3.11: Consumo de agua del cultivo de tara, riego cada 10 días	68
Figura 3.12: Consumo de agua del cultivo de tara, riego cada 20 días	68
Figura 3.13: Consumo de agua del cultivo de tara, riego cada 30 días	69

INTRODUCCIÓN

Un programa adecuado de riego consiste en aplicar la suficiente cantidad de agua por planta, de manera que éstas no experimenten estrés y se minimicen las pérdidas. En los últimos años, la escasez de agua ha obligado a reorientar la investigación hacia el uso de sistemas de riego más eficientes que permitan ahorrar agua. Una de las etapas obligadas para el diseño, construcción o instalación y operación de cualquier sistema de riego es la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos que se pretenden establecer en alguna región.

La tara (*Caesalpinia spinosa*) especie perenne del que se aprovecha dos cosechas de sus vainas al año, representa el sostén económico del agricultor del valle interandino. El Perú es el mayor productor de tara en el mundo, con el 80% de la producción mundial. La producción proviene básicamente de bosques naturales y en algunas zonas de parcelas agroforestales. En este sentido Perú es el país de los Andes que tiene mayor área con bosques de tara, seguido por Bolivia, Chile, Ecuador y Colombia. En los últimos años se viene considerando a la tara como una alternativa de desarrollo económico para las familias del sector agrario en especial en los valles interandinos del Perú, gracias a la comercialización de las vainas (Avendaño, 2008).

La tara al ser un cultivo perenne tiene poca o ninguna investigación en cuanto al requerimiento hídrico. Por tanto uno de los problemas que tienen que afrontar los agricultores es determinar el momento oportuno del riego y la cantidad de agua a suministrar en dichos riegos, de modo tal que aunado con otras prácticas agronómicas se pueda obtener un rendimiento óptimo el cual se traduciría en un mayor beneficio económico para el agricultor.

En los últimos años en la región de Ayacucho la producción con manejo agrícola intensivo se ha incrementado habiendo la necesidad de contar con sistemas de riego adecuados para el mismo. Para ello se deben optimizar todos los recursos comprometidos con el cultivo. El agua es uno de los principales factores en la productividad y el correcto manejo del riego es fundamental.

Es importante señalar que la presente investigación se desarrolló en el marco del convenio entre la institución SOLID PERÚ y la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. La institución SOLID PERÚ venía ejecutando el **Proyecto Tara** en las provincias de Huamanga y Huanta en la región Ayacucho y Chincheros en la región Apurímac. Teniendo como objetivo principal brindar el asesoramiento técnico productivo en dicha cadena de valor.

Es en este escenario que se planteó realizar la investigación y determinar el requerimiento hídrico de la tara. Los tratamientos aplicados (intervalos de riego), fueron obtenidos de campo, es decir de las prácticas de los mismos agricultores beneficiados por el proyecto.

Bajo las consideraciones descritas se realizó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

1. Evaluar el requerimiento hídrico del cultivo de tara mediante la determinación de humedad del suelo - método gravimétrico.
2. Determinar la necesidad de riego identificando la etapa de máximo consumo del cultivo de tara en un periodo de producción.
3. Establecer una programación de riego para cultivo de tara en las condiciones de la zona de estudio.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 LA TARA

1.1.1 Origen y distribución

ARAUJO y ORIUNDO (2000) mencionan; la tara (*Caesalpiniaspinosa*) es una especie nativa del Perú, ampliamente distribuida en América Latina. Se distribuye entre 4° y 32° S, abarcando diversas zonas áridas en Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia hasta el norte de Chile. En forma natural se presenta en lugares semiáridas con un promedio de 320 a 500 mm de lluvia. También se le observa en cercos de linderos como un árbol de sombra para los animales, dentro de cultivos de secano y como ornamental.

VILLANUEVA (2007) dice la tara es producida en varias zonas del país, cultivada en terrenos situados entre los 1000 y 2900 msnm, siendo los principales departamentos productores: Cajamarca, **Ayacucho**, La Libertad, Huancavelica, Apurímac, Ancash y Huánuco.

DE LA CRUZ (2004) menciona que generalmente un árbol de tara da frutos a los tres años si es cultivado, y si es silvestre a los cuatro años. Su promedio de vida es de

cien años y el área que ocupa cada árbol es de 10 metros cuadrados. El ciclo productivo es prolongado en terrenos con riego, llega en promedio hasta los 85 años resultando a esta edad prácticamente improductiva; comienza a producir prematuramente, alcanzando su mayor producción a los 15 años y empieza a disminuir a los 65 años.

1.1.2 TAXONOMÍA

La taxonomía de la tara según VILLANUEVA (2007) es la siguiente:

Reino	: Plantae
División	: Fanerogamae
Sub División	: Angiospermae
Clase	: Dicotyledoneae
Orden	: Rosales
Familia	: Caesalpinaceae (leguminosae)
Sub Familia	:Caesalpinoideae
Género	: <i>Caesalpinia</i>
Especie	: <i>spinosa</i>
Nombre científico	: <i>Caesalpinia spinosa</i>
Nombre común	: “Tara”, “taya”, “guarango”

DE LA CRUZ (2004), describe que etimológicamente el nombre científico de *Caesalpinia*, fue puesto en honor de Andrea Caesalpini (1524-1603), botánico y filósofo italiano, y *spinoso* del latín spinosus, planta con espinas.

1.1.3 Características morfológicas

a) Raíz

VILLANUEVA (2007) señala que la tara posee un sistema radicular que se caracteriza por tener una raíz principal que es pivotante y raíces secundarias que se desarrollan alrededor de la planta en forma circular, con diversas modificaciones, que en zonas áridas le permite alcanzar las fuentes de agua relativamente distantes.

b) Tallo

VILLANUEVA (2007) indica que no en todos los casos, pero por lo general, el tallo tiene un solo eje central, con ramificaciones laterales desde el medio hasta la parte superior, con un grosor de 20 a 40 cm. Es de consistencia leñosa y su color varía de marrón claro a oscuro.

c) Hojas

Las hojas son compuestas, bipinnadas, con 6 a 8 pares de folíolos opuestos, lisos y de borde entero, se caracterizan por tener pequeñas espinas tanto en los pecíolos como en el raquis.

d) Inflorescencia

VILLANUEVA (2007) precisa que sus racimos terminales son de 15 a 20 cm de longitud con flores de color amarillo.

e) Flores

VILLANUEVA (2007) reporta que la tara posee flores de ambos sexos. Tiene un cáliz irregular con un sépalo largo (1 cm); corola con pétalos libres de color amarillo, los estambres son libres y los filamentos pubescentes. El pistilo presenta un estilo encorvado y ovario súpero pubescente. Sus flores son medianas y en forma de racimos de 7 a 15 cm de largo, con pedúnculos pubescentes de 5 cm de tamaño.

f) Fruto

VILLANUEVA (2007) manifiesta que el fruto es una vaina o legumbre, gruesa, alargada de 2 cm de ancho y de 8 cm de largo. En estado no maduro la vaina es de color verde y cuando madura se toma de color naranja y/o roja y de textura coriácea. Son vainas encorvadas, indehiscentes de 2 cm de ancho por 8 a 9 cm de largo

Es una legumbre o vaina indehiscente, rica en proteína, almidones y tanino; contienen varias semillas que al estado inmaduro están cubiertas por una sustancia o estructura gomosa, a la madurez presenta una testa bastante dura. Característica peculiar por contener abundante materia tánica a nivel de los frutos legumbres (Cornejo, 1983).

g) Semilla

ARAUJO y ORIUNDO (2000) mencionan que la semilla es de forma oval y aplanada, de superficie lisa, brillante y de color marrón oscuro; su tamaño es variable de 0.8 a 1.2 cm.

VILLANUEVA (2007) indica que la semilla está cubierta por una cáscara o testa gruesa impermeable la cual cubre a una capa comestible y transparente.

1.1.4 Requerimientos agroecológicos

a) Clima

ARAUJO y ORIUNDO (2000) mencionan que la tara es una planta que se adapta a diferentes condiciones climáticas, debido a ellas se le puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 2800 metros de altitud.

Temperatura : Varía entre 12° y 18°C. En los valles interandinos la temperatura Ideal es de 16° a 17 °C. (PRETELL, 1982)

Precipitación : Para su desarrollo óptimo requiere de lugares con precipitación de 400 a 600 mm, pero también se encuentra en zonas que presentan desde 200 a 750 mm de promedio anual. (PRETELL, 1982)

b) Suelo

La tara es una especie poco exigente en cuanto a la calidad de suelo, aceptando suelos pedregosos, degradados y hasta lateríticos, aunque en esas condiciones reporta una baja producción

Textura : Desarrolla en forma óptima y con porte arbórea robusto en los suelos francos y franco arenosos.

pH : La tara desarrolla en suelos de pH ligeramente ácido a medianamente alcalino.

VILLANUEVA (2007) menciona que la tara es una planta que no necesita tierra especial para su crecimiento; puede fijarse en una gama de tierras (silícicos, arcillosos, secas, pedregosos, degradados, lateríticos, suelos de chacra ligeramente ácidos o medianamente alcalinos), aunque su producción es baja pero se desarrolla en forma óptima y con porte arbóreo robusto. Reporta sus mejores rendimientos en suelos con texturas francas, franco-arenosas y franco-arcillosas. En el cuadro siguiente se muestra una aproximación de la profundidad radical efectiva diferente de la tara.

Textura	Profundidad efectiva radical (m)
Franco arenoso	1.7
Franco limoso	1.6
Arena fina	1.5
Franco arcilloso	1.2
Arcilloso	0.6

Fuente: VILLANUEVA (2007)

c) Zonas de vida

De acuerdo a la clasificación de L. Holdridge, la tara se ubica en las siguientes zonas de vida:

Estepa espinosa - Montano Bajo: precipitación de 250 a 500mm y biotemperatura de 12 - 18°C, en donde ocupa toda la zona.

Bosque seco - Montano Bajo: precipitación de 500 a 700 mm y biotemperatura de 12 - 18°C, ocupando el sector de menor precipitación.

Matorral desértico - Montano Bajo: precipitación de 200 - 250 mm y biotemperatura de 13 - 18°C, encontrándose en el sector de mayor precipitación y en las lomas, que son asociaciones que se asemejan a esta zona de vida.

Montano espinoso - Premontano: precipitación de 350 - 500 mm anuales y biotemperatura de 18 - 20°C, ocupando el sector de mayor precipitación y humedad.

1.1.5 Fenología de la tara

ROBLES (1987) señala que la fenología es el estudio de las relaciones de las plantas con el clima y su respuesta a esta, es decir es el estudio de los fenómenos biológicos que acontecen en un ritmo periódico, como el brotamiento de las yemas, las inflorescencias, la maduración de los frutos, la caída de las hojas, etc. Estos fenómenos se relacionan con el clima de la localidad donde ocurren.

ROBLES (1987) menciona que la fenología también se define como la rama de la ecología que estudia fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones ambientales (temperatura, insolación, Humedad, etc.).

La importancia de la fenología radica en que da a conocer los periodos o etapas críticas de las plantas cultivadas, además permite incrementar la producción así como ahorrar los insumos disponibles, con lo cual aumentan los beneficios.

CONDEÑA et al. (2006) señalan que bajo condiciones de secano y de los valles interandinos se considera dos fases bien definidas dentro del ciclo anual de producción de tara.

a) Fase vegetativa

CONDEÑA et al. (2006) mencionan que se presenta cinco estados fenológicos en la rama vegetativa, los cinco estados tienen características particulares peculiares, debemos hacer resaltar que antes del brotamiento no hemos encontrado evidencias de cómo reconocer yemas vegetativas o florales.

b) Fase reproductiva

CONDEÑA et al. (2006) mencionan que la fase reproductiva de la tara presenta 13 estados. Los estados más breves son, el crecimiento del pedúnculo (3 a 8 días), cuajado (4 a 10 días) y caída de brácteas (3 a 10 días); los estados más prolongados son, diferenciación (20 a 28 días), crecimiento del racimo (25 a 29 días), crecimiento de vaina (28 a 38 días) y llenado de grano (24 a 30 días). Los estados más prolongados, coinciden con el crecimiento y desarrollo más significativo del racimo frutero, así el crecimiento del racimo y de la vaina definirá el posterior llenado de granos, hechos que sugieren mayores atenciones en estos estados, sin descuido de las atenciones en los estados de dehiscencia y cuajado.

Bajo condiciones de un sistema de plantación que contó con riego, CHÁVEZ (2012) en la tesis “BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE LA TARA (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntze). EN PAQUECC 2418 m.s.n.m HUANTA, AYACUCHO” establece que el ciclo productivo siguiente:

ESTADO FENOLOGICO	Tiempo (días)
Yema floral (inicio)	35.44
Racimo floral Botones	15.7
Racimo en apertura floral	10.69
Crecimiento	44.32
Llenado de Vainas	20.4
Vainas llenas M. fisiologica	33.02
Vainas maduras M. cosecha	
TOTAL	159.57

Fuente: CHÁVEZ (2012)

Dándose así dos cosechas al año.

1.1.6 Rendimiento y productividad de la tara

AVENDAÑO (2008) menciona que a los 8 años la tara, alcanza rendimientos de 30 kilogramos de tara en vaina, con un contenido de taninos superiores al 60%.

ARAUJO y ORIUNDO (2000) mencionan que la productividad entre árboles puede variar de 20 a 40 ó 25 a 100 kg de vainas por año, en dos cosechas. La época de cosecha y el rendimiento obtenido varían de acuerdo a la zona y están en función a la densidad de plantación y de la presencia de humedad en el suelo. Para el caso de plantas silvestres agrupadas en pequeñas áreas o aisladas, su producción puede incrementarse con un adecuado riego y fertilización. Para realizar cálculos económicos generalmente se infiere una producción promedio de 20 kg por árbol.

1.2 REQUERIMIENTO HÍDRICO

VÁSQUEZ (1999) menciona que el requerimiento hídrico está referido a la cuantificación del consumo o demanda de agua de los cultivos, elemento básico que se utiliza para dimensionar las obras de infraestructura de riego, así como planificar y programar el riego de los cultivos a nivel parcelario.

1.2.1 Evapotranspiración

a) Evaporación

SERRUTO (1999), menciona que es un fenómeno mediante el cual, el agua pasa a la atmosfera en estado de vapor. Los factores que lo afectan son: la naturaleza de la superficie de evaporación y la diferencia de presión de vapor, que está su vez determinada por la temperatura, velocidad del viento, la presión atmosférica y el grado de salinidad del agua.

Cuando la capa freática se halla muy próxima a la superficie, la evaporación del suelo es casi igual a la de la superficie libre de agua, mientras que con niveles freáticos más profundos la evaporación disminuye hasta anularse, cuando la humedad no llega a alcanzar la superficie del suelo por la acción de la capilaridad.

Menciona que la evaporación es un fenómeno físico por virtud del cual el agua pasa a la atmosfera en estado de vapor. Este fenómeno, sin embargo se reduce considerablemente a medida que la humedad del suelo decrece por debajo de la capacidad de campo.

b) Transpiración

KRAMER (1989) define como la pérdida de agua de las plantas en forma de vapor. Sin embargo a diferencia de la evaporación desde una superficie acuosa, la transpiración es modificada por la estructura de la planta y el comportamiento de los estomas.

SERRUTO (1999) define como el proceso por el cual el vapor de agua se desprende de las plantas vivas, principalmente de las hojas y pasa a la atmosfera. En realidad la transpiración es un fenómeno complejo que es afectado por muchos factores locales difíciles de valorar cuantitativamente.

GARCÍA (1992) dice que la transpiración es la pérdida de agua por la planta fundamentalmente a través del sistema foliar. El agua es captada del suelo por absorción del sistema radicular, que circula por la estructura de la planta y es emitida por la hojas en forma de vapor de agua para ser reintegrada a la atmósfera.

c) Uso consuntivo

GUROVICH (1999) menciona que se expresa mediante la tasa de evapotranspiración (ET_c) en mm/día o mm/mes, la cual depende, además de los factores del clima que afectan a la evaporación (Temperatura, humedad del aire, viento e intensidad de radiación solar), de las características fisiológicas de la cobertura vegetal y de la disponibilidad de agua en el suelo para satisfacer la demanda hídrica de la planta (transpiración y nutrición). Como la cantidad de agua que utiliza la planta para nutrirse es sólo en 1% de la que transpira, los términos uso consuntivo y evapotranspiración se pueden tomar como sinónimos.

d) Evapotranspiración

CHOW et al. (1994) mencionan que la evapotranspiración es la combinación de la evaporación desde la superficie de suelo y la transpiración de la vegetación. Cuando la evaporación ocurre en superficie cubierta con vegetación activa, el proceso se conoce como evapotranspiración, ya que se combinan ambos conceptos de evaporación del terreno o superficie de agua almacenada y el de transpiración del vegetal, desde el tejido o mesófilo.

VÁSQUEZ (1999) define como un proceso que resulta del efecto combinado de la evaporación del agua de un suelo húmedo y la transpiración del correspondiente cultivo en activo estado de crecimiento.

1.2.2 Factores que afectan la evapotranspiración

CHOW et al. (1994) mencionan que los mismos factores que dominan la evaporación desde una superficie de agua abierta también dominan la evapotranspiración, los cuales son: el suministro de energía y el transporte de vapor mediante el viento. Además, el suministro de humedad a la superficie de evaporación es un tercer factor que se debe tener en cuenta. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido.

Dentro de las condiciones naturales, la velocidad con que se cumple el proceso de la evapotranspiración depende esencialmente de:

- Disponibilidad de humedad.
- Estado de desarrollo (crecimiento) y cobertura de vegetación.
- Naturaleza y tipo de suelos.
- Elementos climáticos tales como: radiación solar, velocidad del viento, temperatura del aire y humedad relativa.
- Temperatura de la superficie evapotranspirante.

Estos factores mencionados pueden operar solos o combinados y sus efectos no necesariamente son constantes, ya que pueden variar de un año a otro así como de un lugar a otro.

1.2.3 La evapotranspiración potencial o de cultivo de referencia (ET_o).

La evapotranspiración potencial de un cultivo de referencia (ET_o) en mm/día, fue definida por DOOREMBOS y PRUIT (FAO, 1975) como: “La tasa de evaporación en mm/día de una extensa superficie de pasto (grama) verde de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufre de escasez de agua”.

ALLEN et al. (2006) dicen que los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ETo con parámetros climáticos.

1.2.4 Evapotranspiración del cultivo (ETc)

GUROVICH (1999) menciona que es llamado también uso consuntivo, se define como la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa desde la superficie del suelo, mas aquella cantidad de agua que se reintegra a la atmosfera debido a la evaporación del agua (lluvia o riego) que intercepta la superficie foliar de la planta.

ALLEN R. et al (2006) definen que la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ETc, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo. A pesar de que los valores de la evapotranspiración del cultivo y de las necesidades de agua del cultivo son idénticos, sus definiciones conceptuales son diferentes.

Se expresa mediante la tasa de evapotranspiración (ETc) en mm/día o mm/mes, la cual depende, además de los factores del clima que afectan a la evaporación (Temperatura, humedad del aire, viento e intensidad de radiación solar), de las características fisiológicas de la cobertura vegetal y de la disponibilidad de agua en el suelo para satisfacer la demanda hídrica de la planta (transpiración y nutrición).

Como la cantidad de agua que utiliza la planta para nutrirse es sólo en 1% de la que transpira, los términos uso consuntivo y evapotranspiración se pueden tomar como sinónimos.

Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración. La necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva.

1.2.5 La evapotranspiración real o actual (ETr)

En la práctica, los cultivos se desarrollan en condiciones de humedad muy lejanas de las óptimas. Por este motivo para calcular por ejemplo la demanda de riego se realiza en base a la evapotranspiración real (ETr), la cual toma en consideración al agua disponible en el suelo y las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla un cultivo determinado. Siempre y cuando el cultivo en consideración disponga de agua en abundancia (después de un riego o de una lluvia intensa) y en condiciones de buena aireación del suelo, ETr equivale a ETc.

AVIDAN (1994) menciona que la ETr nunca será mayor que ETc. Al aumentar la tensión del agua en el suelo, disminuye la capacidad de las plantas para obtener el volumen de agua requerido al ritmo impuesto por las condiciones del ambiente. Bajo

estas condiciones disminuye la transpiración del cultivo; por lo tanto ETr es inferior a ETc.

Bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de ETc debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ETc.

1.2.6 Factor o coeficiente del cultivo (Kc)

VÁSQUEZ (1999) menciona que depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de los cultivos y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante el ciclo vegetativo.

AVIDAN (1994) dice que el coeficiente de cultivo Kc, expresa la relación entre el uso consuntivo del cultivo en consideración, ETc y la evapotranspiración del cultivo de referencia ETo.

ALLEN et al. (2006) establecen la relación que puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como Coeficiente del Cultivo (Kc), y se utiliza para relacionar ETc a ETo de la siguiente manera:

$$Kc = \frac{ETc \text{ (mm/día)}}{ETo \text{ (mm/día)}}$$

El Kc, está determinado por el volumen foliar de los cultivos; es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se quiere evaluar su consumo de agua.

1.2.6.1 Factores que afectan los valores de kc

- Características del cultivo.

- Fecha de siembra.
- Ritmo de desarrollo del cultivo
- Duración del ciclo vegetativo
- Condiciones climáticas
- Frecuencia de lluvia o riego

1.2.6.2 Fases de desarrollo del cultivo

La FAO divide el ciclo de vida de los cultivos en cuatro etapas:

- Fase inicial:** comprende el periodo de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada del cultivo, y el cultivo cubre un 10% de la superficie.
- Fase de desarrollo del cultivo:** desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada. efectiva completa del orden del 70 – 80%.
- Fase de mediados del periodo (maduración):** desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración, que se hace evidente por la decoloración o caída de las hojas. Durante esta etapa el cultivo alcanza el máximo uso consuntivo.
- Fase final del ciclo vegetativo:** desde el final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o la recolección. Durante esta etapa el consumo de agua disminuye paulatinamente.

1.2.7 Métodos para determinar la evapotranspiración

a) Métodos directos

AVIDAN (1994) menciona que los métodos directos para medir la evapotranspiración se basan en el balance hídrico, el cual se determina principalmente mediante los lisímetros o por el método gravimétrico.

➤ **Método del lisímetro**

Los lisímetros son dispositivos formados por un tanque con area de 4 m² como mínimo y pudiendo alcanzar hasta 10 m² su profundidad depende del cultivo mas lo ideal es de 1 a 1.20 m sobre todo para cultivos anuales; al llenarse el recipiente se inicia con una capa de cascajo y otra de arena fina y luego es colocado el suelo obedeciendo las capas del perfil del mismo. En ellos se siembran cultivos cuya pérdida continua de agua se desea conocer. Estos nos permiten conocer la evapotranspiración real.

➤ **Método gravimétrico (humedad del suelo)**

En este método es necesario determinar la humedad del suelo, tomando muestras a distintas profundidades, en un cierto intervalo de tiempo y luego por diferencia de dos medidas consecutivas se determina perdida de agua el cual es la evapotranspiración real.

AVIDAN (1994) menciona que se basa en la determinación en los diferentes valores de humedad registrados en una serie de pesadas que se efectúan a través del ciclo vegetativo, en muestras de suelo, obtenidas a una profundidad igual a la que tienen las raíces de las plantas del cultivo considerado.

Para obtener valores aproximados por este método, es necesario realizar el trabajo en terrenos homogéneos, profundos, sin capas restrictivas y mantener el suelo en buenas condiciones de humedad durante todo el ciclo vegetativo, así como humedecer una capa de 30 cm de más, aparte de la profundidad radicular del cultivo. La determinación de la humedad del suelo se hace antes y después de cada riego, en la zona radical del cultivo.

b) Métodos indirectos y/o empíricos

AVIDAN (1994) dice que la mayoría de los métodos indirectos para estimar evapotranspiración potencial emplean formulas, las cuales reflejan los procesos físicos del clima, o formulas aproximadas, desarrolladas por métodos de regresión sobre resultados de la experimentación.

Entre los métodos de las fórmulas de predicción podemos mencionar a los siguientes:

➤ Método de Hargreaves

La siguiente fórmula fue desarrollada por Hargreaves (Hargreaves G.L, Hargreaves G.H & Riley J.P, 1985) y (Hargreaves G.H. & Samani Z.A, 1991), a base de mediciones realizadas en lisímetros (Universidad de California). Con pasto festuca, como lo menciona Avidan.

$$ET_o = 0.0023 * Ra * (T_m + 17.8) * \sqrt{TD}$$

Dónde:

ET_o : Evapotranspiración Potencial (mm/día o mm/mes)

R_a : Radiación extraterrestre (mm/día)

T_m : Temperatura media diaria (°C)

TD : Diferencia de temperatura promedio diaria en el periodo considerado (°C).

TD : Temperatura máxima media (°C) –Temperatura mínima media (°C)

El valor de la radiación extraterrestre, es decir, la radiación al tope de la atmosfera, R_a se obtiene de tablas del anexo; tabulada por los meses y por latitud en el periodo correspondiente.

➤ Método de FAO Penman - Monteith

ALLEN et al. (2006) mencionan que numerosos investigadores han analizado el funcionamiento de los varios métodos del cálculo para diversas localidades. Como resultado de una Consulta de expertos llevada a cabo en mayo de 1990, el método FAO Penman-Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiration de referencia, ETo. La ET del cultivo bajo condiciones estándar se determina utilizando los coeficientes de cultivo (Kc) que relacionan la ETc con la ETo.

La ecuación general del método FAO Penman-Monteith es la siguiente:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Dónde:

ETo : Evapotranspiración de referencia (mm día-1)

Rn : Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)

Ra : Radiación extraterrestre (mm día-1)

G : flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)

T : temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u2 : velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)

es : presión de vapor de saturación (kPa)

ea : presión real de vapor (kPa)

es – ea : déficit de presión de vapor (kPa)

Δ : pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)

γ : constante psicométrica (kPa °C-1)

1.3 COEFICIENTES HÍDRICOS

1.3.1 Capacidad de campo (CC)

GUROVICH (1999) define la capacidad de campo de un suelo como el contenido de humedad que queda en el suelo después de haberse drenado el exceso de agua. Una buena definición de capacidad de campo es: "la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener contra el drenaje por gravedad". Generalmente se presenta de dos a cinco días después de un riego pesado o una fuerte lluvia, dependiendo de la textura y estructura del suelo, correspondiendo el mayor retraso a los suelos pesados o arcillosos.

1.3.2 Punto de marchitamiento permanente (PMP)

GUROVICH (1999) define el punto de marchitamiento permanente de un suelo como el contenido de humedad de suelo en el cual algunas plantas indicadoras como tomate y girasol, se marchitan y no se recuperan al trasladarse a una cámara húmeda (100% de humedad relativa). Para fines prácticos se puede estimar en función de la capacidad de campo y la textura del suelo; para suelos pesados o arcillosos el valor del PMP es igual al valor de CC entre dos, suelos medios presentan valores para PMP que corresponden a su CC entre 2.1 y en los suelos ligeros o arenosos el PMP se estima dividiendo su CC entre 2.2

1.3.3 Densidad aparente (DA)

GUROVICH (1999) define la densidad aparente del suelo como es el peso del suelo seco por unidad de volumen en condiciones de campo

1.3.4 Medidas de humedad del suelo

GARCÍA (1992) menciona que el agua retenida por el suelo es denominado como humedad del suelo y puede ser medido en base a peso (gravimetría) o en base a volumen.

1.3.4.1 Humedad en base a peso (u)

Es la cantidad de masa de agua existente en la muestra de masa de partículas sólidas (ms).

$$u = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de partículas (ms)}} * 100$$

Este método es de evaluación más fácil, solo precisa conocer los pesos y no interesa tener cuidado en la destrucción de la estructura del suelo. Para el muestreo pueden ser utilizados cualquier instrumento. La muestra debe oscilar entre 10 a 100 gramos. Una vez realizada el muestreo debe evitarse la pérdida del agua por evaporación y debe pesarse para obtener la masa de suelo húmeda (mu) para luego colocar en estufa a 105 °C hasta adquirir peso constante, obteniéndose así la masa de suelo seco (ms), con ello la masa del agua ml = mu – ms. Luego:

$$u = \frac{(mu - ms)}{ms} * 100$$

1.3.4.2 Humedad en base a volumen (θ)

Es el volumen de agua (Vl) existente en el volumen total de muestra (Vt):

$$\theta = \frac{\text{Volumen de agua (Vl)}}{\text{Volumen total de suelo}}$$

También en este caso es necesario medir mu y ms, además se hace necesario medir el volumen de la muestra y el método es el anillo volumétrico:

$$\theta = \frac{(mu - ms)}{Vt} * 100$$

ml = mu – ms, y como la densidad del agua es 1gr/m³ se tiene que ml = Vl

La toma de muestra para calcular θ requiere prestar mucho cuidado para no alterar la estructura del suelo. Para realizar este proceso es necesario abrir trincheras o calicatas en cuyas paredes deben retirarse las muestras.

1.4 NECESIDADES DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

AVIDAN (1994) menciona la necesidad de riego está referida a la satisfacción de la necesidad de agua de los cultivos, el cual contempla el procedimiento por el cual se calculan las necesidades de agua de riego de los cultivos cuando se los riega por medio de uno de los diferentes sistemas de riego.

Las necesidades de agua de riego expresan el volumen de agua de riego por aplicar a fin de compensar el déficit de humedad del suelo durante el periodo vegetativo del cultivo.

1.4.1 Definición del riego

GUROVICH (1999) define como la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil de suelo para reponer es este el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos.

Un buen riego no es aquel que moja uniformemente la superficie del suelo si no aquel que moja adecuadamente el perfil del suelo hasta donde se encuentra la gran masa de las raíces de un cultivo.

1.4.2 Programación de riego

GUROVICH (1999) menciona que la programación de riego tiene objetivo constituir una herramienta para un manejo eficiente del riego que permita expresar el potencial de rendimiento de los cultivos haciendo un mejor uso de los recursos suelo y agua.

La programación de riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de riego a aplicar a los cultivos. Esta consiste en establecer la frecuencia (¿Cuándo regar?) y tiempo de riego (¿Cuánto regar?) de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del terreno. Una apropiada programación de riego permite optimizar el uso de agua, maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas.

Es necesario realizar una programación adecuada del sistema de riego, asegurando el agua en la cantidad necesaria y en el momento adecuado.

Los factores tomados en cuenta para la programación son: necesidades de agua del cultivo (costumbres de riego), tipo de suelo (cantidad de agua disponible, capacidad de infiltración), clima (precipitación, vientos, evaporación), calidad de agua (física, química).

ROJAS et al. (2001) mencionan que una de las principales deficiencias de operación, la cual afecta en forma directa a la producción, lo constituye la determinación de los tiempos de riego y/o la frecuencia de reposición de agua. Por este motivo, adquiere especial importancia la programación de riego, que tiene por finalidad determinar la cantidad de agua disponible en el suelo, asociarla con los requerimientos del cultivo, para luego, vía riego, proveer el agua necesaria para satisfacer en forma adecuada y oportuna las exigencias del cultivo.

a) Lamina neta de riego (Ln)

PIZARRO (1990) define como la cantidad de agua que tiene que aplicarse durante en riego, para reponer el agua que ha sido extraído por la planta. Para su estimación se usa la siguiente formula:

$$Ln = \frac{(CC - PMP) * Da * Pr * Pa * Am}{100}$$

Dónde:

Ln : Lamina neta de riego (mm, cm, m)

CC : Capacidad de campo (%)

PMP : Punto de marchitez permanente (%)

Da : Densidad aparente (gr/cm³)

Pr : Profundidad efectiva de raíces (mm, cm, m)

Pa : Porcentaje de agotamiento del agua disponible (%)

Am : Área mojada (%)

b) Lamina bruta de riego (Lb)

Para efectos de cálculo de volúmenes de agua y los caudales de aplicación es necesario conocer la lámina bruta, la cual se calcula en función a la eficiencia de riego:

$$Lb = \frac{Ln}{Er}$$

Dónde:

Lb : Lamina bruta de riego (mm, cm, m)

Ln : Lamina neta de riego (mm, cm, m)

Er : Eficiencia de Riego (%)

c) Frecuencia de riego (Fr)

Este término está referido al tiempo que debe transcurrir de un riego a otro.

Teóricamente se calcula utilizando la relación siguiente:

$$Fr = \frac{Ln}{ETc}$$

Dónde:

Fr : Frecuencia de riego (días)

Ln : Lamina neta de riego (mm, cm, m)

ETc : Evapotranspiración de cultivo (mm.día-1)

d) Tiempo de riego

El tiempo de riego es el periodo que debe durar el suministro de agua al campo, hasta alcanzar la capacidad de campo. Teóricamente se calcula utilizando la relación siguiente:

$$Tr = \frac{Ve}{qa}$$

Dónde:

Tr: tiempo de riego (horas)

Ve: volumen de agua por emisor en cada riego (litros)

qa: caudal medio por emisor (l/hr)

e) Eficiencia de riego

VÁSQUEZ (1992), sostiene que en la operación de todo sistema de riego, se presenta pérdidas de agua por tanto en la red de distribución y conducción, así como en el riego de la misma parcela. Por ello en el diseño de un sistema de riego se deben tomar en cuenta dichas pérdidas, a fin de asegurar el abastecimiento adecuado y oportuno de agua para el riego de los cultivos.

Llamada también eficiencia de riego del proyecto, sirve para determinar o responder la pregunta ¿Cuál es la demanda del proyecto?

La eficiencia de riego está dada por la relación entre el volumen de agua evapotranspirada por la plantas y evaporada del suelo de una determinada unidad de área, más la cantidad de agua necesaria a fin de mantener una concentración adecuada de sales en el perfil enraizado del suelo de dicha área, menos la precipitación efectiva (PE) que puede ocurrir en la zona, por un lado, y el volumen de agua por unidad de área que es derivado o extraído de la fuente de abastecimiento que puede ser río, pozo o reservorio, para ser usado en el riego.

La eficiencia de riego se puede dividir básicamente en cuatro componentes:

- Eficiencia de conducción

- Eficiencia de distribución
- Eficiencia de aplicación
- Eficiencia de almacenamiento

Eficiencia de riego para diferentes métodos de riego

Método de riego	Eficiencia de riego (%)
Riego por surco	50 – 70
Riego por inundación	30 – 40
Riego por aspersión	65 – 85
Riego por goteo	75 – 90

1.5 ANTECEDENTES E IMPORTANCIA

La determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos es motivo de estudio en diversas partes del mundo y nuestra región no ha sido la excepción. Sin embargo Los trabajos de investigación deberían orientarse hacia el mejoramiento de la eficiencia del riego, a través de la determinación de las cantidades y frecuencias de riego necesarias los cuales están directamente vinculados con la evapotranspiración potencial en función de condiciones locales. Por los tanto estos requerimientos son variables en un lugar y otro.

En nuestro departamento son pocas las investigaciones referidas a la determinación de requerimientos hídricos de los cultivos. Las cuales se detallan a continuación.

1) YANCE (1999) realizó en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a través de la Facultad de Ciencias Agrarias realizó una investigación titulada “Uso consuntivo, régimen de riego y lixiviación de nutrientes por el método lisímetro en cuatro cultivos en pampa del arco - Ayacucho”, determinando los siguientes resultados.

Cultivos	Requerimiento de agua (mm/campaña)
Cebada	958.49
Clavel	1287.31
Tomate	910.34
Maíz	1281.56

2) CHIPANA (2001) realizó en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a través de la Facultad de Ciencias Agrarias, realizó una investigación titulada “Requerimiento hídrico, régimen de riego y lixiviación de nutrientes, para cuatro cultivos en pampa del arco - Ayacucho”, determinando el siguiente cuadro de evapotranspiración de cultivo.

Cultivos	Requerimiento de agua (mm/campaña)
Papa	827.38
Fresa	489.29
Arveja	938.15
Trigo	779.2

3) GARCÍA y JACOBSEN (1990) en el país de Bolivia, en la provincia de Patacamaya, en la campaña 1989 a1990, realizaron una investigación titulada “Análisis de la evapotranspiración de referencia en el Altiplano Boliviano y Determinación de los requerimientos de riego de quinua”, determinando el siguiente cuadro de evapotranspiración de cultivo.

Fase Fenológica	Evapotranspiración de cultivo (mm/día)
Emergencia -	2.8
Cuatro hojas verdaderas	2.77
Estado vegetativo	3.12
Formación de panoja	3.32
Floración	4.21
Polinización	4.54
Grano lechoso	4.71
Grano pastoso	4.08
Madurez fisiológica	3.25
PROMEDIO	3.64
TOTAL (mm/periodo vegetativo)	450

4) PUPPO y GARCÍA (2007) en el país de Uruguay, en la región Sur; en las tres primeras temporadas 2004-04; 2005-06; 2006-07, realizaron la siguiente investigación “Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría”; determinándose los siguientes resultados.

Temporada	Consumo (mm/día)
Primera temporada (1 año)	5
Segunda temporada (2 año)	6
Tercera temporada (3 año)	6

5) RIU y SETTEPANI (2004) en el país de Argentina, en el departamento de Mendoza se realizaron la investigación titulada “Requerimiento hídrico en álamos de 6 años”, obteniéndose los siguientes resultados:

El número de riegos anuales fue de 21 y la evapotranspiración diaria del cultivo fue de 14.6 mm/día. Los resultados muestran que para el IR (intervalo de riego) = 7 días la Evapotranspiración real (Etc) fue de 2.097 mm; para IR = 14 días fue de 1 467 mm y para IR = 21 días fue de 1 051 mm.

6) ALFARO (1998) realizó en la Universidad Nacional Agraria la Molina, a través de la Facultad de Ingeniería Agrícola, realizó una investigación titulada “Efecto de tres frecuencias de riego sobre el crecimiento y rendimiento de papa”. Obteniendo los siguientes resultados:

Frecuencias de riego (días)	Consumo de agua por evapotranspiración (cm)
10	22.7
15	18.7
20	15.6

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1 Ubicación

La investigación se realizó en la comunidad de Quiucho, distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho.

Quiucho se encuentra ubicada al lado Noreste del distrito de Pacaycasa a 20 minutos de caminata.

Ubicación política:

Departamento : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distrito : Pacaycasa

Lugar : Quiucho

Ubicación geográfica:

Latitud : 13°02'40" S

Longitud : 74°11'45" 0

Altitud : 2760 m.s.n.m

2.1.2 Características Climáticas

Según lo reportado por la estación meteorológica Wayllapampa administrado por el SENAMHI Huancayo, se tiene lo siguiente:

a) Precipitación

De acuerdo a lo registrado en la estación Wayllapampa las precipitaciones ocurren desde los meses noviembre o diciembre y llegando a mayores láminas de precipitación en los meses de enero a marzo y el resto de los meses constituyen épocas secas o de estiaje, a veces presentándose bajas o escasas precipitaciones.

Durante el tiempo de ejecución de trabajo (mayo a octubre 2010) se reportó una precipitación máxima de 8.4mm en el mes de octubre y una mínima de 0.3mm en el mes de junio.

En los anexos de adjuntan las series de registros de precipitación.

b) Temperatura

La temperatura varía de acuerdo a los meses, y durante el año, se puede apreciar que los meses con altas temperaturas son de setiembre a diciembre y los meses con temperaturas frías se dan en los meses de mayo a agosto.

La temperatura promedio mensual máxima es de 27.84 °C que ocurrió en el mes de noviembre y la mínima promedio mensual de 3.20°C que se presentó en el mes de julio, presentando un promedio de temperatura media mensual de 13.53°C registrado durante los últimos 10 años.

c) Humedad relativa

La humedad relativa experimenta variaciones, los meses de invierno son los más secos y los de verano los más húmedos (enero - marzo), siendo el promedio anual de 59%.

d) Viento

La velocidad media mensual varía entre 0.4 – 1.0 m/s, con dirección noroeste – sur, presentándose también vientos esporádicos de direcciones muy variables.

e) Horas Sol

Presenta una distribución desuniforme durante todo el año con cielo despejado en algunos meses de mayo a setiembre y en los meses de octubre a marzo con nubosidad alta. La máxima nubosidad por día llega hasta 8 horas y la mínima de 4 horas.

Por tanto podemos decir que las condiciones climáticas han sido favorables para el desarrollo del cultivo. Como se mencionó, estos datos fueron obtenidos por la estación meteorológica Wayllapampa, que dista aproximadamente 1800 m del campo en que se realizó el experimento.

2.1.3 Características del suelo

a) Características físicas del suelo del área de estudio

Algunas de las características del suelo se muestran en el cuadro siguiente.

ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS							
Muestra Prof. (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural	Densidad Aparente (g/cc)	% Capacidad Campo	% Punto Marchitez
0-20	52	26	22	Fco. Arcillo-Arenoso	1.42	34.8	18.9
20-40	32.4	29.6	38	Franco Arcilloso	1.29	38.4	20.8
40-60	26.4	27.6	46	Arcilloso	1.06	40.4	21.9

Fuente: Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar - UNSCH

En cuanto a la estructura del suelo, ésta obedece al arreglo de las partículas de para formar agregados. De acuerdo a la evaluación de campo se estableció que el tipo de estructura es variable y depende de la profundidad del perfil de evaluación.

En la primera capa 0 – 20 cm, los agregados son de tipo granular, seguidamente entre los 20 – 40 cm es de tipo laminar, al igual que en la capa más profunda 40 – 60 cm.

2.2 ORGANIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

2.2.1 Factores de estudio

Evaluación del uso consuntivo o consumo del agua del cultivo estudiado (ETc)

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	CICLO VEGETATIVO	EDAD
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Tara	Perenne	4 años

2.2.2 Diseño experimental

El experimento se condujo utilizando el Diseño en Bloques Completamente Randomizado (DBCR), con dos bloques (dos repeticiones), y con tres tratamientos; el diseño se plantea de acuerdo a lo requerido por la investigación.

El Diseño en Bloques Completamente Randomizado, usado obedece al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i=1, 2, \dots, t \text{ y } j=1, 2, \dots, b$$

Dónde:

Y_{ij} : es la respuesta obtenida de la unidad experimental del j -ésimo bloque sujeto al tratamiento i .

μ : El efecto de la media común.

τ_i : El verdadero efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j : El verdadero efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} : Es una variable aleatoria no observable llamado error

Para el proceso de inferencia se asume que ε_{ij} es una variable aleatoria independiente que se distribuye normalmente con media cero y variancia común σ^2 .

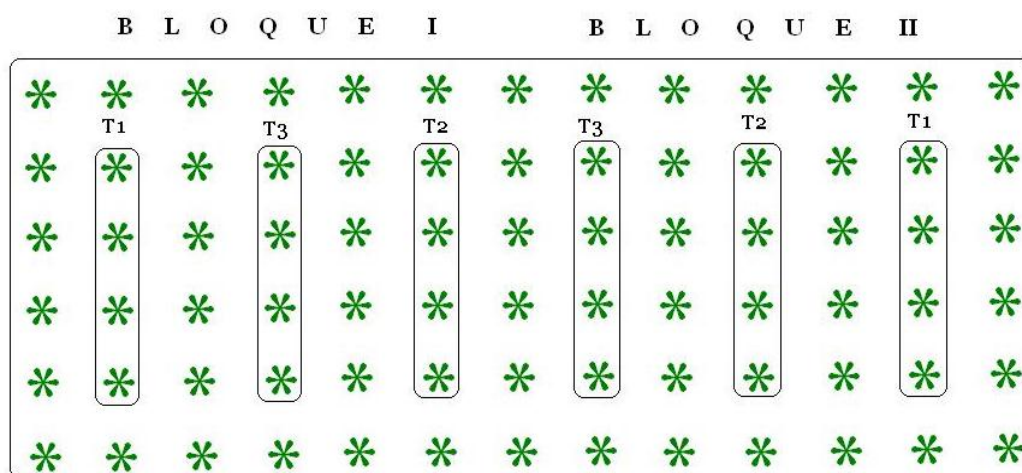
Los tratamientos fueron intervalos de riego; siendo el tratamiento 1 (T1) de 10 días, tratamiento 2 (T2) de 20 días y tratamiento 3 (T3) de 30 días.

En cuanto a los tratamientos (intervalos de riego), se seleccionaron estos intervalos de riego debido a información obtenida de campo; es decir los productores realizan los riegos con esas con esos intervalos de riego indistintamente.

2.2.3 Características de la parcela experimental

El sistema de plantación fue cuadrado (4m x 4m). Cada unidad experimental fue constituida por 1 planta de tara establecidas en una fila de 16m de longitud, siendo el área de cada unidad experimental 16 m², por lo tanto el área útil de la parcela de investigación fue aprox. 380 m².

Croquis de Distribución



2.3 MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1 Materiales

- Pico, pala, barreno
- Wincha
- Cronómetro

- Balde
- 01 Flexómetro
- Plantas de tara
- Mangueras de PE 150 m y verde reforzada 50 m
- Válvulas
- Tapers descartables
- Balanza
- Plásticos de colores
- Balde
- Datos meteorológicos de estación Wayllapampa

2.3.2 Equipos

- Mochila pulverizadora

2.3.3 Insumos

- Fertilizantes
- Pesticidas
- Barbasco
- Guano de corral

2.4 METODOLOGÍA

2.4.1 Trabajo de campo

1. Instalación de riego

Este trabajo consistió en la instalación de mangueras de polietileno para asegurar el almacenamiento del agua en el pequeño reservorio que existía en la parcela de trabajo, desde un manantial cercano y de esta manera poder garantizar el riego oportuno que se tenía programado.

Finalmente con el almacenamiento se tuvo el agua necesaria para realizar los riegos, el cual se hizo de manera localizada a través de mangueras. Cada planta recibió la misma cantidad de agua controlada a través de un mismo tiempo de riego. Buscando llevar la capa de diagnóstico a capacidad de campo.

2. Selección de las plantas a evaluar

Se realizó la selección de las plantas a ser evaluadas, dentro de un terreno con plantas establecidas de aproximadamente 4 años. El principal criterio fue seleccionar plantas con uniformidad en cuanto al tamaño y frondosidad principalmente.

Luego de la selección se realizó el etiquetado por tratamiento establecido para identificarlos plenamente.

3. Labores agrícolas

Se realizó las labores agrícolas normalmente durante toda la campaña de producción que fue desde mediados del mes mayo hasta fin del mes de octubre.

- Se realizó el deshierbo correspondiente de todas las plantas seleccionadas, para evitar la competencia de plantas ajenas al cultivo y brindarle condiciones adecuadas de crecimiento y desarrollo al cultivo.
- Durante el periodo de desarrollo de la investigación se realizó el control fitosanitario principalmente de psílicos.
- Se realizó también el abonamiento y fertilización requerida. Para lo cual se aplicó guano de corral (2 kg/planta) y fosfato diamónico (250gr/planta).

Por tanto se brindó las mismas condiciones a todas las plantas en cada uno de los tratamientos, siendo la diferencia los intervalos de riego.

4. Aplicación de riego y recojo de muestras

La aplicación del riego se realizó de acuerdo a los tratamientos establecidos en la presente investigación, se probaron tres tratamientos, siendo estos intervalos riego (Ir) de 10 días, 20 días y 30 días. La evaluación se realizó durante seis meses (mayo a octubre), meses en los cuales hay estiaje por el régimen de lluvias tropical sur.

Se aplicó una lámina de riego suficiente como para llevar la capa de diagnóstico o evaluación a Capacidad de Campo.

Los cálculos de humedad de suelo fueron realizados a una profundidad donde el sistema radicular del cultivo tiene influencia, en el que se producen procesos de evapotranspiración.

En cuanto a la evaluación de los contenidos de humedad a distintas profundidades de muestreo, esto se hizo por recomendación de EPPINK (1972) y HUSZ (1977), pues en el consumo de agua por profundidad intervienen otras variables tales como: distribución de raíces, tipo de suelo; etc.

La extracción de muestras de suelo se hizo con la ayuda de un barreno muestreador antes y después de cada riego. Las muestras fueron obtenidas de la zona de raíces dentro del anillo de riego que tenía cada planta, a profundidades de 0 a 20 cm. de 20 a 40 cm. y de 40 cm. a 60 cm.

Antes y después de cada riego se tomaron muestras de suelo para determinar humedad del mismo. Se realizó la medición de la humedad de suelo por el **método gravimétrico**.

Es decir de cada estrato se extrajo una muestra, la cual fue almacenada en un recipiente seco y cerrado para evitar la pérdida de agua hasta llevar las muestras al laboratorio. Las determinaciones de humedad se efectuaron por la diferencia de pesada antes y

después de haber secado las muestras en estufa a 105 °C por 24 a 48 horas, hasta obtener un peso constante de las muestras.

5. Evaluación fenológica del cultivo

Se evaluaron las etapas fenológicas durante toda la campaña de producción. El periodo de evaluación empezó en el mes de mayo justamente después de la cosecha de la campaña anterior.

6. Cosecha de vainas de tara

Llegada la madurez de las vainas de tara se realizó la cosecha y evaluación los rendimientos obtenidos.

2.4.2 Trabajos de laboratorio

a) Determinación del contenido de humedad del suelo

Es preciso detallar que las muestras tomadas se hallaban en la zona de mayor porcentaje de raíces absorbentes; es decir en las profundidades de 0 a 60 cm. Seguidamente las muestras se pesaron para determinar el peso húmedo del suelo antes de ser llevadas a la estufa. Se dejó secar la muestra del suelo en la estufa a 105°C por un espacio de 24 horas, obteniéndose así el peso seco, con estos valores se calculó el porcentaje de humedad del suelo mediante la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{(PH - PS)}{PS} * 100$$

Dónde:

%H : Porcentaje de humedad

PH : Peso Húmedo (g)

PS : Peso seco (g)

b) Determinación del rendimiento de cosecha

Se pesó las vainas de tara para determinar el rendimiento por planta y posteriormente calcular el rendimiento por hectárea.

2.4.3 Trabajos de gabinete

a) Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), mediante el método gravimétrico.

Para estimar la evapotranspiración del cultivo de tara (ET_c) se efectuó mediante el procedimiento descrito por GARCÍA (1992). La lámina de agua evapotranspirada se determinó a partir de los porcentajes de humedad de suelo determinados en el laboratorio.

b) Pasos fundamentales en el método gravimétrico

Primero: Muestrear por capas de 20 cm de espesor, todo el perfil considerando un día antes del primer riego y calcular la lámina de riego necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo (lo mismo se hace para los riegos siguientes).

Segundo: Para los riegos posteriores, deberá muestrearse en igual forma un día antes de cada riego y obtener la diferencia en % de humedad para cada intervalo de muestreo (IM), que estará comprendido de la fecha en que se presenta la capacidad de campo hasta la fecha de la toma de muestra. El último muestreo del suelo se hace en la fase de madurez fisiológica del cultivo.

Tercero: Calcular la lámina consumida en el IM, multiplicando la diferencia de % de humedad encontrada en cada capa por la profundidad (PR=20cm) y por la densidad aparente correspondiente.

Cuarto: Sumar las láminas consumidas en todas las capas (Σ) y calcular la suma ponderada mediante:

$$\sum P_{ond}. = \frac{\sum * IR}{IM}$$

Dónde:

$\sum P_{ond}.$: Suma ponderada (cm)

$\sum$: suma de las láminas consumidas en todas las capas

IR : intervalo entre riegos (días)

IM : intervalo entre muestreos (días)

$$ET_{c.diario} = \frac{\sum P_{ond}.}{IM}$$

Dónde:

ETc diario : evapotranspiración del cultivo (mm/día)

$\sum P_{ond}.$: Suma de las láminas consumidas en todas las capas

IM : intervalo entre muestreos (días)

Por tanto la diferencia entre dos mediciones consecutivas establece el consumo de agua en milímetros (mm). La suma total de las láminas consumidas en los intervalos entre riegos, es igual a la "lámina total consumida" o "uso consuntivo" del cultivo estudiado.

c) Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), recomendado por la FAO 56

Se calculó la evapotranspiración del cultivo de referencia utilizando la ecuación de FAO Penman-Monteith y la ecuación de Hargreaves. Para la estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), con las ecuaciones se utilizaron datos meteorológicos de la estación Wayllapampa los cuales figuran en los anexos de información meteorológica.

d) Determinación del coeficiente del cultivo (K_c)

El coeficiente de cultivo se determinó mediante la metodología recomendada por la FAO. La metodología indica que la evapotranspiración del cultivo (ET_c), se calcula multiplicando la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o) por el coeficiente de cultivo (K_c).

Para este cálculo se utilizaron los resultados evapotranspiración del cultivo de referencia determinado por la ecuación de FAO Penman-Monteith además de la ecuación de Hargreaves y se relacionó con la evapotranspiración del cultivo determinado por el método gravimétrico.

Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitó solamente tres valores de K_c : los correspondientes a la etapa inicial ($K_{c\text{ ini}}$), la etapa de mediados de temporada ($K_{c\text{ med}}$) y la etapa final ($K_{c\text{ fin}}$). Con estos valores obtenidos se procedió a elaborar un gráfico del coeficiente del cultivo.

e) Determinación de la etapa crítica de consumo de agua

La mayoría de los cultivos son susceptibles a la escasez de agua en alguna etapa de su ciclo fenológico. Este punto conocido como “período crítico”, coincide generalmente con la formación de los órganos reproductores, la polinización, la fertilización y puede tener efectos pronunciados en la disminución del rendimiento. En otras palabras, es un corto periodo en el que se debe mantener un alto nivel de humedad, para obtener buenos rendimientos.

Por tanto habiendo calculado el requerimiento hídrico (ET_c) del cultivo de tara, se consideraron los valores más altos mensuales de consumo de agua durante las etapas fenológicas en la campaña agrícola evaluada, la cual representa la etapa crítica.

f) Programación de riego para el cultivo de tara

Finalmente se realizó la programación de riego considerando los requerimientos hídricos del cultivo, que consiste en el cálculo de la frecuencia de riego, tiempo de riego y la cantidad de agua a aplicar principalmente.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET_c)

En los cuadros 3.1, 3.2 y 3.3 se observa la evapotranspiración del cultivo de tara (ET_c), para el tratamiento 1, 2 y 3 respectivamente, expresado en mm/día y mm/mes, determinado por el método gravimétrico durante el periodo mayo a octubre.

Cuadro 3.1: Evapotranspiración del cultivo de tara – intervalo de riego de 10 días

EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO - ET_c			
Mes	N° Días	Tratamiento - T1	
		Intervalo de riego 10 días	
		ET_c (mm/día)	ET_c (mm/mes)
MAYO	31	4.03	124.98
JUNIO	30	4.34	130.09
JULIO	31	5.14	159.48
AGOSTO	31	5.42	167.90
SEPTIEMBRE	30	5.80	174.15
OCTUBRE	31	4.79	148.59

Cuadro 3.2: Evapotranspiración del cultivo de tara – intervalo de riego de 20 días

EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO - ET_c			
Mes	N° Días	Tratamiento - T2	
		Intervalo de riego 20 días	
		ET_c (mm/día)	ET_c (mm/mes)
MAYO	31	2.07	64.02
JUNIO	30	2.11	63.25
JULIO	31	2.51	77.95
AGOSTO	31	2.84	87.93
SEPTIEMBRE	30	3.41	102.36
OCTUBRE	31	3.12	96.65

Cuadro 3.3: Evapotranspiración del cultivo de tara – intervalo de riego de 30 días

EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO - ET_c			
Mes	N° Días	Tratamiento - T3	
		Intervalo de riego 30 días	
		ET_c (mm/día)	ET_c (mm/mes)
MAYO	31	1.29	39.90
JUNIO	30	1.44	43.20
JULIO	31	1.84	57.03
AGOSTO	31	2.43	75.44
SEPTIEMBRE	30	2.13	63.83
OCTUBRE	31	2.11	65.38

En el cuadro 3.4 se puede observar el resumen de los resultados obtenidos en la determinación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) en mm/día por cada tratamiento, obtenidos a través del método gravimétrico.

La evapotranspiración del cultivo de tara para el tratamiento 1 (Intervalo de riego de 10 días), reporta un valor mínimo de 4.03 mm/día durante el mes de mayo; en contraste a ello el máximo valor se reporta en el mes de setiembre con 5.80 mm/día.

Para el tratamiento 2 (Intervalo de riego de 20 días), el valor mínimo de 2.07 mm/día se presenta en el mes de mayo al igual que en el tratamiento 1. El valor máximo de

3.41 mm/día se presente también en el mes de octubre coincidiendo otra vez con el tratamiento 1. En el tratamiento 3 (Intervalo de riego de 30 días), el valor mínimo resulto 1.29 mm/día en el mes de mayo y el máximo de 2.43 en el mes de agosto.

Cuadro 3.4: Evapotranspiración del Cultivo (ETc) por tratamiento

MES	ETc (mm/día)		
	T1 (10 días)	T2 (20 días)	T3 (30 días)
MAYO	4.03	2.07	1.29
JUNIO	4.34	2.11	1.44
JULIO	5.14	2.51	1.84
AGOSTO	5.42	2.84	2.43
SEPTIEMBRE	5.80	3.41	2.13
OCTUBRE	4.79	3.12	2.11

En la figura 3.1 se observa las variaciones de la evapotranspiración del cultivo en mm/día.

En los tratamientos 1 y 2 se observa una mayor evapotranspiración del cultivo en el mes de septiembre. Sin embargo; en el tratamiento 3 la mayor evapotranspiración ocurre en el mes de agosto. Podemos apreciar también que la evapotranspiración del cultivo para el tratamiento 1 es mayor en comparación con los tratamientos 1 y 2 variando entre un rango de 4.03 a 5.80 mm/día.

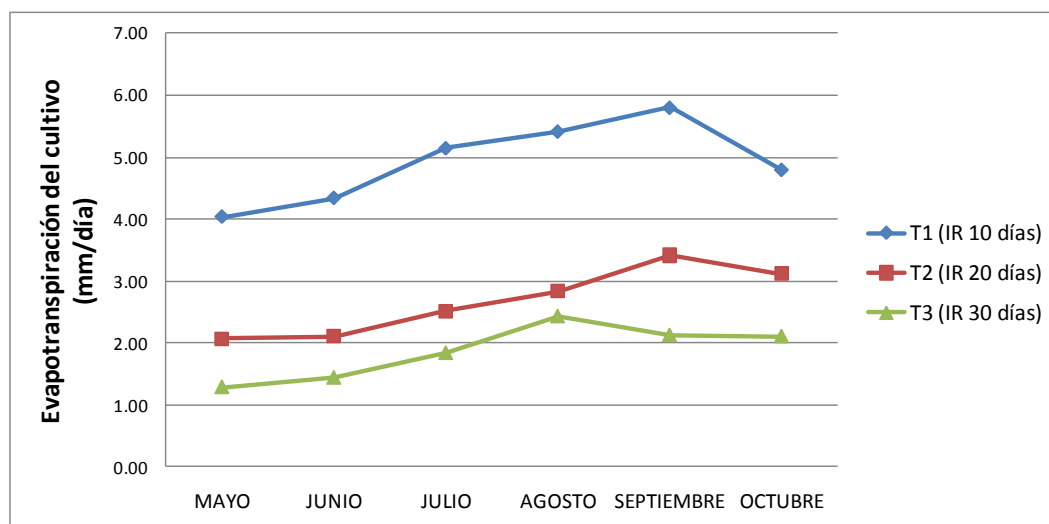


Figura 3.1: Evapotranspiración del cultivo tara (mm/día) por tratamientos

De acuerdo con la figura 3.2, el consumo acumulado de agua al final de la campaña; es decir en el mes de octubre para el tratamiento 1 fue de 905.20 mm, siendo más elevado en comparación al tratamiento 2 y 3. Al respecto ALLEN et al. (2006) mencionan que la cantidad de evapotranspiración es proporcional a la disponibilidad de humedad en el suelo; es decir que a mayor disponibilidad de humedad se genera mayor evapotranspiración. Por tanto con un intervalo de riego de 10 días la evapotranspiración del cultivo es mayor a los intervalos de riego de 20 y 30 días.

VÁSQUEZ et al. (2009) mencionan que la evapotranspiración es un proceso complejo, que depende no solo de los elementos físicos (climáticos) que afectan la evaporación, sino también de las características morfológicas y fisiológicas de la cobertura vegetal, del suelo y su nivel de humedad.

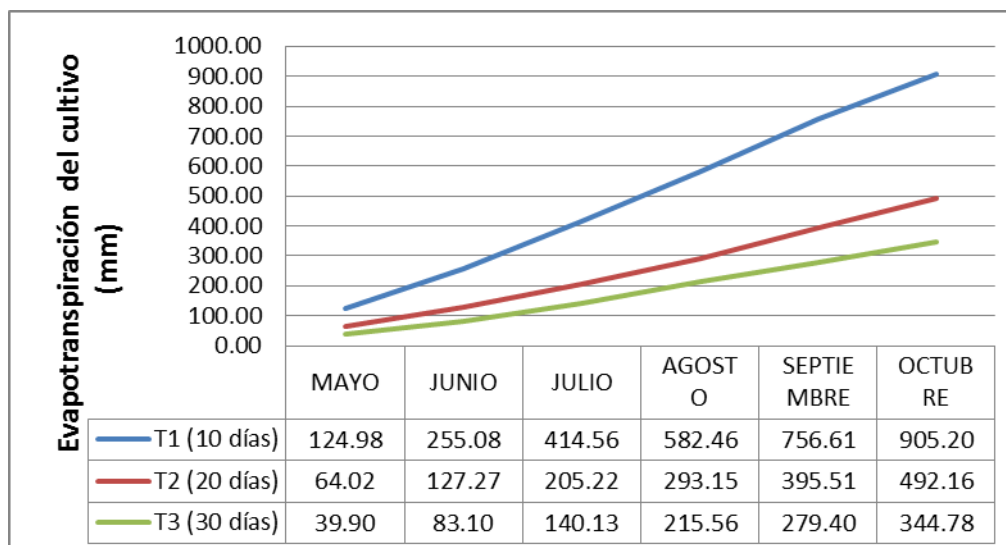


Figura 3.2: Evapotranspiración del cultivo acumulada por tratamientos

En la figura 3.3 se aprecia una respuesta lineal al intervalo de riego aplicado; se muestra la relación entre la evapotranspiración del cultivo y el intervalo entre riegos (IR). Mostrándose que con IR muy grande la disponibilidad de agua se ve severamente limitada, dando como resultado una inevitable disminución de la velocidad de evapotranspiración. Si dicha condición cambia acortando el IR se produce un incremento de la evapotranspiración lo cual es debido a que uno de los principales factores que determinan la velocidad de la evapotranspiración es la disponibilidad de humedad en la zona de raíces.

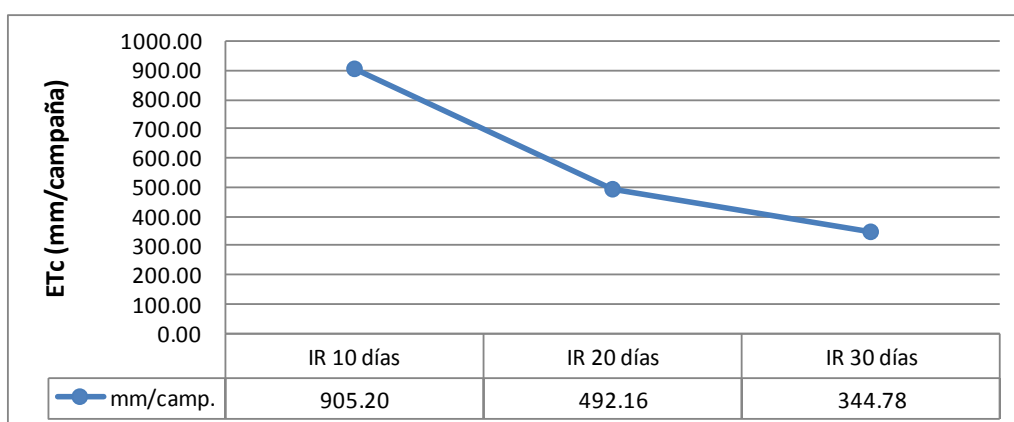


Figura 3.3: Relación entre Evapotranspiración e intervalo de riego

3.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET_o)

En el cuadro 3.5 y la figura 3.4 se observan los resultados de la evapotranspiración potencial o del cultivo de referencia obtenida a través de métodos empíricos con las ecuaciones de FAO Penman-Montheit y Hargreaves para las cuales se tomó información de la estación meteorológica Wayllapampa.

En la figura 3.4 se aprecia la ET_o calculada por la ecuación de Hargreaves es ligeramente mayor que la calculada por la ecuación FAO Penman-Montheit.

Cuadro 3.5: Evapotranspiración del potencial (ET_o) y ET_c con ecuación de FAO Penman-Montheit y Hargreaves

Proyecto: REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA (<i>Caesalpinia spinosa</i>), PACAYCASA – AYACUCHO 2760 m.s.n.m						
Información: País: Perú Est. meteorológica: Wayllapampa Prov. Depto.: Huamanga - Ayacucho Distrito: Pacaycasa Latitud: 13° 4' 35" Longitud: 74° 13' 01"						
MES	ET _o HARGREAVES		ET _o FAO PENMAN-MONTHEI		ET _o PROMEDIO	
	mm/día	mm/mes	mm/día	mm/mes	mm/día	mm/mes
Enero	4.23	131.18	3.93	121.72	4.08	99.05
Febrero	4.08	114.22	3.86	108.13	3.97	87.01
Marzo	3.89	120.59	3.76	116.48	3.82	92.48
Abril	4.04	121.27	3.75	112.37	3.89	93.67
Mayo	3.91	121.23	3.67	113.70	3.79	94.88
Junio	3.79	113.69	3.50	105.12	3.65	88.58
Julio	3.86	119.69	3.57	110.57	3.71	92.08
Agosto	4.36	135.04	4.03	124.94	4.19	103.55
Septiembre	4.58	137.42	4.46	133.69	4.52	106.93
Octubre	4.89	151.58	4.67	144.72	4.78	114.76
Noviembre	5.10	153.00	5.01	150.20	5.05	115.46
Diciembre	4.70	145.70	4.59	142.21	4.64	109.41

En la figura 3.4 se observan las variaciones de la evapotranspiración del cultivo de referencia calculadas por las ecuaciones de FAO Penman-Montheit y Hargreaves, las cuales tienen una tendencia similar mes a mes.

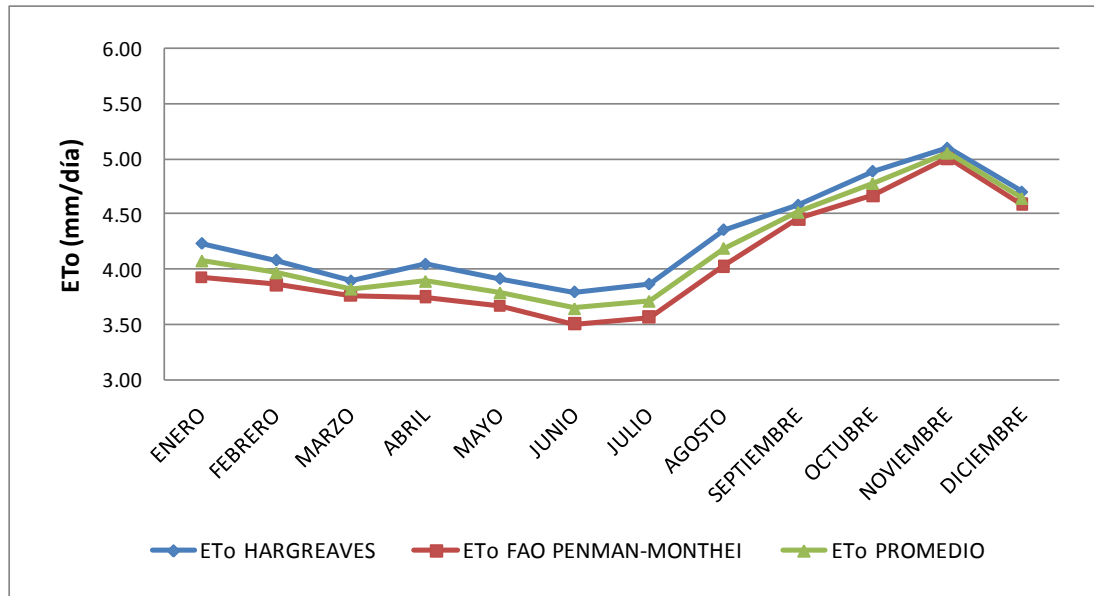


Figura 3.4: Variación de evapotranspiración del cultivo de referencia con las ecuaciones de FAO Penman-Montheit y Hargreaves.

En los cuadros 3.6 y 3.7, se presenta los cálculos de la evapotranspiración del cultivo de referencia. Calculado por métodos empíricos los cuales se determinó con información de la estación meteorológica Wayllapampa.

DOORENBOS y PRUITT (1976) mencionan que ante tanta profusión de métodos de cálculo de ETo, un grupo de expertos de la FAO concluyeron que el método más recomendable es el de FAO Penman-Montheit.

Al respecto ALLEN et al. (2006) mencionan que al aplicar la ecuación de Hargreaves, es importante comparar los resultados, con estimaciones de la ecuación

FAO Penman-Montheit. Donde se incluyen de datos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento.

Cuadro 3.6: Calculo de la Evapotranspiración del Cultivo de referencia o potencial (ET_o) mediante la ecuación de Hargreaves

EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA ET_o ECUACIÓN DE HARGREAVES												
Proyecto:		REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA (Caesalpinia spinosa), PACAYCASA – AYACUCHO 2760 m.s.n.m										
		$ET_o = 0.0023 * Ra * (T_m + 17.8) * \sqrt{TD}$										
Información:		País:	Perú									
		Est. meteorológica:	Wayllapampa									
		Prov. Depto.:	Huamanga - Ayacucho									
		Distrito:	Pacaycasa									
		Latitud:	13° 4' 35"									
		Longitud:	74° 13' 01"									
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media °C	13.5	13.2	13.2	13.7	13.3	13.4	13.0	13.5	13.8	14.1	13.8	13.9
Temp. media de máximas °C	24.8	24.5	24.5	25.3	25.7	25.7	25.5	26.4	26.6	27.2	27.8	25.6
Temp. media de mínimas °C	12.1	12.1	11.8	8.9	5.5	3.7	3.2	4.1	7.6	9.0	9.8	11.2
Ra mm/día	16.51	16.22	15.34	13.75	12.17	11.26	11.54	12.83	14.44	15.66	16.29	16.47
ET _o referencia en mm/día	4.2	4.1	3.9	4.0	3.9	3.8	3.9	4.4	4.6	4.9	5.1	4.7
ET _o referencia en mm/mes	131	114	121	121	121	114	120	135	137	152	153	146

Cuadro 3.7: Calculo de la Evapotranspiración del Cultivo de referencia o potencial (ET_o) mediante la ecuación de FAO Penman-Montheit

EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA ET_o METODO FAO PENMAN-MONTHEI REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA (Caesalpinia spinosa), PACAYCASA – AYACUCHO 2760 m.s.n.m												
Proyecto:												
		$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$										
Información:		País: Perú Est. meteorológica: Wayllapampa Prov. Depto.: Huamanga - Ayacucho Distrito: Pacaycasa Latitud: 13° 4' 35" Longitud: 74° 13' 01"										
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temp. media de máximas °C	24.8	24.5	24.5	25.3	25.7	25.7	25.5	26.4	26.6	27.2	27.8	25.6
Temp. media de mínimas °C	12.1	12.1	11.8	8.9	5.5	3.7	3.2	4.1	7.6	9.0	9.8	11.2
RH media	70.1	73.1	72.8	68.7	55.4	52.4	50.1	45.3	44.8	48.2	50.5	56.2
RH min	43.6	45.9	45.3	35.8	23.9	20.4	19.1	17.4	20.6	23.3	24.7	32.5
Viento (km/d)	156.6	124.6	128.3	131.6	125.0	134.2	132.4	138.0	151.2	131.0	159.2	147.1
Horas de Sol	4.6	5.4	5.8	6.9	8.3	8.1	8.0	7.7	7.0	7.2	7.0	6.6
ET _o referencia en mm/día	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.5	3.6	4.0	4.5	4.7	5.0	4.6
ET _o referencia en mm/mes	122	108	116	112	114	105	111	125	134	145	150	142

3.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE TARA (ETc) Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ETo)

En el cuadro 3.8 y la figura 3.5 se observan los resultados de la evapotranspiración potencial o del cultivo de referencia obtenida a través de métodos empíricos y los obtenidos a través del método gravimétrico.

Cuadro 3.8: Resumen de evapotranspiración en mm/día

MES	Evapotranspiración (ETo)		Evapotranspiración (ETc)		
	FAO Penman-Montheit	Hargreaves	T1 (10 días)	T2 (20 días)	T3 (30 días)
ENERO	3.93	4.23			
FEBRERO	3.86	4.08			
MARZO	3.76	3.89			
ABRIL	3.75	4.04			
MAYO	3.67	3.91	4.03	2.07	1.29
JUNIO	3.50	3.79	4.34	2.11	1.44
JULIO	3.57	3.86	5.14	2.51	1.84
AGOSTO	4.03	4.36	5.42	2.84	2.43
SEPTIEMBRE	4.46	4.58	5.80	3.41	2.13
OCTUBRE	4.67	4.89	4.79	3.12	2.11
NOVIEMBRE	5.01	5.03			
DICIEMBRE	4.59	4.55			

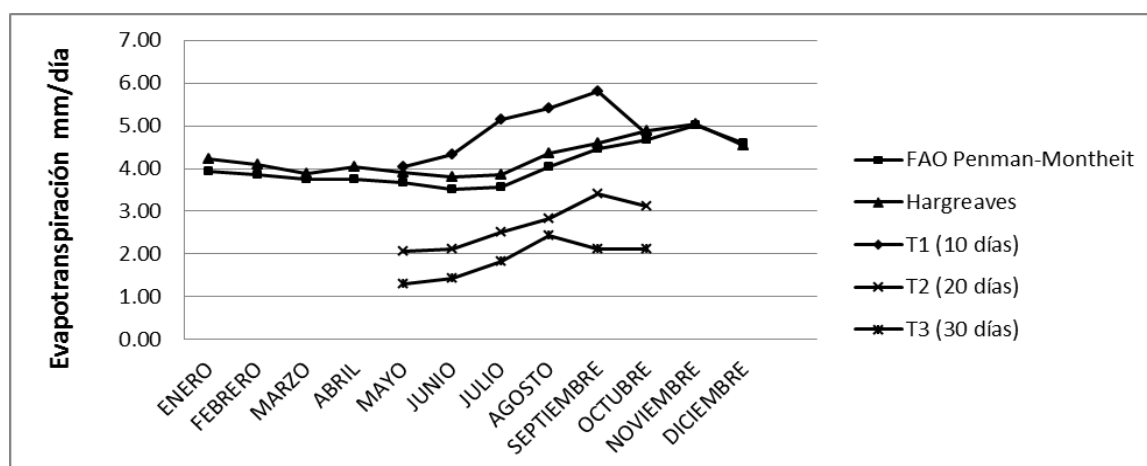


Figura 3.5: Evapotranspiración del Cultivo de referencia (ETo) y Evapotranspiración del cultivo de tara (ETc)

En la figura 3.5 se aprecia la evapotranspiración del cultivo E_{Tc} para los diferentes tratamientos, y la evapotranspiración potencial E_{To} . Por el régimen de producción que tiene este sistema de plantación, se presenta dos campañas que va desde los meses de mayo a octubre y noviembre a abril, lo cual se refleja en la variación de la evapotranspiración.

3.4 REQUERIMIENTO DE AGUA DEL CULTIVO DE TARA

En el cuadro 3.9 se observa el volumen utilizado por el cultivo de tara, el mismo que varía de acuerdo al tratamiento aplicado (intervalos de riego).

El mayor requerimiento de agua es para el tratamiento 1 (intervalo de riego 10 días), seguido por el tratamiento 2 (intervalo de riego 20 días), y finalmente el tratamiento 3 (intervalo de riego 30 días). Esta variación del requerimiento hídrico se debe a disponibilidad de agua, la cual afecta el proceso de evapotranspiración.

Cuadro 3.9: Datos de requerimiento hídrico del cultivo de tara (mm/campaña)

Cultivo	Tratamiento	Lámina total (mm)	Volumen total (m ³ /ha.)
Tara	T 1	905.20	9052.03
	T 2	492.16	4921.60
	T 3	344.78	3447.82

3.5 RENDIMIENTO DE VAINAS DE TARA POR HECTÁREA

En la Figura 3.6 se muestra los resultados del rendimiento en kilogramos por hectárea de vainas de tara cosechadas, según los tratamientos estudiados. Con el tratamiento 1, se obtuvieron los mayores rendimientos en comparación al tratamiento 2. Numéricamente con el tratamiento 1 se obtuvo 1457 kg/ha, con el tratamiento 2, 1043 kg/ha y con el tratamiento 3 el rendimiento fue de 977 kg/ha.

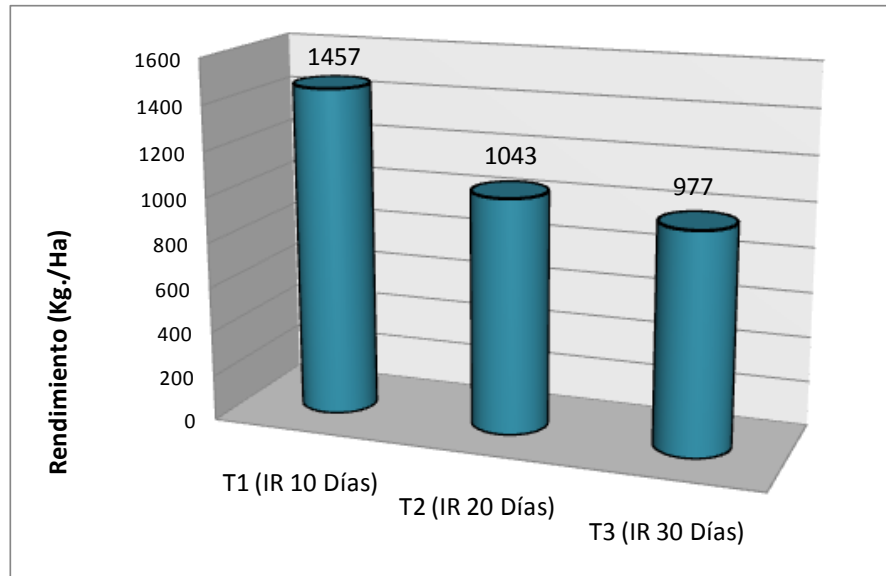


Figura 3.6: Rendimiento de vainas de tara (kilogramos/Hectárea)

Considerando que los intervalos de riego influyeron en el rendimiento del cultivo, esto como consecuencia de una mayor frecuencia de riego.

Al respecto PIZARRO (1990) menciona que al mantenerse constantemente en el suelo la humedad elevada, la absorción de agua por las raíces exige un esfuerzo menor a la planta y la producción se desarrolla en mejores condiciones, aumentando los rendimientos.

Las condiciones de humedad, son determinantes en la nutrición de las plantas. Como es sabido los nutrientes son tomados por las raíces de la planta desde la solución del suelo; por tanto al no haber humedad en el suelo no se dan condiciones adecuadas para la absorción de nutrientes. Esto explica también los bajos rendimientos obtenidos cuando los intervalos de riego son mayores.

BUSTAMANTE et al. (2005) mencionan que asegurar una humedad adecuada en la zona de raíces durante las etapas críticas es esencial para obtener rendimientos óptimos.

Las etapa crítica en el crecimiento y desarrollo de las plantas están referidas básicamente al momento en la cual es fundamental asegurar las condiciones óptimas de agua y nutrientes principalmente, de ahí que al existir limitada provisión de humedad en el suelo, existe también deficiencia de nutrientes y de igual modo se traducen en bajos rendimientos.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1 Requerimiento hídrico del cultivo de tara

Cuadro 3.10: Análisis de variancia del requerimiento hídrico del cultivo de tara (mm/campaña)

F.D.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft		
Bloque	1	532.55	532.55	0.39	18.51	98.5	NS
Tratamiento	2	358557.53	179278.77	131.71	19	99	**
Error	2	2722.36	1361.18				
Total	5	361812.43					

C.V= 6.30%

En el cuadro 3.10 se puede observar que la diferencia encontrada fue por efecto de los tratamientos y no por efecto de los bloques es decir no existe diferencia significativa entre los bloques, lo cual indica que las plantas de tara evaluadas estadísticamente no muestran diferencia.

Sin embargo entre los tratamientos si existe diferencia altamente significativa lo cual se explica por los diferentes intervalos de riego aplicados. Entonces se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna en los tratamientos, la cual nos dice que en al menos un grupo el requerimiento hídrico es distinto con 95 % de confiabilidad. En tanto al aceptar la hipótesis alterna se realizó la prueba de Tukey.

El coeficiente de variación $CV = 6.30\%$ indica que el experimento ha sido conducido bajo condiciones de homogeneidad aceptables. CALZADA (1994) menciona que en experimentación agrícola es aceptable hasta un 20% de CV.

Cuadro 3.11 Prueba de significación o contraste – Prueba de Tukey

TRATAMIENTO	PROMEDIO (Kg./Ha)	TUKEY (0.05)
T1 (IR 10 Días)	921.09	a b b
T2 (IR 20 Días)	492.16	
T3 (IR 30 Días)	344.78	

Del cuadro 3.11 podemos decir que las medias que no comparten la letra son significativamente diferentes; es decir que por lo menos un tratamiento es diferente de los demás. Por tanto en este caso la respuesta al tratamiento 1 es diferente a los otros dos tratamientos. Es decir que si hay diferencia entre el tratamiento 1 y 2 al igual que en el tratamiento 1 y 3. No hay diferencia entre el tratamiento 2 y 3.

3.6.2 Rendimiento de vainas de tara

Cuadro 3.12 Análisis de variancia del rendimiento total de vaina de tara.

F.D.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft		
Bloque	1	0.1350	0.1350	1.20	4.35	8.10	NS
Tratamiento	2	2.7765	1.3882	12.35	3.49	5.85	**
Error	20	2.2481	0.1124				
Total	23	5.1596					

C.V= 12.94%

El cuadro 3.12 se aprecia que no hay significancia estadística en la fuente de variación bloques. En contraste a ello, en los tratamientos si se muestra alta significancia estadística, debido a los intervalos de riego aplicados. Lo cual nos permitiría determinar el mejor intervalo de riego que permita un mayor rendimiento

de la producción de vainas. En cuanto al CV, éste se encuentra dentro de los rangos adecuados.

Cuadro 3.13 Prueba de significación o contraste – Prueba de Tukey

TRATAMIENTO	PROMEDIO (Kg./Planta)	TUKEY (0.05)
T1 (IR 10 Días)	2.33	a b b
T2 (IR 20 Días)	1.67	
T3 (IR 30 Días)	1.56	

De las comparaciones del cuadro 3.13 de podemos decir que las medias que no comparten la letra son significativamente diferentes; por tanto la respuesta al tratamiento 1 es diferente a los otros dos tratamientos. Es decir que si hay diferencia en al menos uno de los tratamientos. Entonces hay diferencia entre el tratamiento 1 y 2 al igual que en el tratamiento 1 y 3. No hay diferencia entre el tratamiento 2 y 3.

De la figura 3.7 se establece que con un intervalo de riego de 10 días el rendimiento obtenido es superior a cuando se aplican riegos con intervalos de riego de 20 y 30 días.

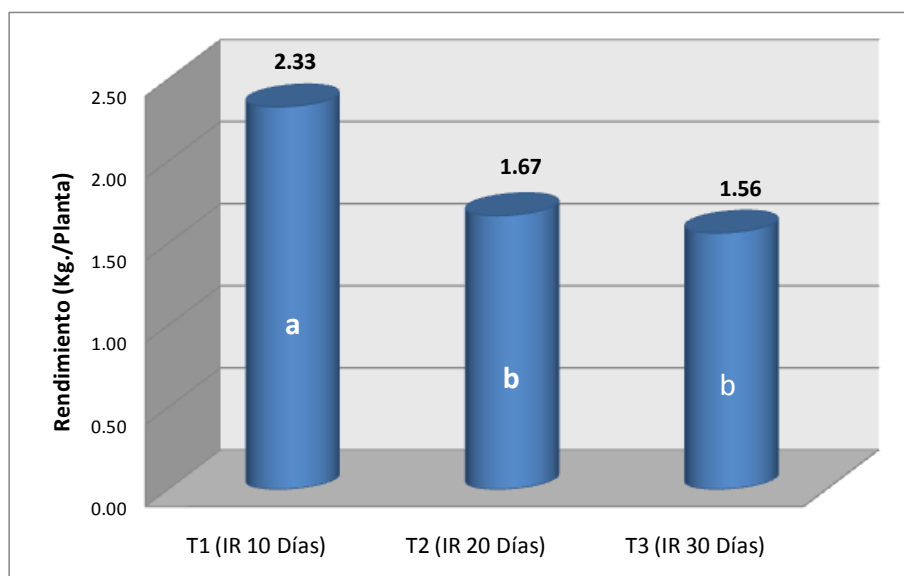


Figura 3.7: Rendimiento de vainas de tara en kilogramos por planta en diferentes intervalos de riego.

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE VAINAS DE TARA Y APLICACIÓN DE RIEGO POR TRATAMIENTO

Se determinó un mayor rendimiento con la aplicación de un intervalo de riego de 10 días, en comparación con los intervalos de 20 y 30 días. En tanto estadísticamente se mostro que el tratamiento 1 es mejor que los tratamientos 2 y 3.

En el cuadro 3.14 se detallan características del sistema de plantación, el ciclo productivo determinado en la investigación y el precio de venta de las vainas de tara en soles por kilogramos en chacra.

Cuadro 3.14: Datos característicos en la investigación.

Descripción	Cantidad	Unidad
Área total	10000	m2
Área por planta	16	m2
N° plantas/Ha	625	Unid.
Precio/kilogramo	1.76	S/.
Ciclo productivo	171	días

En el cuadro 3.15 se detallan los cálculos del rendimiento de vainas de tara por hectárea por cada tratamiento, del mismo modo el número de riego por campaña y los costos totales de riego.

En el cuadro 3.15 se muestra que la utilidad obtenida con el tratamiento 1 es mayor que la del tratamiento 2 y 3. Por tanto se muestra que el tratamiento 1 (intervalo de riego 10 días), sigue siendo recomendable y por consiguiente mejor que los demás tratamientos.

Cuadro 3.15: Rendimiento y costos de aplicación de riego por cada tratamiento.

Descripción	IR (días)	Rendimiento (Kg/Ha.)	Total venta (S./)	N° Riegos/campaña	Costo jornal* (S./)	Costo total riego (S./)	Utilidades*
Tratamiento - T1	10	1457.03	2564.38	17	30.00	510.00	2054.38
Tratamiento - T2	20	1042.97	1835.63	9	30.00	270.00	1565.63
Tratamiento - T3	30	976.56	1718.75	6	30.00	180.00	1538.75

*Las utilidades están referidas solo a la diferencia entre el monto total de venta y el costo total por la aplicación del riego.

3.7 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO (Kc)

En el cuadro 3.16 se muestran los valores del coeficiente de cultivo en las diferentes fases fenológicas del cultivo de tara, el cual se determino relacionando la ETc del cultivo estudiado, con la ETo promedio determinado a través de ecuaciones empíricas durante el periodo vegetativo.

Cuadro 3.16 Coeficiente de cultivo (Kc) para la tara

MES	Coeficiente de Cultivo - Kc		
	T1 (10 días)	T2 (20 días)	T3 (30 días)
MAYO	1.06	0.55	0.34
JUNIO	1.19	0.58	0.39
JULIO	1.39	0.68	0.50
AGOSTO	1.29	0.68	0.58
SEPTIEMBRE	1.28	0.76	0.47
OCTUBRE	1.00	0.65	0.44

En el cuadro 3.16 se aprecia nuevamente el efecto de los intervalos de riego aplicados, es decir a mayor intervalo de riego el valor del coeficiente de cultivo (K_c) se ve disminuido.

En cuanto a la variación mes a mes AVIDAN (1994) menciona que el coeficiente del cultivo no es constante durante las fases de desarrollo, sino que inicialmente el K_c es bajo; con el desarrollo vegetativo de las plantas el K_c aumenta hasta alcanzar un máximo, posteriormente a la senectud o finales de periodo el valor de K_c disminuye.

CICLO PRODUCTIVO EVALUADO

Durante el periodo productivo se evaluó las cuatro etapas de crecimiento del cultivo, así como la duración total periodo; las cuales se detallan en el cuadro siguiente.

Cuadro 3.17: Ciclo productivo evaluado en el cultivo de tara

FASE	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	MES
Fase inicial:	Empieza el desarrollo de la Rama vegetativa, Yema floral, racimo floral (botones), hasta la formación de racimos en apertura floral	45	Mayo
			Junio
Fase de desarrollo del cultivo:	Empieza el desarrollo del racimo floral (botones), hasta la formación de racimos en apertura floral	28	Julio
Fase de mediados del periodo:	En esta etapa sucede el crecimiento y llenado de vainas	65	Agosto
			Setiembre
Fase final del ciclo vegetativo:	Finalmente se tienen las vainas llenas; se produce la madurez fisiológica y madurez de cosecha	33	Ocubre
	TOTAL	171	

La figura 3.8 muestra la curva del coeficiente del cultivo, para el tratamiento 1 en la cual se establecen tres valores de K_c , para la etapa inicial ($K_{c\text{ ini}}$) fue de 1.06, la etapa de mediados y desarrollo ($K_{c\text{ med}}$) es de 1.39 siendo esta la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final ($K_{c\text{ fin}}$) con un valor de 1.0; todo ello en un periodo total de 171 días.

Del mismo modo la figura 3.9 muestra los coeficientes del cultivo para el tratamiento 2, los cuales también varían de acuerdo a las etapas de crecimiento. Para la etapa inicial (K_c ini) fue de 0.55, la etapa de mediados y desarrollo (K_c med) es de 0.68 siendo esta la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final (K_c fin) con un valor de 0.65; todo ello en un periodo total de 171 días.

Finalmente la figura 3.10 muestra también los coeficientes del cultivo para el tratamiento 3, los cuales también varían de acuerdo a las etapas de crecimiento. Para la etapa inicial (K_c ini) fue de 0.34, la etapa de mediados y desarrollo (K_c med) es de 0.58 siendo esta la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final (K_c fin) con un valor de 0.47; todo ello en un periodo total de 171 días.

DETERMINACIÓN DE LA CURVA K_c - TRATAMIENTO 1

1º DATOS GENERALES :

Cultivo	=	TARA	Lugar	=	Pacaycasa - Ayacucho
periodo	=	6 meses (2010)	Altitud	=	2500 m.s.n.m.
"Fecha siembra"	=	13 May. 2010	Latitud	=	13° 4' 36" S
			Longitud	=	74° 13' 1" W

2º DURACION DE LAS FASES

Inicial	=	45 días	13/05 - 26/05
Desarrollo del cultivo	=	28 días	26/05 - 24/07
Mediados del cultivo	=	65 días	24/07 - 27/09
Finales del cultivo	=	<u>33 días</u>	27/09 - 31/10
		171 días	

3º DURACION DE LAS FASES

K_c - fase inicial	=	1.06
K_c - mediad. desarrollo	=	1.39
K_c - final periodo	=	1.00

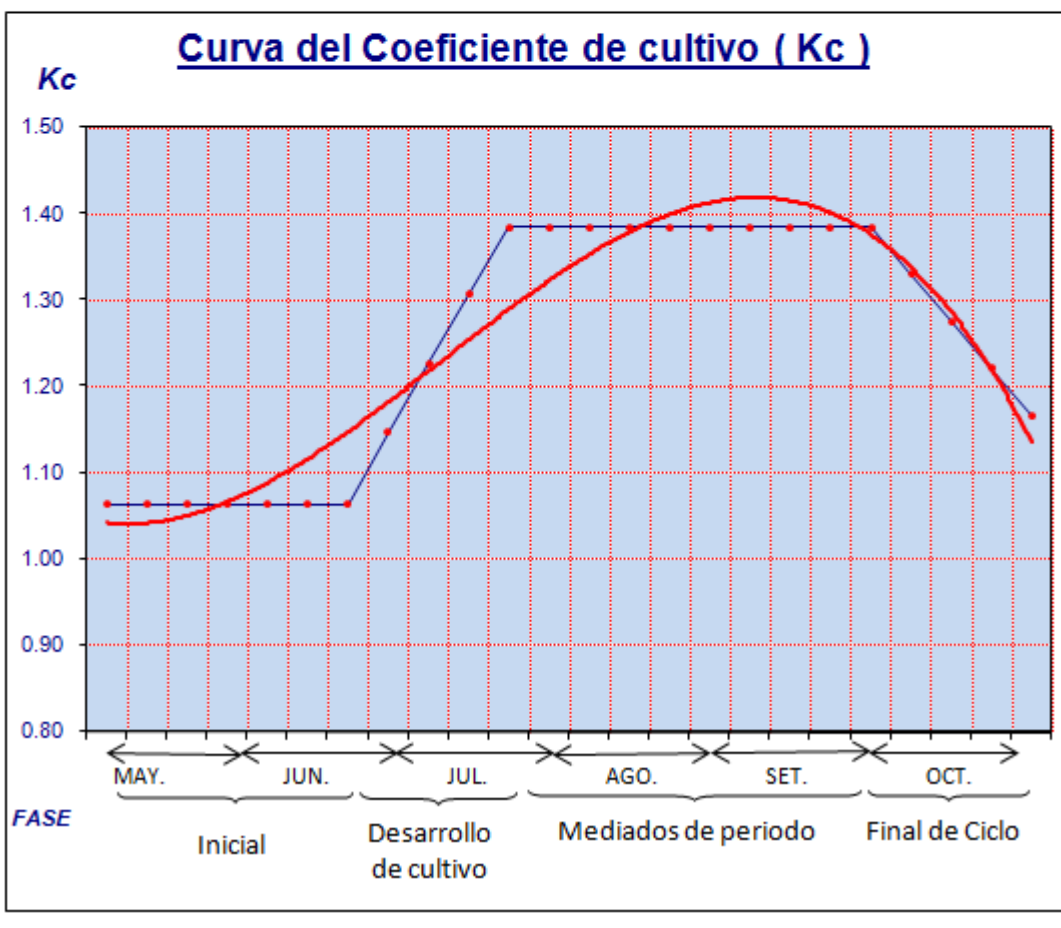


Figura 3.8: Curva de coeficiente de cultivo, tratamiento 1

DETERMINACIÓN DE LA CURVA K_c - TRATAMIENTO 2

1º DATOS GENERALES :

Cultivo	=	TARA	Lugar	=	Pacaycasa - Ayacucho
periodo	=	6 meses (2010)	Altitud	=	2500 m.s.n.m.
"Fecha siembra"	=	13 May. 2010	Latitud	=	13° 4' 36" S
			Longitud	=	74° 13' 1" W

2º DURACION DE LAS FASES

Inicial	=	45 días	13/05 - 26/05
Desarrollo del cultivo	=	28 días	26/05 - 24/07
Mediados del cultivo	=	65 días	24/07 - 27/09
Finales del cultivo	=	<u>33 días</u>	27/09 - 31/10
		171 días	

3º DURACION DE LAS FASES

K_c - fase inicial	=	0.55
K_c - mediad. desarrollo	=	0.68
K_c - final periodo	=	0.65

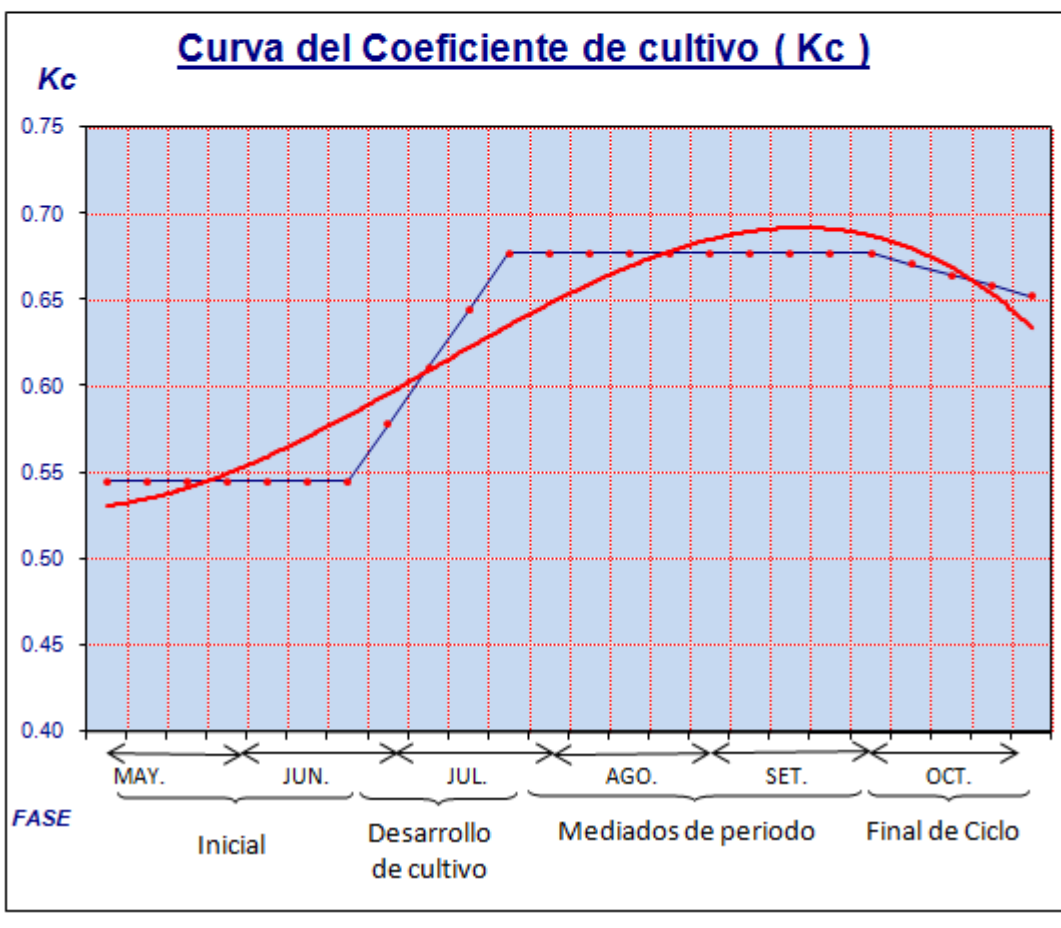


Figura 3.9: Curva de coeficiente de cultivo, tratamiento 2

DETERMINACIÓN DE LA CURVA K_c - TRATAMIENTO 3

1º DATOS GENERALES :

Cultivo	=	TARA	Lugar	=	Pacaycasa - Ayacucho
periodo	=	6 meses (2010)	Altitud	=	2500 m.s.n.m.
"Fecha siembra"	=	13 May. 2010	Latitud	=	13° 4' 36" S
			Longitud	=	74° 13' 1" W

2º DURACION DE LAS FASES

Inicial	=	45 días	13/05 - 26/05
Desarrollo del cultivo	=	28 días	26/05 - 24/07
Mediados del cultivo	=	65 días	24/07 - 27/09
Finales del cultivo	=	33 días	27/09 - 31/10
		<u>171 días</u>	

3º DURACION DE LAS FASES

K_c - fase inicial	=	0.34
K_c - mediad. desarrollo	=	0.58
K_c - final periodo	=	0.47

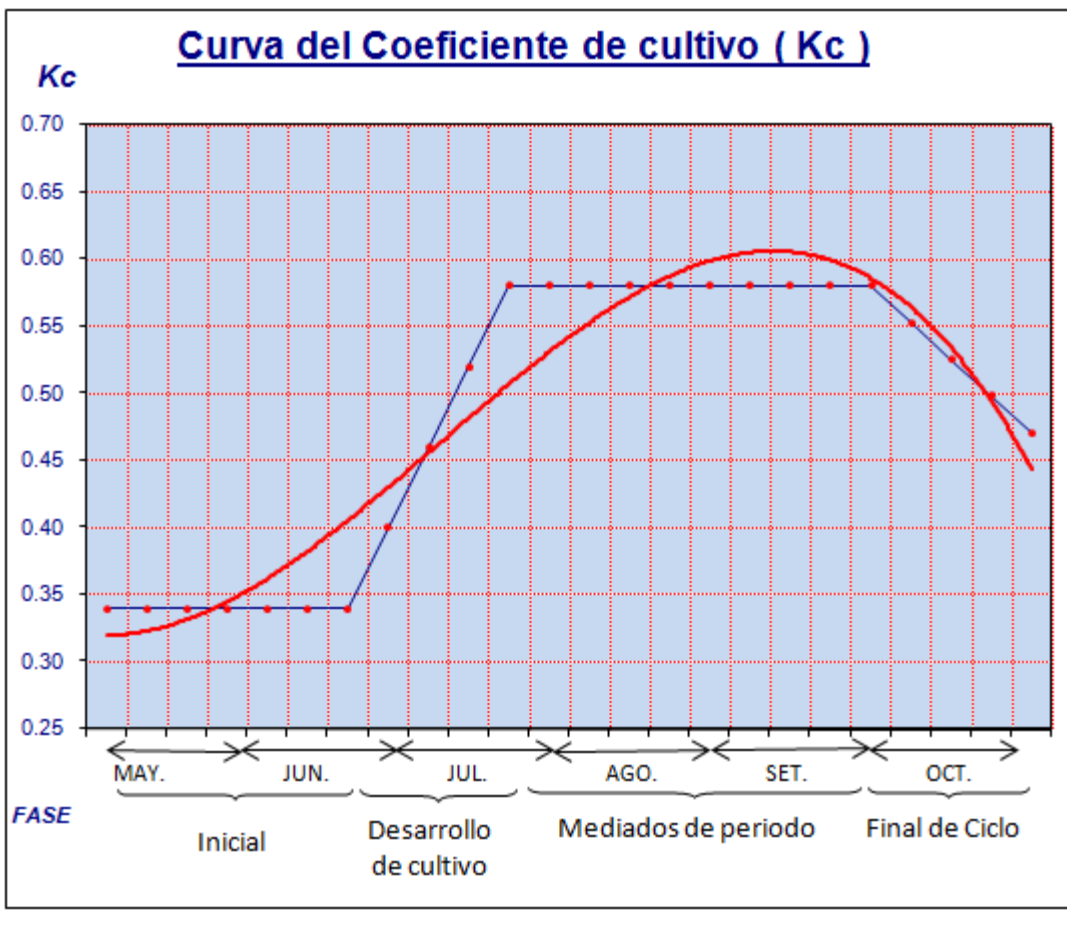


Figura 3.10: Curva de coeficiente de cultivo, tratamiento 3

3.8 DETERMINACIÓN DE LA ETAPA CRÍTICA DE CONSUMO DE AGUA

Habiendo calculado el requerimiento hídrico del cultivo de tara, se consideró el valor mensual más alto como el crítico. Este mayor consumo de agua durante las etapas fenológicas en la campaña agrícola evaluada, representa la etapa crítica del consumo de agua del cultivo

En las figuras 3.11 y 3.12 se muestran el proceso de consumo de agua en milímetros por mes, la etapa de mayor consumo conocido como etapa o periodo crítico de consumo de agua para los tratamientos 1 y 2 se presentó en el mes de setiembre. Coincidiendo con la fase de mediados del cultivo.

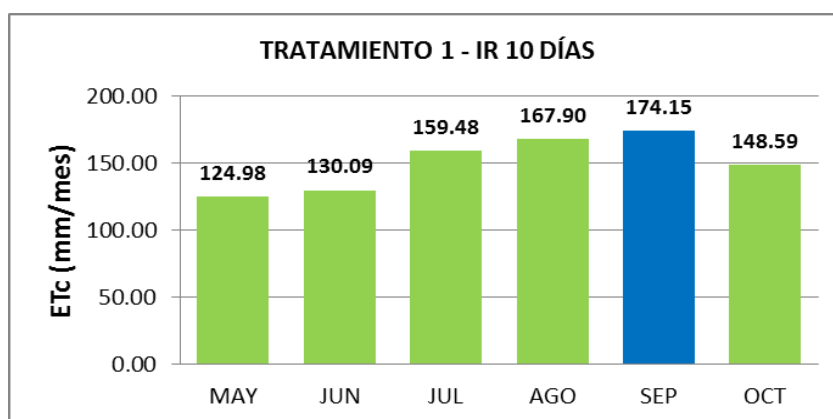


Figura 3.11: Consumo de agua del cultivo de tara (mm/mes), riego cada 10 días

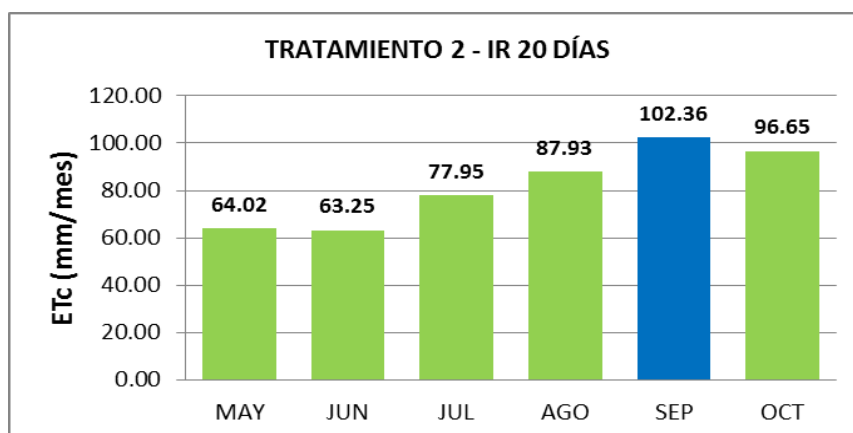


Figura 3.12: Consumo de agua del cultivo de tara (mm/mes), riego cada 20 días

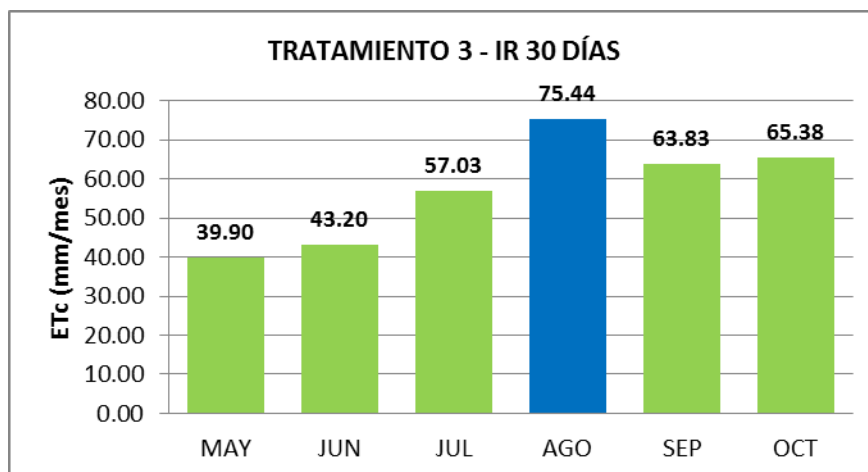


Figura 3:13: Consumo de agua del cultivo de tara (mm/mes), riego cada 30días

En las figuras 3.13 se muestra el consumo de agua en milímetros por mes, la etapa de mayor consumo conocido como etapa o periodo crítico de consumo de agua ocurre en el mes de agosto.

DOORENBOS Y PRUIT (1976) consideran como fase crítica de crecimiento de la mayoría de los cultivos a los cambios que ocurren desde la fase vegetativa a la reproductiva, desde la floración hasta la fructificación. Manifiesta también que los periodos sensibles al déficit de agua son la floración y la formación de cosecha, un suministro limitado de agua afecta el rendimiento.

La diferencia entre los tratamientos 1 y 2 con el tratamiento 3, en cuanto momento (mes) en el cual se presenta la etapa crítica se debe principalmente a las condiciones ambientales en las que se desarrollan. En el tratamiento 3 las etapas fenológicas ocurren anticipadamente (mes de agosto), debido a que las plantas al encontrarse en condiciones desfavorables adelantan su madurez con el objeto de asegurar descendencia. En tanto en las plantas sometidas al tratamiento 1 y 2 la etapa crítica del consumo de agua ocurre en el mes de setiembre.

3.9 PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE TARA

Finalmente se realizó la programación de riego acorde a los requerimientos hídricos del cultivo.

En el cuadro 3.18 se reporta la programación de riego para el cultivo de tara con el tratamiento 1; se determinó una lámina de agua de 16.34 mm, o en términos de volumen es 163.40 m³/ha, el tiempo de riego se establece en una hora con un sistema de riego por goteo con una eficiencia de riego del 90%. El intervalo de riego es variable entre tres y cuatro días teniendo frecuencias de riego de ocho riegos por mes en los meses de mayo y junio; la frecuencia de riego se incrementa a 10 riegos por mes en los meses de julio, agosto, setiembre y octubre.

En el cuadro 3.19 se reporta la programación de riego para el cultivo de tara con el tratamiento 2; el tiempo de riego se estableció entre 0.49 y 0.81 horas bajo un sistema de riego por goteo con una eficiencia de riego del 90%. El intervalo de riego es de ocho días teniendo frecuencias de riego de cuatro riegos por mes, en los meses de mayo y junio; la frecuencia de riego se incrementa a cinco riegos por mes en los meses de julio y agosto, y seis veces por mes en los meses de setiembre y octubre.

En el cuadro 3.20 se reporta la programación de riego para el cultivo de tara con el tratamiento 3; el tiempo de riego se estableció entre 0.30 y 0.58 horas bajo un sistema de riego por goteo con una eficiencia de riego del 90%. El intervalo de riego es de trece días teniendo frecuencias de riego de dos riegos por mes, en el mes de mayo; la frecuencia de riego se incrementa a tres riegos por mes en los meses de junio y julio; y cuatro veces por mes en los meses de agosto, setiembre y octubre.

DOORENBOS y PRUITT (1977) Los requerimientos de riego de los cultivos varían, temporal y espacialmente, en función del clima, del manejo, de la fase y de la variedad del cultivo, por lo que su cálculo debe ser local.

Cuadro 3.18. Programación de riego para el cultivo de tara, tratamiento 1

PROGRAMACIÓN DE RIEGO - TARA Tratamiento - 1																	
DATOS GENERALES																	
Lugar : Pacaicasa									Año : 2015								
Cultivo : Tara									Variedad : Almidon								
Método de riego : Goteo									Elaborado por : Santos Mitma Huamani								
Mes	N° de Días	Ln (mm)	Er (%)	Lb (mm)	ETc Tara (mm/día)	ETc Tara (mm/mes)	Qe (lt/hr)	N° Got/Pl.	Dist. Plan. (m)	Dist. Lin. (m)	Tr (hr)	Ir. Ajust. (día)	Fr. Ajust. (N°/mes)	N.R (mm)	N.R.n (m3/ha)	N.R.b (m3/ha)	M. R (lt/seg./Ha)
MAY	31	16.34	0.90	18.10	4.03	124.98	3.75	20.00	4.00	4.00	1	4.00	8.00	124.98	1249.83	1384.86	0.52
JUN	30	16.34	0.90	18.10	4.34	130.09	3.75	20.00	4.00	4.00	1	4.00	8.00	130.09	1300.94	1441.49	0.56
JUL	31	16.34	0.90	18.10	5.14	159.48	3.75	20.00	4.00	4.00	1	3.00	10.00	159.48	1594.81	1767.10	0.66
AGO	31	16.34	0.90	18.10	5.42	167.90	3.75	20.00	4.00	4.00	1	3.00	10.00	167.90	1679.03	1860.42	0.69
SEP	30	16.34	0.90	18.10	5.80	174.15	3.75	20.00	4.00	4.00	1	3.00	10.00	174.15	1741.49	1929.63	0.74
OCT	31	16.34	0.90	18.10	4.79	148.59	3.75	20.00	4.00	4.00	1	3.00	10.00	148.59	1485.92	1646.45	0.61

Cuadro 3.19. Programación de riego para el cultivo de tara, tratamiento 2

PROGRAMACIÓN DE RIEGO - TARA Tratamiento - 2																	
DATOS GENERALES																	
Lugar :		Pacaicasa										Año :		2015			
Cultivo :		Tara										Variedad :		Almidon			
Método de riego :		Goteo										Elaborado por :		Santos Mitma Huamani			
Mes	N° de Días	Ln (mm)	Er (%)	Lb (mm)	ETc Tara (mm/día)	ETc Tara (mm/mes)	Qe (lt/hr)	N° Got/Pl.	Dist. Plan. (m)	Dist. Lin. (m)	Tr (hr)	Ir. Ajust. (día)	Fr. Ajust. (N°/mes)	N.R (mm)	N.R.n (m3/ha)	N.R.b (m3/ha)	M. R (lt/seg./Ha)
MAY	31	16.34	0.90	18.10	2.07	64.02	3.75	20.00	4.00	4.00	0.49	8.00	4.00	64.02	640.23	709.40	0.26
JUN	30	16.34	0.90	18.10	2.11	63.25	3.75	20.00	4.00	4.00	0.50	8.00	4.00	63.25	632.51	700.84	0.27
JUL	31	16.34	0.90	18.10	2.51	77.95	3.75	20.00	4.00	4.00	0.59	6.00	5.00	77.95	779.49	863.70	0.32
AGO	31	16.34	0.90	18.10	2.84	87.93	3.75	20.00	4.00	4.00	0.67	6.00	5.00	87.93	879.28	974.27	0.36
SEP	30	16.34	0.90	18.10	3.41	102.36	3.75	20.00	4.00	4.00	0.81	5.00	6.00	102.36	1023.59	1134.18	0.44
OCT	31	16.34	0.90	18.10	3.12	96.65	3.75	20.00	4.00	4.00	0.74	5.00	6.00	96.65	966.50	1070.91	0.40

Cuadro 3.20. Programación de riego para el cultivo de tara, tratamiento 3

PROGRAMACIÓN DE RIEGO - TARA Tratamiento - 3																	
DATOS GENERALES																	
Lugar : Pacaicasa									Año : 2015								
Cultivo : Tara									Variedad : Almidon								
Método de riego : Goteo									Elaborado por : Santos Mitma Huamani								
Mes	N° de Días	Ln (mm)	Er (%)	Lb (mm)	ETc Tara (mm/día)	ETc Tara (mm/mes)	Qe (lt/hr)	N° Got/Pl.	Dist. Plan. (m)	Dist. Lin. (m)	Tr (hr)	Ir. Ajust. (día)	Fr. Ajust. (N°/mes)	N.R (mm)	N.R.n (m3/ha)	N.R.b (m3/ha)	M. R (lt/seg./Ha)
MAY	31	16.34	0.90	18.10	1.29	39.90	3.75	20.00	4.00	4.00	0.30	13.00	2.00	39.90	398.95	442.05	0.17
JUN	30	16.34	0.90	18.10	1.44	43.20	3.75	20.00	4.00	4.00	0.34	11.00	3.00	43.20	432.00	478.67	0.18
JUL	31	16.34	0.90	18.10	1.84	57.03	3.75	20.00	4.00	4.00	0.43	9.00	3.00	57.03	570.32	631.94	0.24
AGO	31	16.34	0.90	18.10	2.43	75.44	3.75	20.00	4.00	4.00	0.58	7.00	4.00	75.44	754.36	835.85	0.31
SEP	30	16.34	0.90	18.10	2.13	63.83	3.75	20.00	4.00	4.00	0.50	8.00	4.00	63.83	638.34	707.30	0.27
OCT	31	16.34	0.90	18.10	2.11	65.38	3.75	20.00	4.00	4.00	0.50	8.00	4.00	65.38	653.85	724.49	0.27

CALENDARIO DE RIEGO

El calendario de riego consiste en determinar las fechas en que se debe regar y cuánta agua se debe aplicar; para ello es necesario conocer las características de los suelos y las demandas de agua del cultivo.

En el cuadro 3.21 se aprecia que para el tratamiento 1 se aplican en total 56 riegos, la fecha de inicio de la aplicación de los riegos es 13 de mayo (primer riego).

Se aplica el riego ocho veces por mes, en los meses de mayo y junio y 10 veces por mes en los meses de julio a octubre. En cantidades que varían entre 64.5 a 92.9 litros por planta.

Cuadro 3.21. Calendario de riego para el cultivo de tara en tratamiento 1

CALENDARIO RIEGO TRATAMIENTO 1							TOTAL CAMPAÑA
Inicio de campaña (Primer riego)				13-may			
Descripción	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	
ETc (mm/mes)	125.0	130.1	159.5	167.9	174.1	148.6	905.2
ETc (mm/día)	4.0	4.3	5.1	5.4	5.8	4.8	-
l/árbol/día	64.5	69.4	82.3	86.7	92.9	76.7	-
Tiempo riego (hr)	0h 57'	1h 02'	1h 13'	1h 17'	1h 22'	1h 08'	-
Intervalo riego (días)	4	4	3	3	3	3	-
Frecuencia de riego (N° veces/mes)	8	8	10	10	10	10	56.0

En el cuadro 3.22 se aprecia que para el tratamiento 2 se aplican en total 30 riegos, la fecha de inicio de la aplicación de los riegos es 13 de mayo (primer riego).

Se aplica el riego 4 veces por mes en los meses de mayo y junio. 5 veces por mes en los meses de julio y agosto. 6 veces por mes en los meses de setiembre y octubre. En cantidades que varían entre 33 a 54.6 litros por planta.

Cuadro 3.22. Calendario de riego para el cultivo de tara en tratamiento 2

CALENDARIO RIEGO TRATAMIENTO 2							TOTAL CAMPAÑA
Inicio de campaña (Primer riego)				13-may			
Descripción	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	
ETc (mm/mes)	64.0	63.3	77.9	87.9	102.4	96.6	492.2
ETc (mm/día)	2.1	2.1	2.5	2.8	3.4	3.1	-
l/árbol/día	33.0	33.7	40.2	45.4	54.6	49.9	-
Tiempo riego (hr)	0h 29'	0h 30'	0h 35'	0h 40'	0h 48'	0h 44'	-
Intervalo riego (días)	8	8	6	6	5	5	-
Frecuencia de riego (Nº veces/mes)	4	4	5	5	6	6	30.0

En el cuadro 3.23 se aprecia que para el tratamiento 3 se aplican en total 20 riegos, la fecha de inicio de la aplicación de los riegos es 13 de mayo (primer riego).

Se aplica el riego 2 veces por mes en mayo. 3 veces por mes en junio y julio. 4 veces por mes en los meses de agosto setiembre y octubre. En cantidades que varían entre 20.6 a 38.9 litros por planta.

Cuadro 3.23. Calendario de riego para el cultivo de tara en tratamiento 3

CALENDARIO RIEGO TRATAMIENTO 3							TOTAL CAMPAÑA
Inicio de campaña (Primer riego)				13-may			
Descripción	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	
ETc (mm/mes)	39.9	43.2	57.0	75.4	63.8	65.4	344.8
ETc (mm/día)	1.3	1.4	1.8	2.4	2.1	2.1	-
l/árbol/día	20.6	23.0	29.4	38.9	34.0	33.7	-
Tiempo riego (hr)	0h 18'	0h 20'	0h 26'	0h 34'	0h 30'	0h 30'	-
Intervalo riego (días)	13	11	9	7	8	8	-
Frecuencia de riego (N° veces/mes)	2	3	3	4	4	4	20.0

Por tanto el calendario de riego nos indica que el primer riego se debe realizar el 13 de mayo, a partir del cual siguen los siguientes riegos de acuerdo a la frecuencia establecida.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. En las condiciones de la zona de trabajo, se encontró que el requerimiento hídrico del cultivo de tara, con un intervalo de riego de 10 días es 905.19 mm/campaña. Para el intervalo de riego de 20 días el requerimiento fue de 492.16 mm/campaña y con un intervalo de riego de 30 días fue de 344.78 mm/campaña.
2. El mayor consumo de agua, con el intervalo de riego 10 y 20 días, se dio en el mes de setiembre con valores de 174.15 mm/mes y 102.36 mm/mes respectivamente, coincidiendo con la fase de mediados de cultivo. Para el intervalo de riego de 30 días el máximo consumo se dio en el mes de agosto con un valor de 75.44 mm/mes; en la fase de desarrollo de cultivo y mediados de cultivo.
3. La programación de riego para el cultivo de tara se determinó bajo un sistema de riego por goteo con una eficiencia de 90%. Los intervalos de riego para los tratamientos 1, 2 y 3 son 3 – 4 días, 5 – 8 días y 8 – 13 días

respectivamente. Por tanto la cantidad de agua a aplicar y la frecuencia variaron en función del crecimiento y desarrollo de la planta.

4.2 RECOMENDACIONES:

1. Para las condiciones y tipo de riego de la zona de estudio se recomienda aplicar el riego, con un intervalo de 10 días, el cual fue demostrado estadística y económicamente.
2. Manteniendo condiciones óptimas de humedad de suelo en la zona de raíces se prevé la obtención de mayores rendimientos de cosecha.
3. Hacer extensivo el presente trabajo de investigación tanto a instituciones como agricultores de la zona de estudio.
4. Se recomienda realizar otros trabajos de investigación similares para otro tipo de condiciones y épocas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Allen, R., Pereira L., Raes D., Smith M. 2006.** Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma Italia.
2. **Alfaro, L.J. 1998.** Efecto de tres frecuencias de riego sobre el crecimiento y rendimiento de papa. Tesis Ingeniero Agrícola Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
3. **Araujo, R., Oriundo V. 2000.** Cultivo de la tara, Red Nacional para el Desarrollo Forestal – REDFOR. Lima – Perú, 68 p.
4. **Avendaño, E. 2008.** “Conociendo la Cadena Productiva de Tara en Ayacucho”. Solid Perú. Edición N° 01. Ayacucho-Perú. 12p.
5. **Avidan, A. 1994.** Factores que Influyen Sobre el Régimen de Riego Fasciculo1, CINADCO – Centro de Cooperación Internacional Para el Desarrollo agrícola HAGUID, estado de Israel.
6. **Bustamante, WO., Sifuentes IE., Unland HW. 2005.** Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. Revista Agrociencia. México.
7. **Calzada, BJ. 1994.** Experimentación agrícola. Edit. Agrog. Lima – Perú.
8. **Cuba, SJ. 1999.** Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia. Pampa del arco 2760 m.s.n.m. Tesis ingeniero Agrónomo Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho – Perú.
9. **Condeña, AF., Quispe TJ., Pacheco I. 2006.** Fenología Básica de la Tara (Caesalpinia spinosa). Facultad de Ciencias Agrarias, UNSCH Ayacucho, Perú.

10. **Chávez, SF. 2012.** Biología reproductiva de la tara (*caesalpinia spinosa* molina kuntze). en paquecc 2418 m.s.n.m Huanta, Ayacucho. Tesis ingeniero Agrónomo Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho – Perú.
11. **Chipana, W. 2001.** Requerimiento hídrico, régimen de riego y lixiviación de nutrientes, para cuatro especies de cultivo en pampa del arco 2760 m.s.n.m. Tesis ingeniero Agrónomo Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho – Perú.
12. **Chow V., Maidment D., Mays L. 1994.** Hidrología Aplicada. Editorial NOMOS S.A. Colombia.
13. **De La Cruz, LP. 2004.** “Aprovechamiento Integral y Racional de la Tara *Caesalpinia spinosa* – *Caesalpinia tinctoria*”. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Edit. ISSN. Edición N° 14. Vol. 7. Lima-Perú. 64-73pp.
14. **Doorenbos, J., Kassam AH. 1980.** Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje, publicación n° 33 Roma - Italia.
15. **Doorenbos, J., Pruitt W. 1977.** Las Necesidades De Agua De Los Cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje , publicación n° 24 Roma - Italia.
16. **Eppink, LD. 1972.** Las bases del servicio de control de humedad y sus aplicaciones prácticas. Boletín Técnico ICIA 1(2):1-55 p.
17. **García, R., Jacobsen M. 1989.** Análisis de evapotranspiración de referencia en el altiplano boliviano y determinación de los requerimientos de riego de quinua. (*Chenopodium quinoa* wild).
18. **García, VJ. 1992.** Agrometeorología energía y agua en la agricultura. Ediciones Universidad Nacional Agraria la Molina – Lima Perú.

19. **García, VJ. 1998.** Principios físicos de climatología. Ediciones Universidad Nacional Agraria la Molina – Lima Perú.
20. **Gurovich, RL. 1999.** Riego Superficial Tecnificado. 2da Edición, ALFA OMEGA grupo editor, S.A. México.
21. **Husz, S. 1977.** Cuantificación del régimen de agua en el suelo para la optimización del riego. Proc. ISSSCT 16.
22. **Kramer, PJ. 1989.** Relaciones hídricas se suelos y plantas. Edit Harla S.A. Mexico
23. **Pizarro, CF. 1990.** Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF).Ediciones Mundi-Prensa. Madrid – España.
24. **Puppo, L., García M. 2007.** Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. Región sur Uruguay.
25. **Pretell, CH., Ocaña V., David J. 1985.** Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra peruana. Proyecto FAO/Holanda/INFOR. 120 P.
26. **Riu, N., Settepani V. 2004.** Requerimiento hídrico en álamos de 6 años, Mendoza Argentina. Rev. FCA UNCuyo Argentina.
27. **Rojas, W., Nakamura Y., Ferrada L. 2001.** Programación para riego presurizado en frutales, Conceptos aplicados a partir de la experiencia en le provincia de Limari. Comisión nacional del riego - Chile.
28. **Robles, R. 1987.** Terminología genética y fitogenética. Tercera edición. Editorial Trillas S. A. de C. V. México. 163 p.
29. **Serruto, A. 1999.** Relación Agua – Suelo – Planta. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.

30. **Vásquez, VA., Vásquez RI., Vílchez O. G. 2009.** Principios Básicos del Riego Edit. FIMART. Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú.
31. **Vásquez, VA. 1999.** El riego Principios Básicos. Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú.
32. **Villanueva, MC. 2007.** La tara el oro verde de los incas. Ediciones agrum. Universidad Nacional Agraria La Molina.
33. **Yance, R. 2000.** Uso consuntivo, régimen de riego y lixiviación de nutrientes por el método lisimétrico en cuatro cultivos, Pampa de Arco – Ayacucho. Tesis ingeniero Agrónomo Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho – Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de requerimiento hídrico del cultivo de tara (mm/campaña).

BLOQUE	TRATAMIENTOS		
	T1	T2	T3
I	959.16	495.32	331.82
II	883.02	489.00	357.75

Anexo 2. Datos de rendimiento de vainas de tara (Kg./Planta).

TRATAMIENTOS	REPETICIÓN	PLANTA	COSECHA (Kg.)		TOTAL (Kg.)
			COSECHA 1	COSECHA 2	
T1	I	PL 1	2.000	0.550	2.550
		PL 2	2.150	0.300	2.450
		PL 3	1.450	0.650	2.100
		PL 4	0.750	1.300	2.050
	II	PL 1	1.250	0.800	2.050
		PL 2	0.800	1.100	1.900
		PL 3	1.700	0.650	2.350
		PL 4	2.450	0.750	3.200
T2	I	PL 1	0.850	0.950	1.800
		PL 2	1.150	0.800	1.950
		PL 3	0.550	0.750	1.300
		PL 4	1.450	0.600	2.050
	II	PL 1	1.200	0.250	1.450
		PL 2	0.900	0.550	1.450
		PL 3	1.100	0.950	2.050
		PL 4	0.550	0.750	1.300
T3	I	PL 1	1.250	0.200	1.450
		PL 2	1.600	0.350	1.950
		PL 3	1.550	0.100	1.650
		PL 4	1.100	0.750	1.850
	II	PL 1	0.950	0.350	1.300
		PL 2	1.350	0.250	1.600
		PL 3	0.900	0.450	1.350
		PL 4	1.200	0.150	1.350

Anexo 3. Información meteorológica

Proyecto	REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA (Caesalpinia spinosa), PACAYCASA.											
Estación	WAYLLAPAMPA											
Distrito	PACAYCASA			Altitud	2500 msnm							
Provincia	HUAMANGA			Latitud	-13	-4	-35					
Región	AYACUCHO			Longitud	-74	-13	-1					
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	180.3	195.6	108.2	53.5	6.2	0.0	3.1	42.8	50.5	51.4	124.1	135.4
2001	181.9	152.0	98.8	44.3	2.1	18.8	0.0	0.8	19.0	7.6	50.1	75.2
2002	136.6	165.9	130.5	19.8	0.5	3.7	5.0	0.0	5.2	25.7	79.1	96.1
2003	137.9	225.0	110.5	16.4	30.3	17.3	49.0	5.1	9.4	15.7	20.8	94.1
2004	188.4	75.5	123.1	36.4	43.9	5.9	28.3	16.6	15.9	40.2	134.3	80.5
2005	111.2	187.7	162.1	47.8	17.7	1.8	32.6	12.8	35.5	30.2	72.8	115.6
2006	94.2	181.2	120.1	60.8	10.7	0.0	0.0	44.3	9.9	5.8	11.7	118.0
2007	69.8	162.5	65.4	17.0	10.8	9.8	28.8	7.5	29.2	48.8	58.1	168.1
2008	86.9	76.6	51.8	16.2	4.2	2.8	0.3	3.6	11.0	14.4	23.8	70.1
2009	108.7	141.7	39.8	49.3	15.7	0.4	3.9	8.2	15.3	41.6	68.4	143.0
2010	126.1	103.3	50.4	30.5	4.8	0.3	2.2	3.1	6.9	8.4	69.1	137.3
2011	143.4	187.5	106.1	33.6	20.8	0.1	10.2	0.7	13.4	37.4	78.5	109.6
MEDIA	130.44	154.55	97.24	35.46	13.98	5.07	13.62	12.13	18.43	27.26	65.90	111.91
PE												
AL75%	105.06	132.10	62.00	19.10	4.65	0.25	1.73	2.53	9.77	12.90	43.53	90.71
PE(mm)	87.40	104.18	55.85	18.52	4.62	0.25	1.72	2.51	9.61	12.63	40.49	77.54

Proyecto	REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA (Caesalpinia spinosa), PACAYCASA.											
Estación	WAYLLAPAMPA											
Distrito	PACAYCASA			Altitud	2500	msnm						
Provincia	HUAMANGA			Latitud	-13	-4	-35					
Región	AYACUCHO			Longitud	-74	-13	-1					
REGISTRO DE TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	13.4	12.8	13.0	13.8	13.9	13.4	12.3	13.5	15.0	14.3	16.0	14.4
2004	13.1	13.6	13.5	13.6	12.8	11.8	12.0	12.5	14.4	15.4	15.7	S/D
2005	14.6	12.3	12.8	12.9	12.7	12.1	10.5	11.5	9.9	13.2	12.8	12.6
2006	11.9	11.3	10.2	10.3	9.3	11.2	12.5	12.2	13.5	15.7	16.1	14.1
2007	14.4	13.4	13.6	14.3	14.1	12.3	12.1	12.1	13.4	14.7	15.6	13.3
2008	14.5	14.1	13.5	14.4	13.4	13.9	13.6	13.5	13.9	13.9	13.6	13.7
2009	13.4	13.0	13.1	13.8	13.3	13.2	12.9	13.3	14.4	14.4	13.3	14.5
2010	13.5	13.7	13.0	13.0	13.3	13.1	12.6	13.7	13.1	13.9	14.6	13.6
MEDIA	13.45	13.18	13.20	13.72	13.33	13.39	13.01	13.49	13.83	14.06	13.83	13.91

REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA Proyecto (Caesalpinia spinosa), PACAYCASA. Estación WAYLLAPAMPA Distrito PACAYCASA Altitud 2500 msnm Provincia HUAMANGA Latitud -13 -4 -35 Región AYACUCHO Longitud -74 -13 -1												
REGISTRO DE TEMPERATURAS MAXIMAS ABSOLUTAS DIARIAS (°C)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	21.8	20.7	20.5	22.4	22.1	21.0	20.6	23.3	24.0	23.9	26.2	24.9
2004	21.4	21.5	21.5	21.7	22.6	21.2	21.4	22.5	23.8	25.8	24.4	23.7
2005	24.9	23.3	21.3	21.9	21.7	21.8	21.5	21.9	24.9	25.3	24.2	23.7
2006	23.4	22.5	21.0	21.8	23.1	22.6	21.7	21.7	24.7	25.9	26.7	24.8
2007	24.9	23.2	22.9	24.2	25.4	25.3	24.8	25.9	26.6	26.6	27.8	25.0
2008	24.5	24.7	24.5	25.9	25.5	25.3	25.5	26.6	26.7	27.1	29.0	26.7
2009	25.2	24.6	24.4	24.8	25.5	25.8	24.9	26.2	26.8	27.8	26.4	25.9
2010	24.8	25.7	26.0	26.4	26.3	26.2	26.8	26.8	26.3	27.3	28.2	24.7
MEDIA	24.83	24.54	24.47	25.33	25.67	25.68	25.48	26.36	26.59	27.20	27.84	25.59

Proyecto	REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA (Caesalpinia spinosa), PACAYCASA.											
Estación	WAYLLAPAMPA											
Distrito	PACAYCASA			Altitud	2500	msnm						
Provincia	HUAMANGA			Latitud	-13	-4	-35					
Región	AYACUCHO			Longitud	-74	-13	-1					
REGISTRO DE TEMPERATURAS MINIMAS ABSOLUTAS DIARIAS (°C)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	12.2	12.0	12.3	8.3	6.0	3.2	4.4	5.4	6.2	9.2	10.0	11.4
2004	12.0	11.8	12.0	8.1	5.6	3.5	3.6	4.0	6.1	9.4	9.4	11.1
2005	12.4	12.1	12.2	8.3	4.9	3.9	3.9	4.1	6.4	9.3	9.0	11.0
2006	11.6	12.2	11.6	8.0	5.3	3.8	3.5	4.7	7.5	8.9	8.9	11.3
2007	12.1	12.1	11.8	8.9	5.5	3.7	3.2	4.1	7.6	9.0	9.8	11.2
2008	12.3	11.4	10.6	7.8	4.1	3.6	3.0	4.9	7.2	9.9	10.2	11.1
2009	12.5	12.4	12.1	9.8	6.1	3.3	4.3	3.9	7.9	8.7	10.2	11.3
2010	11.9	12.0	12.1	8.5	6.1	4.2	2.3	3.2	6.8	9.0	8.4	11.3
MEDIA	12.12	12.08	11.82	8.88	5.52	3.69	3.20	4.09	7.57	9.05	9.79	11.23

REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA Proyecto (Caesalpinia spinosa), PACAYCASA. Estación WAYLLAPAMPA Distrito PACAYCASA Altitud 2500 msnm Provincia HUAMANGA Latitud -13 -4 -35 Región AYACUCHO Longitud -74 -13 -1												
REGISTRO DE HORAS DE SOL DIARIA PROMEDIOS MENSUAL												
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	5.27	2.28	3.33	5.26	7.26	8.21	7.25	8.31	6.24	6.36	6.32	5.30
2006	5.29	5.27	5.33	7.24	9.21	7.30	8.28	7.26	4.25	6.29	8.27	5.23
2007	7.24	0.29	1.24	6.29	8.35	8.28	8.25	8.25	7.26	5.29	7.27	3.27
2008	4.28	5.27	4.25	4.24	9.27	7.29	8.28	7.26	6.26	6.25	4.25	4.31
2009	4.30	5.26	4.30	5.30	7.30	7.30	7.20	7.30	S/D	5.30	6.20	3.20
2010	3.20	5.30	4.20	6.30	8.30	8.30	8.30	8.30	7.30	6.30	3.10	3.30
MEDIA	4.64	4.41	4.40	6.06	8.01	7.74	8.09	7.69	6.50	6.43	6.32	4.89

Proyecto REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TARA (Caesalpinia spinosa), PACAYCASA. Estación WAYLLAPAMPA Distrito PACAYCASA Altitud 2500 msnm Provincia HUAMANGA Latitud -13 -4 -35 Región AYACUCHO Longitud -74 -13 -1												
REGISTRO DE VELOCIDADES DE VIENTO DIARIAS (m/s)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	1.56	1.17	1.38	1.31	1.24	1.31	1.41	1.42	1.92	1.36	1.58	1.59
2008	1.91	1.59	1.68	2.05	1.48	1.55	1.74	1.91	1.96	1.50	2.41	2.04
2009	2.00	1.58	1.67	1.40	1.52	1.65	1.71	1.71	1.88	1.70	1.76	1.64
2010	1.79	1.43	1.22	1.33	1.55	1.70	1.26	1.35	1.24	1.50	1.62	1.55
MEDIA	1.81	1.44	1.49	1.52	1.45	1.55	1.53	1.60	1.75	1.52	1.84	1.70

Anexo 4. Panel fotográfico



Instalación de riego



Instalación de accesorios de riego



Selección de plantas a evaluar



Calicata para determinación de coeficientes hídricos



Recojo de muestras para determinación de humedad antes de riego



Muestras para determinación de humedad antes de riego



Aplicación de riego



Aplicación de riego



Labor agrícola - Poda



Labor agrícola - Abonamiento



Primera cosecha



Registro de la cosecha



Recolección de vainas de tara



Racimo de vainas de tara



Registro de cosecha