

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA DEL
CULTIVO HABA BABY MEDIANTE LISÍMETROS DE
DRENAJE EN LA IRRIGACIÓN MAJES – AREQUIPA”**

TESIS

PRESENTADO POR:

LEONIDAS MACHACA CARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2011

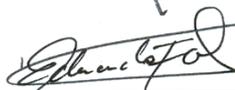
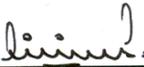
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

“DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA DEL
CULTIVO HABA BABY MEDIANTE LISÍMETROS DE DRENAJE EN
LA IRRIGACIÓN MAJES – AREQUIPA”

TESIS PRESENTADO POR:
LEONIDAS MACHACA CARI

PRESENTADA A LA COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, PARA OPTAR EL TÍTULO
DE: **INGENIERO AGRÍCOLA.**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE JURADO	:	 <hr/> Ing. M. Sc. AUDBERTO MILLONES CHAFLOQUE.
PRIMER MIEMBRO JURADO	:	 <hr/> Ing. M. Sc. ALBERTO PILARES HUALPA.
SEGUNDO MIEMBRO JURADO	:	 <hr/> Ing. M. Sc. EDUARDO LUIS FLORES QUISPE
DIRECTOR DE TESIS	:	 <hr/> Ing. M. Sc. LORENZO G. CIEZA CORONEL
ASESOR DE TESIS	:	 <hr/> Ing. TEÓFILO CHIRINOS ORTIZ

PUNO – PERÚ
2011

ÁREA : Ingeniería y Tecnología
TEMA: Estudios hidrológicos
LÍNEA: Recursos Hídricos

DEDICATORIA

Como homenaje a mi padre Prudencio Q.E.P.D. y a mí querida madre Eugenia, por su incansable esfuerzo y perseverancia.

A mis hermanos Edwin, Néstor, Dante, Abraham y Yudy, y demás familiares por su permanente incentivo y apoyo, en los momentos mas difíciles.

A todos mis amigos que supieron brindarme apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, a los docentes, por haber contribuido en mi formación profesional durante mis años de estudio.

Al Gobierno Regional de Arequipa, Proyecto Especial Majes Siguan – AUTODEMA, por haberme apoyado en la realización de ésta investigación y a todo el personal que hizo que este trabajo se haga realidad.

A los profesionales Ing. M.sc. Lorenzo G. Cieza Coronel, Ing. Teófilo Chirinos Ortiz, Ing. Alfredo Pérez Falla, por haberme dirigido y asesorado en el desarrollo de esta investigación.

Mis agradecimientos a los miembros del jurado revisor por sus recomendaciones en la presente tesis.

Expreso mi profundo agradecimiento y reconocimiento a los distinguidos profesionales y amigos que con dedicación, esfuerzo y apoyo desinteresado, que contribuyeron a que el presente investigación se haga realidad, a quienes nunca olvidaré.

INDICE GENERAL

	Pág.
Resumen.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Planteamiento de Problema	4
1.2. Antecedentes	5
1.3. Justificación	6
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Especificos	7
1.5. Hipotesis	8
1.5.1. Hipotesis General.....	8
1.5.2. Hipotesis Específico	8
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	9
2.1. Marco Conceptual.....	9
2.1.1. Manejo del Riego.....	9
2.1.2. El Riego	9
2.1.3. Riego Localizado	9
2.1.4. Cedula de Cultivos.....	10
2.1.5. El Suelo.....	10
2.2. Contenido de Humedad del Suelo	12
2.3. Constantes Hidricas o de Humedad del Suelo	12
2.3.1. Saturación (S)	12
2.3.2. Capacidad de Campo (CC)	13
2.3.3. Punto de Marchitez Permanente (PMP).....	14
2.3.4. Humedad Aprovechable Total (HAT)	15
2.3.5. Agua Fácilmente Aprovechable o Utilizable (AFU)	15
2.3.6. Metodos para su Determinación de Capacidad de Campo	16
2.2.7. Metodos para Determinar Punto de Marchitez Permanente (PMP)	17
2.4. Profundidad de Raíces	18
2.5. Necesidades de Agua de los Cultivos	18
2.5.1. Evaporación	19
2.5.1.1. Factores que Influyen En La Evaporación.....	19
2.5.1.2. Calculos de la Evaporación: Metodos Directos	20
2.5.1.3. Calculos de la Evaporación: Métodos Indirectos	20
2.5.2. Transpiración	21
2.5.2.1. Factores que Influyen en la Transpiración:.....	21
2.5.3. Evapotranspiración	22
2.5.3.1. Factores que Afectan a la Evapotranspiración de un Cultivo	23
2.5.4. Evapotranspiración Potencial o de Referencia (ETo).....	25
2.5.4.1. Método de Lisímetro.....	26
2.5.4.2. Metodo del Tanque de Evaporación Clase “A”.....	28
2.5.4.3. Metodo de Penman Monteiht (FAO, 2006).....	30
2.5.4.4. Estación Agroclimatica Automatica	32
2.5.5. Evapotranspiración Real o Actual. (ETC)	34

2.5.5.1. Metodos de Medida de la Evapotranspiración.....	35
2.5.6. Coeficiente de Cultivo (Kc).....	36
2.5.6.1. Factores que Influyen en la Determinación de Kc.....	37
2.6. Relaciones Entre Agua – Suelo-Planta	37
2.6.1. Relaciones Suelo-Agua.....	37
2.6.2. Relaciones Agua – Planta	38
2.7. Necesidades Netas de Agua de Riego de los Cultivos.....	38
2.8. Necesidades de Agua de Riego Bruta o Total de los Cultivos	39
2.9. Calidad de Agua.....	40
2.10. Base Teorica del Cultivo de Haba Baby (<i>Vicia Faba L.</i>)	41
2.10.1. Origen	41
2.10.2. Ubicación Taxonomía.....	41
2.10.3. Descripción Morfológica	42
2.10.4. Clima, Suelo, Fertilización y Labores Culturales	42
2.10.5. Manejo Integral del Cultivo.....	42
2.10.6. Plagas y Enfermedades	43
III. MATERIALES Y METODOS.....	44
3.1. Descripción del Ambito de Estudio	44
3.1.1. Ubicación Geografica	44
3.1.2. Ubicación Politica.....	44
3.1.3. Sistema Hidraulico.....	47
3.1.4. Clima.....	48
3.1.5. Socioeconomia.....	49
3.1.6. Servicios Básicos	49
3.2. Materiales y Equipos	49
3.2.1. Materiales.....	49
3.2.2. Equipos	50
3.2.1.1. Material Experimental	51
3.3. Metodología	53
3.3.1. Reconocimiento General de la Zona de Estudio.....	54
3.3.2. Reconocimiento de la Infraestructura Existente de los Lisímetros.....	54
3.3.3. Determinación de las Características del Suelo	55
3.3.4. Determinación de las Constantes Hidricas o de Humedad del Suelo	55
3.3.5. Puesta en Capacidad de Campo (Cc) el Suelo del Lisímetro	56
3.3.6. Instalación Accesorios de Riego y Preparacion de Suelos de los Lisímetros....	57
3.3.7. Instalación y Desarrollo de Cultivo a Investigar	57
3.3.8. Sistema de Riego y Fertirriego	57
3.3.9. Aplicaciones de Agua y Toma de Datos.....	58
3.3.10. Determinación de la Evapotranspiración Potencial por los Dos Metodos.....	58
3.3.11. Analisis de Consistencia y Ajuste Estadistico	59
3.3.12. Determinacion de la Evapotranspiración Real del Cultivo (ETC)	61
3.3.13. Evaluacion y Determinacion de las Etapas Fenológicas del Cultivo.....	61
3.3.14. Determinación de los Coeficientes de Cultivo (Kc).....	61
3.3.15. Determinación de la Curva Teórica de Coeficientes de Cultivo (Kc)	62
3.3.16. Determinacion de las Necesidades Netas de Agua de Riego del Cultvo.....	62
3.3.17. Cosechas	62

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1. Características Físicas Químicas Del Suelo.....	63
4.2. Capacidad De Campo	63
4.2.1. Método Gravimétrico.....	63
4.2.2. Método Textural	64
4.2.2.1. Capacidad de Campo	64
4.2.2.2. Punto de Marchitez Permanente	65
4.3. Analisis de Agua de Riego.....	65
4.4. Determinación de la Evapotranspiración Potencial o de Referencia (ETP)	66
4.5. Comparación de los Valores de la ETP por los Dos Métodos.....	67
4.6. Analisis Estadístico de Evapotranspiracion Potencial (ETP)	70
4.7. Evapotranspiración Real del Cultivo (ETC).....	70
4.7.1. Método del Lisímetro.....	70
4.7.2. Análisis Estadístico de Evapotranspiración Real del Cultivo (ETC)	71
4.7.3. Identificación de Etapas Fenológicas Parametros del Desarrollo.....	73
4.8. Determinación de los Coeficientes de Cultivo (Kc.)	74
4.9. Curva Teorica de Coeficientes del Cultivo (Kc) por los Dos Metodos	77
4.9.1. Comparación de Curva Teorica de (Kc) por los Dos Metodos.....	78
4.10. Determinación de las Necesidades Netas de Agua de Riego del Cultivo (Nn)	79
4.11. Determinacion de las Necesidades Totales de Agua de Riego	80
4.12. Rendimiento Obtenido	82
V. CONCLUSIONES	83
VI. RECOMENDACIONES	85
VII. BIBLIOGRAFÍA	86
VIII. ANEXOS	89

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Esquema de las fases del agua en el suelo y de su utilización por las plantas.	16
Figura 02: Esquema de las fases del agua en el suelo y de su utilización por las plantas. .	18
Figura 03: Evapotranspiración del Cultivo.	23
Figura 05: Tanque de Evaporación Clase “A”.....	29
Figura 06: Partes de Estación Agroclimática Automática	33
Figura 07: Representación de la evapotranspiración real del cultivo.	34
Figura 08: Coeficiente del cultivo (Kc).	36
Figura 09: Ubicación del Área de Investigación C.R.A. - AUTODEMA	44
Figura 10: Esquema Hidráulico para la Irrigación Majes.....	47
Figura 11: Cabezal de Riego y Fertirriego del Sistema	57
Figura 12: Producción y Cosecha del Cultivo de Haba Baby.....	82

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 01: Coeficientes de Cultivo de Alcachofa.....	6
Cuadro 02: Resumen Climático – Irrigación de Majes.....	48
Cuadro 03: Análisis Físico Químicos de Suelos.....	63
Cuadro 04: Resultados del Muestreo de Suelos por el Método Gravimétrico.....	63
Cuadro 05: Análisis de agua de riego para el proyecto de Irrigación Majes.	65
Cuadro 06: Resumen de ETo por los Dos Métodos.....	67
Cuadro 07: Valores de Evapotranspiración Potencial (ETp) Semanal obtenidos por los Dos Métodos	68
Cuadro 08: Análisis de Varianza entre los Métodos A y B.	70
Cuadro 09: Prueba de Significancia Tukey (p: 0.05) promedio de los métodos de A y B..	70
Cuadro 10: Evapotranspiración real del cultivo haba baby, (ETC), mediante los lisímetros de I, II, III para las diferentes fases fenológicas del cultivo.	71
Cuadro 11: Análisis de varianza de Evapotranspiración real del cultivo (ETC)	71
Cuadro 12: Prueba de Significancia Tukey (p: 0.05) promedio de fases fenológicas del cultivo de haba baby	72
Cuadro 13: Parámetros de Evaluación del desarrollo del cultivo.....	73
Cuadro 14: Parámetros de Evaluación del desarrollo del cultivo en	73
Cuadro 15: Determinación de Valores Semanales del Coeficiente de Cultivo (Kc)	75

Cuadro 16: Comparación de Promedios Semanales de Coeficientes de Cultivo (Kc) por .78
 Grafico 11: Comparación de Coeficientes del Cultivo (Kc) por los Dos Métodos 79
 Cuadro 17: Comparación de Valores Coeficientes del Cultivo (Kc) por los dos Métodos .79
 Cuadro 18: Necesidades netas de agua de riego del cultivo haba baby..... 80
 Cuadro 19: Necesidades Totales de Agua de Agua de Riego del Cultivo Haba Baby por
 Fases Fenológicas 81
 Cuadro 20: Necesidades Totales de Agua de Riego del Cultivo Haba Baby por Meses..... 81
 Cuadro 21: Producción del Cultivo de Haba Baby por Hectárea 82

INDICE DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 01: Porcentaje de Humedad del Suelo por el Método Gravimétrico	63
Gráfico 02: Variación de Evapotranspiración Potencial por el Método de Tanque de Evaporación Clase A	66
Gráfico 03: Variación de evapotranspiración potencial por el Método Estación Agroclimática Automática – Penman Monteiht	67
Gráfico 04: Comparación de los Valores deEvapotranspiración Potencial (ETo) diario por los Dos Métodos	68
Gráfico 05: Comparación de los Valores de Evapotranspiración Potencial (ETo) Semanal por los Dos Métodos	69
Grafico 06: Comparación de los valores de Evapotranspiración Real del Cultivo ETc diario por el Método Directo de Lisímetros I,II, III.....	71
Grafico 07: Parámetros de Evaluación del Desarrollo del Cultivo Haba Baby	74
Grafico 08: Comparación de Curvas reales de Coeficientes del Cultivo Haba Baby por los Dos Métodos.	76
Grafico 09: Coeficientes del Cultivo (Kc) por el método Tanque Evaporímetro Clase A..	78
Grafico 10: Coeficientes del Cultivo (Kc) por método Estación Agroclimática Automática.....	78
Grafico 11: Comparación de Coeficientes del Cultivo (Kc) por los Dos Métodos	79

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Reconversión Agroganadera C.R.A. del Proyecto Especial Majes Siguanas AUTODEMA, ubicado políticamente en el Departamento de Arequipa, Provincia de Caylloma, Distrito de Majes, Comisión de Regantes zona especializada, durante la campaña agrícola 2011; con el objetivo: de determinar las necesidades de agua del cultivo haba baby mediante lisímetros de drenaje en la Irrigación Majes – Arequipa.

Se ha empleado el método de lisímetros de drenaje para determinar los valores de evapotranspiración real del cultivo en condiciones de campo comercial y dos métodos para determinar la evapotranspiración potencial o de referencia (método del Tanque Evaporímetro Clase A y método de Estación Agroclimática Automática – Penman Monteith), ésta última ha sido considerado como método estándar para la presente investigación de acuerdo a los resultados de la investigación y recomendados por la FAO, para las condiciones de la Irrigación Majes. En tanto para calcular los valores de coeficientes del cultivo K_c , se determinó entre la relación ETC y ETP.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones; La evapotranspiración real del cultivo de haba baby está en función al periodo vegetativo siendo el resultado de 454.988 mm de lámina hídrica, durante la campaña de abril a julio del 2011 obtenidos por el método directo de lisímetros en condiciones de campo comercial. El coeficiente del cultivo K_c , para el cultivo de haba baby obtenido por el método directo de Lisímetros (ETC) y el método de la Estación Agroclimática Automática – Penman Monteith (ETP), varía en el rango de 0.27 hasta 1.24 con una media 0.73, con valores mínimos en la fase inicial y los valores máximos en la fase de maduración ó media estación durante el periodo vegetativo del cultivo de 116 días equivalentes a 17 semanas.

La necesidad neta de agua de riego es igual a la evapotranspiración real del cultivo ya que la precipitación efectiva es nula durante la investigación en la Irrigación Majes.

La necesidad total de agua de riego consumida por el cultivo de haba baby durante su periodo vegetativo es de 5055.16m³/ha. Con una producción de haba baby en vaina durante cuatro cosechas se obtuvo de 8,140 kg/ha.

De acuerdo al análisis estadístico de Diseño Completamente al Azar efectuadas los valores de evapotranspiración potencial E_{To} método del tanque evaporímetro clase A y Estación Agroclimática Automática - Penman Monteith ambos métodos son diferentes estadísticamente, al nivel de significancia ($p: 0.05$).

Efectuadas el análisis estadístico de Diseño Bloque Completo al Azar para tratamientos (lisímetros I, II, III) no hubo significancia estadísticamente, lo cual indica que los valores de evapotranspiración real del cultivo son iguales estadísticamente, entre los tres lisímetros. Mientras tanto para bloques (fases fenológicas) resulta altamente significativo lo que nos indica que tienen diferente evapotranspiración en cada fase fenológica, al nivel de significancia ($p: 0.05$).

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en nuestro País y en el mundo la disponibilidad del recurso hídrico es cada vez más escaso y costoso, debido al calentamiento global y efectos del cambio climático ocasionada por el hombre. La población crece lo que supone el incremento de la demanda de este recurso en los distintos sectores. Por ello el uso eficiente de los recursos hídricos empieza a ser crucial en todos los sectores de los que destaca el sector agrícola.

La agricultura en la Irrigación Majes se va diversificando cada vez más con los cultivos de exportación, debido a la creciente demanda en el mercado externo. Dado que el cultivo de haba baby (*Vicia Faba L.*), que forma parte de cedula del cultivo de esta zona. Aplicando sistemas de riego tecnificado por goteo. Los sistemas de riego tecnificado, nos hacen suponer una eficiencia de riego alta y por ende un ahorro de agua, pero por su mala utilización se pueden desperdiciar grandes volúmenes de este recurso.

Existen varias metodologías para determinar las necesidades de agua de los cultivos, que pueden ser por métodos directos (Lisímetros, por muestreo de humedad de suelo, Tanque de evaporación, etc.) y métodos indirectos ó formulas empíricas (Penman Monteiht recomendado por la FAO, Blanney - Criddle, Radiación Solar, Hargreaves, etc.)

El Proyecto Especial Majes Sigvas – AUTODEMA, Gerencia de Gestión de Recursos Hídricos mediante Sub Gerencia de Promoción y Uso Eficiente del Recurso Hídrico. Viene implementando la instalación de lisímetros de drenaje en condiciones de campo comercial con la finalidad de determinar los consumos reales de agua de los cultivos, mediante sistemas de riego por goteo para las condiciones climáticas de la Irrigación Majes, específicamente del cultivo Haba Baby (*Vicia Faba L.*), por ser uno de los cultivos de exportación y recién introducida en la zona.

Debido a la incertidumbre de estos parámetros, la presente investigación, pretende determinar las necesidades de agua del cultivo haba baby para las condiciones locales de clima, de la Irrigación Majes mediante la relación $Kc = Etc/Eto$. Para obtener estos valores se emplearon métodos de mayor difusión de la zona.

1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

En la Irrigación Majes el Método de riego predominante es por Goteo, con cédula de cultivos orientados en su mayoría para la exportación, dentro de ellos está el cultivo de “Haba Baby” (*Vicia Faba L.*). Asimismo en los dos últimos años en el mercado externo (España), a habido una mayor demanda de este producto, que ha inducido a los agricultores de la zona a incrementar más áreas de sembrío de dicho cultivo.

El cultivo de Haba Baby en todos los casos se riega por goteo, pero con láminas aparentemente excesivas, que se determinan empíricamente, por desconocimiento de las demandas reales de dicho cultivo durante sus diferentes etapas fenológicas. Este hecho, en contraste con las particularidades propias del método, además esta generando pérdidas de agua por percolación profunda y una alta lixiviación de fertilizantes, debido al mal manejo del sistema y excesos de tiempo de riego, afectando el normal desarrollo del cultivo y bajos niveles de producción.

Además, teniendo en cuenta que la disponibilidad hídrica en la Irrigación Majes es más restringida, es necesario mejorar las eficiencias de aplicación en las parcelas mediante la determinación de las demandas reales de los cultivos, principalmente del cultivo Haba Baby, en condiciones de campo comercial.

En ese sentido es importante la determinación de evapotranspiración real del cultivo ETC, mediante métodos directos como los lisímetros; para que a partir de ello, se pueda determinar los coeficientes del cultivo K_c , para las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Esto permitirá que los agricultores puedan determinar las dosis de riego más convenientes y optimizar el agua de riego y mejorar los niveles de productividad y calidad de los cultivos.

En base a ello se plantea las siguientes interrogantes:

- *¿Cuáles son las necesidades de agua del cultivo de haba baby (*Vicia Faba L.*) para las condiciones de la Irrigación Majes- Arequipa?*
- *¿Cuáles son los coeficientes de cultivo K_c del cultivo haba baby en sus diferentes fases fenológicas para las condiciones de Irrigación Majes?*

1.2. ANTECEDENTES

Actualmente en la Irrigación Majes se dispone de muy poca información sobre las necesidades de agua del cultivo Haba Baby, mas no se hallaron investigaciones en condiciones de campo comercial.

Proyecto Especial Majes-Siguas - AUTODEMA. Realizaron trabajo de investigación llamado “determinación de los coeficiente de cultivo (Kc) y etapas fenológicas de los cultivos: Quinoa Real Blanca, Perejil Crespo, Papa Única, Girasol Aceitero SS2107, Cebolla Roja, Cebolla China y Alfalfa variedad California” en el año 2009 mediante riego por goteo, en el Centro de Recría de Vacunos de la Irrigación Majes, con el objetivo de optimizar el recurso hídrico en Parcela Integral Demostrativa.

Wilde Pardo Claire 2001. “Determinación de coeficiente de cultivo Kc para haba y cebolla por el método de balance de masas” la investigación se llevó a cabo en el valle Central de Cochabamba, comunidades de Mallco Chapi y Sauce Rancho, Provincia Quillacollo, Departamento de Cochabamba – Bolivia. Obtuvo un resultado en las comunidades de Mallco Chapi y Sauce Rancho de 437.9mm y 489.8mm de lámina hídrica Además consideramos la tesis mencionada para citar similar metodología para la investigación.

En la Facultad de Ingeniería Agrícola Escuela profesional de Ingeniería Agrícola de la UNA, se tienen varias investigaciones referidas a coeficientes de cultivo, mas no sobre este cultivo de haba baby. Tambien citan similar metodología en cuanto a su determinación y son los siguientes:

H. Chino T. 2006. “Determinación del Coeficiente de Cultivo (Kc.) por los Métodos Experimental y Empíricos”. La evapotranspiración del cultivo de papa esta en función de su periodo vegetativo, siendo el resultado de 569.60mm. de lamina de hídrica para el método directo del lisímetro, y con los métodos indirectos: Hargreaves modificado con 487.84mm, Hargreaves en función a radiación solar ajustado con 571.18mm, Hargreaves en función a temperatura con 570.45mm, Blanney Criddle con corrección de altitud con 586.47mm, Radiación con 801.55 y Serrato con 189.07mm; siendo la fase critica de mayor necesidad de agua a la fase de media o (floración) 305.69mm. de lamina de agua.

K. Olivera C. 2009. “Determinación de Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Alcachofa Imperial Star, por el Método de Lisímetros de Drenaje en la Irrigación Majes – Arequipa”. El cultivo de alcachofa variedad imperial star, presenta cuatro etapas de desarrollo bien definidas; sembrando en campaña chica (marzo a octubre), desarrolló un periodo vegetativo de 29 semanas, siendo los coeficientes de cultivo Kc determinados:

Cuadro 01: *Coeficientes de Cultivo de Alcachofa*

ETAPAS FENOLOGICAS DEL CULTIVO		Kc
I	Transplante a Prendimiento	0.4
	Prendimiento a Crecimiento	0.5
II	Crecimiento a Formación de Capítulos	1.0
III	Formación de Capítulos a Inicios de Cosecha	1.6
IV	Inicio Cosecha a Fin de Cosecha	1.4

1.3. JUSTIFICACIÓN

El estudio de las necesidades de agua del cultivo haba baby (*Vicia Faba L.*), cobra interés de parte de los agricultores de la Irrigación Majes, en tener valores de las demandas reales en sus diferentes fases del periodo vegetativo del cultivo haba baby, en condiciones de campo comercial. Para dotar de agua en cantidad y oportunidad sin afectar la producción, para lograr una optimización de este recurso hídrico, siendo vital importante para la supervivencia y para todo los sectores de la zona, sabemos que en la vegetación en la agricultura se utiliza una cantidad de volumen de agua muy grande, pero solamente consume una mínima cantidad para sus necesidades fisiológicas y la mayor parte de este recurso agua pierde por infiltración profunda por su mala utilización y excesos de tiempo de riego y la transpiración del cultivo, con la influencia de los factores climatológicos.

En realidad en la Irrigación Majes, últimamente en su mayoría se han planteado sistemas de riego por goteo, con eficiencias de riego de 90% con la finalidad de mejorar las eficiencias y optimizar el recurso hídrico, ya que cada vez es mas escaso el recurso hídrico, frente a esta situación existe la necesidad de manejar adecuadamente los recursos agua y suelo en forma continúa, es una de las tareas vitales para los profesionales que tienen que ver con el estudio del recurso agua, para lograr buenos niveles de producción agrícola, con fin de asegurar un uso eficiente de este recurso agua y la continua productividad de los terrenos agrícolas, por tal razón se emprende determinar las necesidades de agua del cultivo haba baby mediante lisímetros en condiciones de campo comercial.

La determinación de los coeficientes del cultivo K_c , de sus diferentes fases fenológicas obtenidas mediante los métodos directos, nos permitirá realizar una aplicación adecuada de agua de riego en forma oportuna y necesaria, en la programación y diseño de sistemas de riego para este cultivo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las necesidades de agua del cultivo haba baby (*Vicia Faba L.*), mediante lisímetros de drenaje, en las condiciones de campo comercial de la Irrigación Majes.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la Evapotranspiración Potencial ó de referencia (E_{To}), para las condiciones climáticas de la Irrigación Majes.
- Determinar el coeficiente del Cultivo (K_c) en las diferentes fases fenológicas de su periodo vegetativo para las condiciones de la Irrigación Majes.
- Determinar las necesidades netas y totales de agua de riego del cultivo haba baby en las diferentes fases fenológicas para las condiciones de la Irrigación Majes.

1.5. HIPOTESIS

1.5.1. HIPOTESIS GENERAL

- El método de los lisímetros para la determinación de las necesidades de agua del cultivo, es adecuado por ser un método directo, que relaciona con factores climáticos de determinada zona con aspectos fisiológicos propios de la planta.

1.5.2. HIPOTESIS ESPECÍFICO

- La Evapotranspiración potencial (ET_o), obtenidas por los dos métodos Tanque Evaporímetro Clase A y Estación Agroclimática Automática, los valores obtenidos son similares y cercanos para las condiciones climáticas de la Irrigación Majes.
- El coeficiente del cultivo (K_c), Haba Baby en las diferentes fases fenológicas son diferentes de acuerdo al grado de desarrollo del cultivo para las condiciones de la Irrigación Majes.
- Las necesidades netas y totales de agua de riego del cultivo Haba Baby esta en función del desarrollo del cultivo para las condiciones de la Irrigación Majes.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. MARCO CONCEPTUAL.

2.1.1. MANEJO DEL RIEGO

CASTAÑÓN (2000). Define, un buen diseño es condición necesaria pero no suficiente para una buena eficiencia. “las bajas eficiencias no son culpa del método sino del manejo del riego”. A veces se obtienen mejores eficiencias con un buen manejo de una instalación no muy bien diseñada, que con un mal manejo de una bien proyectada.

2.1.2. EL RIEGO

ISRAELSEN HANSEN (1979). Conceptualiza al riego como “la aplicación de agua en el suelo con el propósito de suplir a esta la humedad esencial para el crecimiento de las plantas”.

OLARTE (2002). Define, en términos generales, al riego como la ciencia y el arte de aplicar el agua al perfil del suelo en la cantidad suficiente y en el momento oportuno, para reponer el agua consumida por los cultivos o el agua requerida para suavizarlo y hacerlo laborable para las actividades agrícolas.

2.1.3. RIEGO LOCALIZADO

FUENTES (1998). El riego localizado consiste en aplicar el agua a una zona más o menos restringida del volumen de suelo que habitualmente ocupan las raíces. Sus características principales son:

- No se moja la totalidad del suelo.
- Se utiliza pequeños caudales a baja presión.
- El agua se aplica con alta frecuencia.

El riego localizado incluye:

El agua que se aplica mediante dispositivos que la echan gota a gota o mediante flujo continuo, con un caudal inferior a 16 litros/hora por punto de emisión o por metro lineal de manguera de goteo.

2.1.4. CEDULA DE CULTIVOS

PARDO (2001). Una cédula de cultivo de un determinado de un proyecto de riego es un patrón de cultivos, probables que se van a implantar y desarrollar en dicho proyecto. Desde los diversos factores tales como económicos, de costumbre de los agricultores, necesidad de autoconsumo, disponibilidad de agua, clase de suelos, mano de obra, clima entre los más importantes.

2.1.5. EL SUELO

OLARTE H (2002). Define, desde el punto de vista del riego, al suelo como un medio natural poroso que sirve para almacenar cierta cantidad de agua que luego será extraída por las plantas para satisfacer sus demandas ocasionadas como consecuencia de la producción de cosechas.

El suelo en general, es un sistema complejo, con tres fases bien diferenciadas:

- Sólida, constituida por la matriz del suelo, compuesta por sustancias minerales y orgánicas.
- Líquida, está compuesta por el agua que ocupa parte del espacio poroso conformado por los poros pequeños.
- Gaseosa, está compuesta por los poros grandes que son los espacios que se llevan de aire.

La parte sólida mineral del suelo está constituida por tres (3) clases de partículas que se clasifican según su tamaño: Arena, entre 2 y 0.05 mm, Limo, entre 0.05 y 0.002mm y Arcilla, de dimensiones menores.

Entre ambos extremos se encuentran todo tipo de suelos, con diferentes contenidos de arena, limo y arcilla.

Los más adecuados desde el punto de vista agrícola son los que tienen proporciones equilibradas de los tres elementos, con propiedades medias entre los citados anteriormente. Son los suelos llamados francos que, desde el punto de vista hidráulico tienen una buena distribución en el tamaño de los poros.

FUENTES (1998). Las principales características físicas del suelo que afectan a la retención del agua son: Textura, Estructura y Porosidad.

a) TEXTURA

OLARTE (2002). Se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla que contiene un suelo, según el predominio de cada uno de ellos se les denomina suelos arenosos, limosos o arcillosos. Cuando un suelo presenta proporciones equivalentes entre estos tres tipos de partículas se denominan suelos francos.

b) ESTRUCTURA

OLARTE (2002). Desde el punto de vista morfológico la estructura del suelo se ha definido como arreglo ó acomodo de las partículas primarias: arena, arcilla y limo, para formar otras unidades de mayor tamaño llamado agregados. La estructura de un suelo se puede modificar mas no así la textura. La textura del suelo pueden ser: Laminar, prismática, columnar, angular, subangular ó granular.

c) POROSIDAD

CORAS (2003). Es el porcentaje por unidad de volumen de suelo en su estado natural no ocupado por las partículas sólidas; por tanto, la porosidad se expresa en porcentaje. El espacio poroso de un suelo es la parte del mismo que en su estado natural está ocupado por aire y/o agua.

d) DENSIDAD APARENTE

VASQUEZ y CHANG (1992). Se llama así a la relación que existe entre el peso de suelo seco ó peso de sólidos y el volumen total de una muestra de suelo no disturbada, cuyos valores se expresan generalmente en gr/cm³, ó Kg/dm³. La densidad aparente viene dada por:

$$Dap = \frac{Pss}{Vt}$$

Donde:

Dap = Densidad aparente (gr/cm³)

Pss = Peso del suelo seco a estufa a 105 °C (gr)

V_t = Volumen total (cm³)

Las densidades aparentes, varían en función a la textura y al contenido de materia orgánica. De otra parte, la densidad aparente aumenta con la profundidad del suelo debido a la disminución de la materia orgánica y a la compactación.

2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

BENITES (2001). El contenido de humedad del suelo vendría a ser el porcentaje de la humedad del suelo (agua), referida al total del suelo. Cuando se relaciona el peso del agua, con el peso del suelo seco (a la estufa por 24 horas), se dice que el contenido de humedad esté en base a peso seco (% peso). Si el agua está referida a volumen (V_{ag}) y se relaciona con el volumen total del suelo (V_{ts}) si tiene el contenido de humedad en base a volumen (% vol.) si se entiende que la densidad aparente del suelo (D_{aps}), es la relación del peso del suelo seco entre su volumen, entonces el contenido de humedad en base a volumen es igual al contenido de humedad en base a peso por la densidad aparente.

2.3. CONSTANTES HIDRICAS O DE HUMEDAD DEL SUELO

BENITES (2001). Define, el contenido de humedad del suelo no es un valor único ni estable, ya que aumenta con el riego, lluvia, rocío, ascenso capilar desde el nivel freático, y disminuye por evaporación a través del perfil del suelo, drenaje y consumo por las plantas.

OLARTE (2002). Dice, el contenido de humedad de un suelo depende de muchos factores y dentro de ellos básicamente de sus propiedades físicas tales como la capacidad de retención y del tipo de fuerza física que la retiene. De acuerdo a la cantidad de agua presente en el suelo, éste adoptará diferentes nombres y presentará diferentes características:

2.3.1. SATURACIÓN (S)

OLARTE (2002). Se dice que un suelo se encuentra en estado de saturación, cuando el agua ocupa todos los espacios vacíos del suelo (macro y microporos) es decir, el agua ha desplazado todo el aire en el suelo. Cuando se llega a este estado se dice que el suelo está a 100% de contenido de humedad. Este estado de humedad se presenta en un suelo agrícola inmediatamente después de un riego pesado de preparación del suelo o una lluvia intenso. En este momento, los excesos de agua se van drenando por gravedad dando lugar a la

percolación. Prácticamente, el potencial del agua en el suelo llega a cero (0) atmósferas y no puede ser retenido por el suelo; a este tipo de agua se le llama agua gravitacional. Los instrumentos que miden adecuadamente este tipo de humedad en condiciones de campo son los tensiómetros.

2.3.2. CAPACIDAD DE CAMPO (CC)

OLARTE (2002). Define, llamada también capacidad normal de campo, se dice que un suelo se encuentra a capacidad de campo, cuando el suelo retiene la máxima cantidad de agua que le permita sus microporos y cuando se ha recompuesto el aire en los macroporos. Es decir, después que ha cesado el drenaje libre de agua. De esta manera se puede afirmar que la capacidad de campo se constituye en el estado más favorable de humedad para el crecimiento de las plantas y a donde debe llegarse con el riego.

VÁSQUEZ y CHANG (1992). Define, a capacidad de campo como la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje, y que se alcanza según la textura del suelo entre 12 y 72 horas después de un riego pesado. Los instrumentos, que miden de mejor manera este tipo de humedad en campo son los hidrómetros de bloques de yeso.

Los suelos arenosos drenan desde saturación hasta capacidad de campo en forma muy rápida, algunas veces hasta un día; los suelos arcillosos drenan mas lentamente pudiendo pasar hasta tres o cuatro días para llegar hasta capacidad de campo.

BENITES (2001). Es el máximo contenido de humedad del suelo, que la planta puede aprovechar para su crecimiento, suponiendo que el resto drena demasiado rápido para ser aprovechada.

$$%W = He = \frac{Wh - Ws}{Ws}$$

$$Cc = 0.865He + 0.62 \quad \text{Para suelos pesados}$$

$$Cc = 0.774He + 4.41 \quad \text{Para suelos ligeros}$$

SEGURA (1998). Se define como cantidad de agua que en suelo bien drenado retiene en el campo después de una lluvia o riego abundante, cuando se evite las perdidas por el Evapotranspiración, en el momento en que el flujo descendente de agua cesa o se hace

despreciable. El tiempo que se considera en que el drenaje se hace despreciable se ha fijado arbitrariamente en 48 horas, oscilando entre 24 horas en suelos arenosos y 72 horas en suelos arcillosos. El contenido de humedad corresponde a un valor del potencial matricial que oscila entre $1/3$ y $1/10$ de atmósfera. La definición de CC contiene varias imprecisiones. Esta pensada para condiciones de campo y exige que el drenaje sea relativamente rápido. La CC determina el límite superior de agua retenida en el suelo que es susceptible de ser asimilada por las plantas. Esta idea tampoco es del todo acertada, ya sobre todo en suelos arcillosos en los que el drenaje puede durar varios días.

DOORENBOS y PRUIT (1979). Cantidad de agua que se retiene el suelo después de un riego amplio o de unas fuertes lluvias cuando el ritmo de movimiento descendentes ha disminuido sensiblemente, normalmente de uno a tres días, después del riego o de la lluvia; llamada también capacidad efectiva de retención de agua o contenido e humedad del suelo con una tensión de humedad del suelo de 0.2 a 0.3 atmósferas. En porcentajes ponderados o de volumen.

2.3.3. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP)

VASQUEZ y CHANG (1992). Define, es el punto en el cual la vegetación manifiesta síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación, debido a un flujo retardado de agua del suelo hacia la planta y que en promedio corresponde a un estado energético de 15 bares.

OLARTE (2002). Dice, que un suelo se encuentra en el punto de marchitez permanente, cuando retiene una mínima cantidad de agua, pero que ya no puede ser aprovechada por las raíces, lo cual ocasiona un marchitamiento irreversible de las hojas y consecuentemente la muerte de la planta.

DOORENBOS y PRUIT (1979). Contenido de humedad del suelo por debajo del cual la planta no puede tomar efectivamente agua del suelo; agua contenida en el suelo con una tensión de humedad del suelo de 16 atmósferas; la humedad disponible en el suelo es nula.

BENITES (2001). Es el límite inferior del contenido de humedad del suelo. A medida que la planta toma agua del suelo, el contenido de humedad disminuye hasta un punto en que por más esfuerzo de succión que realice la planta no logra tomar agua del suelo, las hojas de planta se marchitan o no son capaces de recuperarse cuando se les vuelve a proporcionar agua con el riego.

$$Pmp = \frac{He}{1.84}$$

2.3.4. HUMEDAD APROVECHABLE TOTAL (HAT)

OLARTE (2002). Es la diferencia que existe el contenido de humedad del suelo a Capacidad de campo (Cc) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP).

La expresión matemática de la humedad aprovechable total del suelo se da por la relación:

$$HAT = \left(\frac{Cc - PMP}{100} \right) * Pr$$

Donde:

HAT = Humedad aprovechable total (Cm)

Cc = Capacidad de Campo (Vol %)

PMP = Punto de Marchitez Permanente (Vol %).

Pr = Profundidad de raíces (Cm)

BENITES (2001). Es importante determinar cual es la lámina de agua que debe aplicar al suelo, para conseguir que este se encuentre a capacidad de campo y la planta pueda aprovecharla fácilmente.

2.3.5. AGUA FÁCILMENTE APROVECHABLE O UTILIZABLE (AFU)

FUENTES (1998). Indica, es aquella fracción del agua, disponible que los cultivos pueden utilizar sin que disminuya su rendimiento máximo.

El agua fácilmente disponible depende de los factores siguientes:

EL CULTIVO; Algunos cultivos necesitan que el suelo esté constantemente bastante húmedo, mientras que otros pueden agotar mucho más el agua total disponible sin que disminuyan sus rendimientos. Entre los primeros están aquellos cultivos que se aprovechan en forma fresca o carnosa, como hortalizas, forrajes, etc. Entre los segundos están aquellos otros cuya cosecha se aprovecha de forma seca, como los cereales, para grano, semillas oleaginosas, algodón, etc.

EL TIPO DE SUELO; las plantas absorben el agua con más facilidad en los suelos de textura gruesa que en los suelos de textura fina. Los suelos salinos retienen, a veces, el agua con tanta fuerza que las plantas no la pueden tomar y se marchitan aunque el suelo esté próximo a la capacidad de campo.

LA MAGNITUD DE TRANSPIRACIÓN; En igualdad de otras circunstancias, las plantas absorben el agua con menos facilidad a medida que aumenta la transpiración.

Figura 01: Esquema de las fases del agua en el suelo y de su utilización por las plantas.



Fuente: Fuentes, J.L. (1998).

En términos generales, y a falta de otros datos, se puede considerar que el agua fácilmente disponible representa los 2/3 del agua disponible en caso de cultivos poco sensibles y con una transpiración baja. En caso de cultivos sensibles y en condiciones de transpiración alta, el agua fácilmente disponible representa de 1/2 a 1/3 del agua disponible.

La expresión matemática se representa de la siguiente forma:

$$Ln = f * \frac{(Cc - PMP)}{100} * Pr * Da$$

Donde:

Ln = Lámina neta de riego o lámina de agua a restituir.

f = Fracción de agua aprovechable 1/2 a 2/3 del agua disponible

Cc = Capacidad de Campo (%)

PMP = Punto de Marchites Permanente (%).

Pr = Profundidad de raíces (m)

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cc).

2.3.6. METODOS PARA SU DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE CAMPO

CORAS M, P.M. (2003).

- a) MÉTODOS DIRECTOS: Gravimétrico ó campo parcelario.
- b) MÉTODOS INDIRECTOS Ó DE LABORATORIO: Método de olla de presión, humedad equivalente, textura, nomograma, probeta.

OLARTE (2002). De acuerdo a la definición de capacidad de campo, resulta dificultoso medir con precisión este importante valor con fines de riego. Este hecho se debe principalmente a que resulta incierto conocer en qué momento el agua deja de drenar para asumir su medida en este instante. Esta razón, ha obligado a adoptar métodos indirectos que se puedan calcular estos valores, de un modo aproximado, a partir de otros datos analíticos más fáciles de obtener, tales como la composición de la textura entre las fórmulas más utilizadas estas las siguientes:

$$Cc = 0.48Ac + 0.162Li + 0.023Ar + 2.62 \quad \text{Fórmula de Peele.}$$

Cc = Humedad a Capacidad de Campo, expresada en tanto por ciento.

Ac = Contenido de arcilla (%)

Li = Contenido de limo (%)

Ar = Contenido de arcilla (%).

En 1948, Peele, Beale y Lesesne, al relacionar la capacidad de campo y la humedad equivalente, encontraron la siguiente ecuación de regresión.

$$Cc = 0.865 He + 2.62.$$

He = humedad equivalente.

2.2.7. METODOS PARA DETERMINAR PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP)

CORAS M, P.M. (2003). Dice, Tenemos los siguientes:

Método de la planta indicadora.

Método de la membrana de presión.

Método de la humedad equivalente.

Método de la probeta.

OLARTE (2002). Existen ecuaciones empíricas que permiten su cálculo en función de la humedad equivalente, como es el caso de la ecuación propuesta por Briggs y Shantz en 1962.

$$PMP = \frac{He}{1.84} * 100$$

He = humedad equivalente

$$PMP = 0.302 Ac + 0.102 Li + 0.0147 Ar \quad (\text{fórmula de Briggs})$$

PMP = Punto de Marchitez Permanente (%).

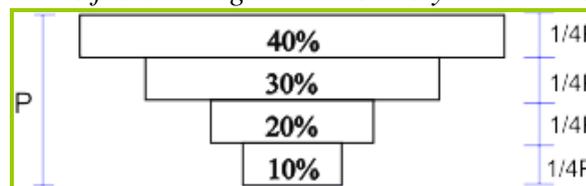
Ar, Li, Ac = Contenido de Arena, Limo, Arcilla, (%).

2.4. PROFUNDIDAD DE RAICES

VASQUEZ y CHANG (1992). Todo cultivo tiene un determinado patrón de distribución de raíces, el mismo que varía según la edad, las condiciones de humedad a las que han sido sometidos durante su período vegetativo la naturaleza física del suelo y las características intrínsecas del perfil del suelo.

Las características físicas y en especial la textura y el nivel de humedad del suelo, tiene una gran influencia en la profundidad de enraizamiento. En forma general se puede decir que los suelos de textura gruesa permiten una mayor profundidad de las raíces, frente a los suelos de textura fina, lo cual está en íntima relación con las capacidades diferentes de retención de agua de dichos suelos.

Figura 02: Esquema de las fases del agua en el suelo y de su utilización por las plantas.



Patrón de absorción de agua del suelo.

2.5. NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS

VASQUES (1990). La evapotranspiración es uno de los factores que interviene en el balance hidrológico, ya sea en este se analice en una cuenca, región o proyecto; siendo este último el realmente interesa para efectos del calculo de la demanda de agua de los cultivos. La evapotranspiración es un proceso que resulta del efecto combinado de la evaporación del agua de un suelo húmedo y la transpiración del cultivo en activo estado de crecimiento.

2.5.1. EVAPORACIÓN

MONSALVE (1999). Define la evaporación como un proceso por la cual el agua líquida pasa al estado de vapor en condiciones naturales. Que simultáneamente con el escape de partículas de agua hacia la atmósfera se da en fenómeno inverso partículas de agua en la fase gaseosa que existen en la atmósfera chocan con la superficie de separación entre estado líquido y gaseoso y son capturados por el cuerpo de agua evaporante.

La evaporación se mantiene hasta alcanzar un estado de equilibrio que corresponde a la saturación del aire en vapor de agua; el número de partículas que escapan del cuerpo evaporante es igual al número de partículas de agua en la fase gaseosa que son capturados por el cuerpo en el mismo intervalo de tiempo.

REYES (1992). Es el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor mediante un proceso específicamente físico, la velocidad de evaporación es función del estado de la atmósfera de las vecindades de la superficie evaporante (agua, nieve, hielo, etc.) que estos están en función de muchos factores.

2.5.1.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EVAPORACIÓN

- La humedad relativa: La relación es inversa, entre mayor sea el contenido de vapor en la atmósfera menor será la evaporación.
- Temperatura del aire: Al aumentar la temperatura aumenta la evaporación, debido a que se aumenta la capacidad de la masa de aire de almacenar vapor de agua.
- Viento: El viento lo que hace remover las masas de vapor de agua, aumentando el déficit de vapor del aire o la demanda evaporativa.
- Radiación solar: es la fuente energía del proceso, ya que es la que calienta el agua provocando el paso de la forma líquida a la forma de vapor.
- Presión atmosférica: su efecto solo es apreciable cuando hay grandes diferencias en altitud, tanto menor sea la presión atmosférica mayor será la evaporación.
- Salinidad de agua: es inversamente proporcional a la salinidad del agua.

2.5.1.2. CALCULOS DE LA EVAPORACIÓN: METODOS DIRECTOS

a) **El tanque de evaporación tipo A:** dentro de los métodos directos mas empleados en el mundo, está el tanque de evaporación tipo A, que consiste en la medida de la evaporación partiendo de una superficie de agua, ésta se hace estableciendo la medida de la disminución de una superficie de agua a partir de una superficie evaporante en milímetros (mm). El agua evaporada en un periodo es:

$$EV = Li - Lf + P + A - R$$

Donde:

EV	=	Evaporación en el periodo
Li	=	Lectura ala inicio del periodo en el micrómetro
Lf	=	Lectura al final del periodo en el micrómetro
P	=	Precipitación en el periodo
A	=	Abastecimiento de agua en ele periodo
R	=	Retiro de agua en el periodo

b) **Lisímetros instalados en un suelo libre de vegetación:** también se puede conocer a partir de lisímetros instalados en suelo desnudo, el lisímetro es una caja de fibra de vidrio o lámina galvanizada la cuál contiene el suelo “in situ”. La muestra de suelo recibe las precipitaciones, las agua excedentes o de drenaje son medidas en su salida, por lo tanto las pérdidas por evaporación pueden ser conocidas a través del balance hídrico del sistema.

$$D = P - Q + \Delta R$$

Donde:

D	=	Evaporación o déficit de escurrimiento en el periodo
P	=	Precipitación en el periodo
Q	=	Excedentes o escurrimiento en el periodo
ΔR	=	Variación de la cantidad de agua en el lisímetro en el periodo

2.5.1.3. CALCULOS DE LA EVAPORACIÓN: MÉTODOS INDIRECTOS

La evaporación se puede estimar a partir de algunas ecuaciones, que involucran algunos de los elementos del clima o variables meteorológicas.

CASTAÑEDA (1999). Presenta las siguientes ecuaciones empleados para estimar la evaporación.

a) Fórmula de Rohwer

$$EV = 0.484[1 - 0.000376] * \{[1 + 0.6 * V][Ea - Ed]\}$$

Donde:

- EV = Evaporación en mm por día
 P = Presión atmósfera medida en el sitio en mb
 Ea = Tensión de vapor a saturación a la temperatura del agua en mb
 Ed = Tensión de vapor actual en mb
 V = Velocidad del viento en ms-1

b) Fórmula de la ORSTOM de Francia

$$EV = 0.358\{[1 + 0.580 * V][Ea - Ed]\}$$

Donde:

- EV = Evaporación en mm por día
 V = Velocidad del viento en ms-1
 Ea = Tensión de vapor a saturación a la temperatura del agua en mb
 Ed = Tensión de vapor actual en mb

2.5.2. TRANSPIRACIÓN

FUENTES (1998). Menciona que las plantas por la raíz toma la sustancias orgánicas elaborada y transformándose en savia elaborada, el agua sobrante de la savia bruta sale al exterior en forma de vapor de agua, este proceso de climatológico de agua sobrante en forma de vapor recibe el nombre de transpiración y se produce a través de unos orificios, llamados estomas situados en las hojas.

2.5.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TRANSPIRACIÓN:

- A intensidad de luz.- el proceso de la fotosíntesis con la energía solar mayor luz mayor fotosíntesis.
- El calor y el viento.- favorecen a la evaporación la salida de agua de las plantas en forma de vapor.
- El grado de humedad del aire.- con atmósfera aumenta la transpiración por que se favorece la evaporación de agua.

- La cantidad de agua contenida en la planta.- esto se presenta cuando la planta sufre escasez de agua.

SERRUTO (1987). Es el proceso por el cual el vapor de agua se desprende de las plantas vivas, principalmente de las hojas, y pasa a la atmósfera. Cuando el agua se transforma en vapor y vuelve a la atmósfera procedente de las plantas, son necesarias 540 calorías para transformar 1cm³ de líquido en vapor.

MONSALVE (1999). Define que es la pérdida de agua hacia la atmósfera en forma de vapor, dependiente de los acciones físicas y fisiológicas de los vegetales a través de las (estomas) a esto se le define como fenómenos de evaporación.

2.5.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

PARDO (2001). Definen, la evapotranspiración es el proceso combinado, que incluye la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo en donde se encuentra el cultivo.

SERRUTO (1987). Dice; El concepto de evapotranspiración, que involucra los fenómenos de evaporación y transpiración de manera conjunta ha sido introducido debido a la dificultad separar que hay para con precisión los dos valores y por la conveniencia de usar este concepto que representa al consumo de agua en una plantación dada.

La evapotranspiración es la pérdida de agua por la planta, fundamentalmente a través del sistema foliar. El agua es captada del suelo a través del sistema radicular y circula por la estructura de la planta hasta salir al exterior. No se debe confundir con el agua que cae al follaje por intercepción y vuelve a la atmósfera por evaporación.

FUENTES (1998). Menciona que a medida que la planta crece y se desarrolla aumenta el numero de hojas con la cual se hace intensa la transpiración y aumenta las necesidades de agua para aumentar su capacidad de absorción de agua la profundiza y extiende sus raíces.

BENITES (1999). La define como la cantidad de agua requerida para su normal desarrollo que depende de varios factores entre ellos el climático.

CASTELLVI (1996). Se establece la relación siguiente:

$$ET = E_v + Tr$$

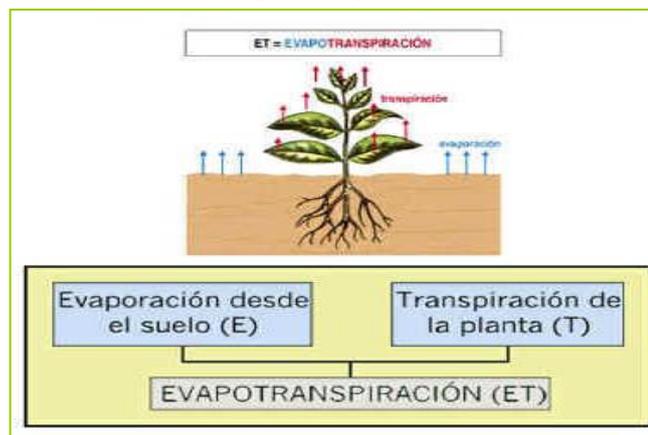
Donde:

ET = Evapotranspiración

Ev = Evaporación de agua del suelo

Tr = Evaporación de agua absorbida por las plantas, las unidades se expresan en (mm) ó m³/ha, (1mm equivale a 10 m³/ha).

Figura 03: *Evapotranspiración del Cultivo.*



2.5.3.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE UN CULTIVO

PARDO (2001). Los factores que afectan a la evapotranspiración, se podrían agrupar en:

- a) Factores Climáticos ó meteorológicos.
 - b) Factores que influyen en la transpiración de la planta.
 - c) Factores en la planta.
 - d) Factores edáficos.
- a) **FACTORES CLIMÁTICOS Ó METEOROLÓGICOS:** La cantidad de radiación solar que recibe una cubierta vegetal o que alcanza la superficie del suelo, la velocidad de viento, la temperatura del aire y de la superficie, precipitación y el contenido de vapor de agua de la atmósfera son las principales variables meteorológicas que condicionan la ET.
- b) **FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TRANSPIRACIÓN DE LA PLANTA.**
- **LUZ.-** Influye en la transpiración de dos modos: Por su influencia indirecta en la apertura de las estomas y por su acción directa sobre la elevación de la temperatura en la hoja. La elevación de la temperatura en la hoja provoca que exista una mayor presión de vapor en la misma por lo cual la transpiración es mayor.

- HUMEDAD RELATIVA.- La intensidad de transpiración depende de la diferencia que existe entre la presión de vapor de agua del interior de las hojas y de la atmósfera, cuando mas pronunciada sea la gradiente, mayor será la pérdida de agua a través de los estomas y viceversa.
- TEMPERATURA.- Un aumento de la temperatura de las hojas provoca un aumento en la presión de vapor. Esto implica por qué una hoja calentada por absorción de radiación solar puede seguir transpirando, aún cuando el aire tenga una HR de 100%.
- VIENTO.- El viento ocasiona una remoción constante de las capas de aire saturadas de vapor de agua, contribuyendo de esta manera a una mayor transpiración. Generalmente la brisa es más eficiente que un viento fuerte para aumentar la transpiración; un viento fuerte produce un cierre de las estomas.
- PRESIÓN ATMOSFÉRICA.- Se debe al peso de la capa de aire que rodea a la tierra. Cuando la presión atmosférica es baja (mayor altitud sobre el nivel del mar) existe menor resistencia a la transpiración. En cambio cuando la presión atmosférica es elevada (menor altitud sobre el nivel del mar) existe mayor resistencia a la transpiración.

c) FACTORES DE LA PLANTA

- El tipo de cubierta vegetal (aspecto morfológico, albedo de las hojas, el tamaño y disposición de las mismas) y la altura de la cubierta va ha condicionar la cantidad de energía absorbida y su transferencia o disipación.
- La “Relación Transpiratoria”, se refiere a la relación que existe entre la cantidad total de agua perdida y la cantidad total de materia seca producida por la planta durante su período vegetativo.

d) FACTORES EDÁFICOS

- El contenido de agua y su disponibilidad para las plantas (textura, estructura y otras características edáficas que condicionan el flujo de agua en el suelo), el régimen térmico y el albedo. Por otra parte, la aplicación de fertilizantes al suelo, reduce la necesidad de agua debido al mayor crecimiento de las plantas; por tanto la relación transpiratoria es menor en las plantas mejor alimentados.

1.- Generalmente estos factores están inmersos en el entorno geográfico del regadío, es decir, en relación con el tamaño y forma de la parcela.

- 2.- Con frecuencia las zonas de regadío forman superficies más o menos aisladas entre sí, rodeadas de áreas de secano más extensas. Esto por lo general provoca fenómenos de advección que se dirigen sobre la zona regada, teniendo una influencia sobre la ET, para lo cual se requieren de factores de corrección relacionados con el tamaño de la parcela.
- 3.- El grado de cobertura del terreno, por la vegetación y la energía con que esta disponible el agua en el suelo, limitan la evapotranspiración, por ello, es importante distinguir y definir los términos siguientes:

Cabe distinguir dos formas de evapotranspiración:

- Evapotranspiración potencial o referencia
- Evapotranspiración real o actual.

2.5.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL O REFERENCIA (ET_0)

BENITES (2001). Es la transmisión del agua a la atmósfera (que se toma como referencia), producida cuando el suelo está cubierto con un cultivo que abarque totalmente el área, con agua disponible en condiciones óptimas, bajo condiciones meteorológicas existentes. Generalmente se toma una pradera no alta (pasto) como cultivo estándar.

Esta evapotranspiración sirve como referencia para la evaluación del consumo de agua por las plantas.

Figura 04: Representación de la Evapotranspiración de referencia.



Fuente: Manual 56 de la FAO

FUENTES (1998). Definen, a la evapotranspiración potencial, la cantidad de agua consumida, durante un determinado período de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua.

FAO (2006). Los únicos factores que afectan la evapotranspiración de referencia son los elementos climáticos. Por lo tanto la ETo es también un elemento climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.

MONSALVE (1999). Define como la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, por evaporación y por transpiración de las plantas, que ocurriría en el caso que hubiera un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo en todo momento. En donde la tasa de evaporación se mide por unidad de área.

Para la determinación de estos fenómenos se utiliza métodos de estimación:

a. Métodos de Estimación:

Método aerodinámico

Método de balance de energético

Método de Penman

Método de Thomtwaite

b. Métodos de Medida:

Aparatos (evaporímetro ordinario tanque tipo “A”

Atmómetros

Método de balance hídrico.

VASQUEZ y CHIANG (1992). Es la cantidad de agua evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño corto (generalmente pastos), que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua.

Existen varios métodos para determinar la evapotranspiración potencial. Los más comunes son los siguientes:

- Por muestreo de humedad del suelo
- Lisímetros
- Tanque de evaporación
- Balance de agua
- Balance de energía y
- Métodos o formulas empíricas (Penman, Hargreaves, Blaney-criddle, Radiación, Christiansen y Jensen-Haise).

2.5.4.1. MÉTODO DE LISÍMETRO

GOYAL y GONZÁLES (1990). Las condiciones del suelo dentro del lisímetro deben ser esencialmente iguales a aquellos fuera del mismo. El lisímetro debe estar rodeado por el mismo tipo de cultivo que este plantado en él, localizado dentro del cultivo. Los lisímetros pueden ser agrupados dentro de tres categorías:

- a. lisímetros de nivel freático constante
- b. lisímetros de pesaje
- c. lisímetros de drenaje o percolación.

La relación de balance hídrico que se aplica en lisímetros es la siguiente:

$$Precipitaciones + Riego = ETo + Infiltración + \Delta Almacenamiento$$

Para calcular Δ almacenamiento. Normalmente se mide la humedad del suelo y a partir de ahí se calcula para convertir esa humedad en una lámina de agua equivalente expresada en mm.

Mediante riego, el método es más simple, debido a que se debe mantener el suelo en condiciones de humedad óptima y el cálculo ahora sería despejando ETP de la ecuación siguiente:

$$RIEGO = ETP + INFILTRACIÓN$$

Entonces:

$$ETP = Riego - Infiltración$$

No hay Δ almacenamiento, puesto que dicho almacenamiento está siempre completo y consideramos que tampoco hay precipitación. Un lisímetro es difícilmente representativo de toda la región; en ocasiones se establece el balance hídrico en una parcela experimental, en la que se miden precipitaciones, escorrentía superficial, variaciones de la humedad en el suelo, etc. Para despejar finalmente la ET. Sería un procedimiento más exacto, pero más costoso y complicado.

Balance aplicado a lisímetros de drenaje:

$$ETc = P + I - D$$

En caso de zonas áridas si precipitación:

$$ETc = R - D$$

Balance aplicado a lisímetros de pesada:

$$ETR = P + R - D \pm \Delta\theta$$

Donde:

P = Precipitación

- R = Riego
D = Drenaje
 $\Delta\theta$ = Intercambio de humedad del suelo.

VASQUEZ y CHIANG (1992). El método de lisímetro es la forma directa y exacta de medir la evapotranspiración potencial, consistente en registrar a partir de un aparato llamado lisímetro la evapotranspiración observa durante un periodo de tiempo determinado.

En el interior del lisímetro se encuentra cultivo patrón o pasto que es materia de análisis de la cantidad de agua evaporada o transpirada. Este método generalmente se usa en trabajos de investigación y es poco empleado en estudios requerimiento de agua de los cultivos de proyecto de irrigación. Existen dos tipos de lisímetro de balance y de pesada.

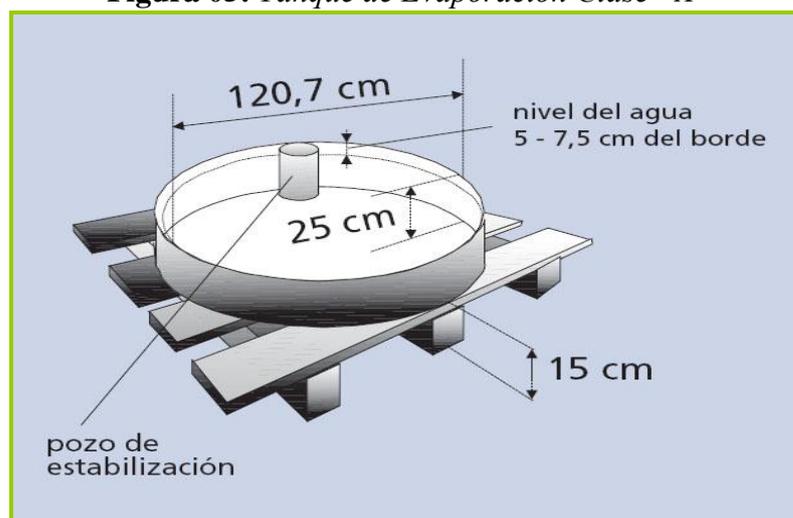
2.5.4.2. METODO DEL TANQUE DE EVAPORACIÓN CLASE “A”

FAO (2006). El tanque clase A es circular, 120.7 cm. de diámetros y 25 cm. de profundidad. Esta constituida de hierro galvanizado o de laminas de metal (0.8 mm). El tanque se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm. Por encima del nivel del suelo.

Una vez instalado, El tanque se llena con agua hasta 5 cm. Por debajo del borde y nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7.5 cm. Por debajo del borde El agua debe ser regularmente cambiada, al menos semanalmente, para eliminar la turbidez. Si el tanque es galvanizado, debe ser pintado anualmente con pintura de aluminio. Las mallas sobre los tanques deben evitarse. Los tanques deben ser protegidos con mallas de seguridad para evitar el acceso de los animales.

El lugar de instalación debe estar cubierto perfectamente con pasto, en un área de 20 por 20m, abierto a todos los lados para permitir la circulación del aire. Es preferible que la estación se encuentre situada en el centro o dentro de grandes campos cultivados.

Las lecturas del tanque se realizan diariamente temprano en la mañana a la misma hora que se mide la precipitación. Las mediciones se realizan dentro de un área estable situada cerca del borde del tanque. El área estable la produce comúnmente un cilindro de metal de cerca de 10 cm de diámetro y 20 cm de profundidad con una pequeña abertura en la base para permitir el flujo de agua.

Figura 05: *Tanque de Evaporación Clase “A”*

Fuente: Manual 56 FAO (2006)

DOORENBOS Y PRUITT (1979). Los evaporímetros de cubeta permiten medir los efectos integrados de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad en función de la evaporación de una superficie de agua libre. De un modo análogo, la planta responde a las mismas variables climáticas, pero diversos factores importantes pueden introducir cambios significativos en la pérdida de agua. La capacidad de reflexión de la radiación que tiene una superficie de agua es tan solo de un 5 – 8%, al paso que la de la mayoría de las superficies vegetales es de un 20 – 25% de la radiación solar recibida. El almacenamiento diurno de calor en la cubeta puede ser apreciable y provocar una distribución casi igual de la evaporación entre el día y la noche, al paso que la mayoría de los cultivos pierden un 95% ó más de la que corresponden a las 24 horas durante las horas diurnas. Asimismo, una gran diferencia entre las pérdidas de agua de las cubetas y de los cultivos puede deberse a la variación de la turbulencia del aire justo encima de esas superficies y a la temperatura y humedad del aire inmediatamente adyacente a ellas.

AVIDAN (1994). El tanque evaporímetro clase A permite estimar los efectos integrados del clima en función de la evaporación de una superficie de agua libre de dimensiones

estándar. Existe una estrecha relación entre los procesos de evapotranspiración del cultivo, (Etc) la evaporación del tanque clase A (E_o).

La E_{to} se estima de acuerdo a la siguiente fórmula de la FAO

$$E_{To}(\text{mm/día}) = E_o(\text{mm/día}) / K_p$$

- E_{to} = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)
 E_o = Evaporación media diaria del tanque evaporímetro (mm/día)
 K_{tan} = Coeficiente del tanque evaporímetro clase A.

VASQUEZ y CHIANG (1992). Este método consiste en encontrar una relación entre la tasa de evapotranspiración producida en lisímetro, y la tasa de evaporación producida en un tanque de evaporación clase "A", en base al cual determina un coeficiente empírico con el que puede afectar luego las lecturas de evaporación obtener indirectamente la evapotranspiración potencial para condiciones ambientales específicas. La relación es la siguiente:

$$ETP = f_t * E_o$$

Donde:

- ETP = Evapotranspiración potencial, (mm/día).
 f_t = Coeficiente empírico, válido para las condiciones ambientales del tanque.
 E_o = Evaporación libre de tanque clase "A", (mm/día).

Este método es uno de los más eficientes y exactos, después del método anterior, siempre que se cumpla con todas las condiciones que se requiere para su instalación. Además, es un método sumamente práctico.

2.5.4.3. METODO DE PENMAN MONTEIHT (FAO, 2006)

FAO (2006). Un panel de expertos e investigadores en riego fue organizado por la FAO en mayo de 1990, en colaboración con la Comisión Internacional para el Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, con el fin de revisar las metodologías previamente propuestas por la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y para elaborar recomendaciones sobre la revisión y la actualización de procedimientos a este respecto.

El panel de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como nuevo método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración de la referencia y aconsejó sobre los procedimientos para el cálculo de los varios parámetros que la

fórmula incluye. El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El método reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos.

El método de FAO Penman-Monteith para estimar ETo, puede ser derivado (Recuadro 6) de la ecuación original de Penman-Monteith (Ecuación 3) y las ecuaciones de la resistencia aerodinámica (Ecuación 4) y superficial (Ecuación 5):

$$E T_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde:

- ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día).
 Rn = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día).
 G = densidad de flujo de calor del suelo (MJ/m²/día).
 T = Temperatura del aire a 2m de altura °C.
 U₂ = Velocidad de viento a 2m de altura (m/s).
 e_a = Presión de vapor saturada (KPa).
 e_s - e_a = Presión de vapor actual (KPa).
 Δ = bajada de la curva de presión de vapor (K Pa/°C).
 γ = Constante psicométrica (KPa/°C).

La evapotranspiración de referencia (ETo) provee un estándar de comparación mediante el cual:

- se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones;
- se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos.

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser

medidos o ser convertidos a 2 m de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua.

2.5.4.4. ESTACIÓN AGROCLIMÁTICA AUTOMÁTICA

La estación agroclimática automática procesa con el método de Penman Monteith recomendado por la FAO, lo cual esta estación registra datos como: Temperatura máxima y mínima (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), radiación solar (watts/m²), finalmente con los variables climatológicas determina la evapotranspiración potencial ó de referencia (E_{To}). Siendo de manejo flexible por lo que nos permite programarla para cualquier hora del día.

Se describe a continuación las partes de estación agroclimática automática según catalogo AUTODEMA:

1. Colector de lluvia.

El colector de lluvia Vantage Pro2 cumple con todos los lineamientos de área de recolección establecidos por la Organización Meteorológica Mundial. Lee cantidades de precipitación en incrementos de 0.01" ó 0.2 mm.

2. Anemómetro.

Incluye sensores de velocidad y dirección del viento. Los robustos componentes resisten vientos con la fuerza de un huracán, pero son sensibles a las brisas más tenues. Probado en un túnel de viento a velocidades superiores a 180 millas por hora (290 km/h).

El anemómetro puede instalarse por separado utilizando un cable de 40 pies (12 m) (incluido).

El conjunto opcional de transmisor para anemómetro le permite montar el anemómetro en un lugar distinto que el colector de lluvia y el resto del módulo de sensores integrados, a una distancia de hasta 1000 pies (300 m) de la consola inalámbrica.

3. Poste de montaje opcional.

Una de varias opciones de instalación. Para conocer más opciones, como el trípode de montaje.

4. Protector de radiación con succión por ventilador, activo las 24 horas.

Los modelos con protector de radiación con succión por ventilador activo las 24 horas contienen placas adicionales de protección contra radiación y un segundo panel solar, que alimenta el ventilador con motor.

5. Sensores de temperatura y humedad.

Localizados dentro del protector contra radiación, que protege a los sensores de la radiación solar y de otras fuentes de calor radiado y reflejado.

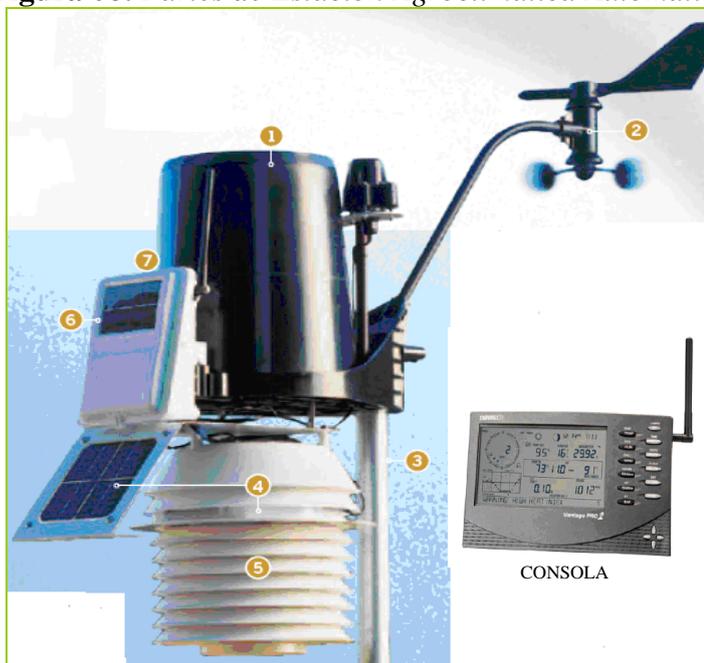
6. Panel solar.

Durante el día, alimenta la estación inalámbrica y carga el supercapacitor para la operación nocturna. Una pila de litio sirve como fuente de respaldo en los nublados días de invierno. (El panel solar no está incluido en la versión con cable.)

7. Tapa resistente a la intemperie.

Protege los componentes electrónicos del módulo de sensores integrados contra los factores climáticos.

Figura 06: *Partes de Estación Agroclimática Automática*



Fuente: *Catalogo AUTODEMA.*

El módulo de sensores transmite datos de manera inalámbrica a la consola Vantage Vue de fácil lectura. Con un alcance de hasta 1000 pies (300 m), los paquetes de datos Vantage Vue se envían cada 2.5 segundos a la consola.

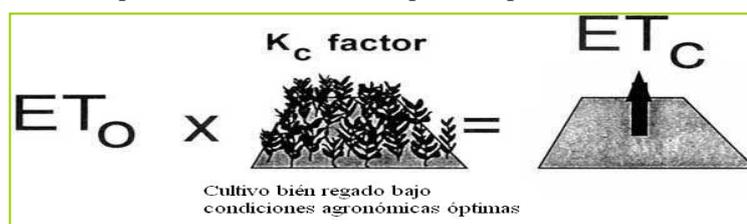
Dado que los transmisores de Vantage Vue son compatibles con Vantage Pro2, puede combinar los componentes.

2.5.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL O ACTUAL. (ET_c)

PARDO (2001). Definen, a la evapotranspiración real, como la cantidad de agua realmente consumida por un determinado cultivo, en condiciones reales del medio o que comúnmente se presentan en la naturaleza, durante el período de tiempo establecido. Considerando que los niveles variables en la humedad del suelo, son influenciados por la etapa de crecimiento, porcentaje de cobertura, altura de la planta y total superficie foliar.

En la formulación de proyectos de riego, uno de los aspectos centrales es la estimación de las demandas hídricas de los cultivos (ET_c), para lo cual usualmente se emplean como criterios para la definición de la demanda los coeficientes de cultivo (K_c) y la evapotranspiración del cultivo de referencia o potencial (ET_o), siendo ambas componentes de la ecuación universal de Christiansen y Hargreaves (1969).

Figura 07: Representación de la evapotranspiración real del cultivo.



Fuente: Manual 56 de la FAO

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

Donde:

K_c = Coeficiente de cultivo.

ET_c = Evapotranspiración del Cultivo o Uso consuntivo (mm).

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm).

La aplicación de esta ecuación, está basada en el balance de agua. Este método involucra el conocimiento de la entrada y salida de agua a una parcela. El componente mas importante es una estimación precisa de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) o uso consuntivo (U_c), ya que permite predecir el volumen de agua que se requiere para obtener una producción óptima de los distintos cultivos, tomando en cuenta las condiciones climáticas, agronómicas y edafológicas que son características de una determinada zona.

La ET_c, por tanto, se puede estimar a través del uso de los parámetros de ET_o y K_c. Cálculo sustentado en la confianza de que tales parámetros realmente son un buen referente para determinar la demanda hídrica de los cultivos.

VASQUEZ y CHANG (1992). Es la tasa de evaporación y transpiración de un cultivo exento de enfermedades, que crece en un cuerpo extenso (1 ó mas hectáreas) en condiciones optimas de suelo, fertilidad y suministro de agua.

La evapotranspiración actual es llamada también Uso Consuntivo. Su cálculo se efectúa mediante la relación:

$$ETA = K * ETP$$

Donde:

ETA = Evapotranspiración real o actual del cultivo considerado, (mm ó cm).

K = Coeficiente que tiene en cuenta el efecto de la relación agua suelo-planta

ETP = Evapotranspiración potencial, (mm ó cm.)

FAO (2006). La evapotranspiración de cultivo bajo condiciones se denomina ET_c y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo en perfectas condiciones agronómicas, bajo optimas condiciones climáticas reinantes.

REYES (1992). Menciona que es la cantidad de agua perdida por el complejo suelo – planta en las condiciones meteorológica, edafológicas (en las que se incluye el contenido de humedad y la fuerza con que esta humedad es contenida), biológicas (en la que se incluye el tipo de cultivo y su fase de crecimiento y desarrollo) existentes.

2.5.5.1. METODOS DE MEDIDA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

BENITES (2001) Considera dos categorías de métodos para estimar la evapotranspiración:

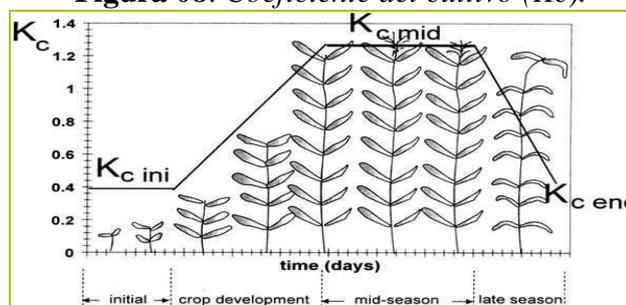
- Métodos Directos: Lisímetros, Gravimétrico, medida del tanque de evaporación.
- Métodos Indirectos: Como los que tienen en cuenta el balance de energía o utilizan la información proporcionada por estaciones meteorológicas estos son: Método de Penman, Blanney y Criddle, Hargreaves, Radiación, CROPWAT (Programa de ordenador para planificar y manejar riego. Basado en Penman Monteith)

2.5.6. COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)

PARDO (2001). Define, el coeficiente de cultivo K_c es un criterio del uso del agua por el cultivo, el cual a su vez es función, entre otros factores, del tipo de cultivo, de las condiciones agroecológicas prevalecientes y de las prácticas culturales específicas. El mismo es obtenido de la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración potencial, cuando ambas se dan en grandes campos y en condiciones de crecimiento óptimos (citado por doorembos y pruit, 1976).

El coeficiente de cultivo es el déficit de humedad máxima del suelo que se puede acumular sin afectar la evapotranspiración; es una características de la planta que cambia con el crecimiento y el desarrollo, densidad y profundidad de su enraizamiento (Winter, 1981).

Figura 08: Coeficiente del cultivo (K_c).



Fuente: Manual 56 de la FAO.

VASQUEZ y CHANG (1992), mencionan que el coeficiente de cultivo es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se requiere evaluar su consumo de agua.

Los factores que afectan los valores de K_c , son principalmente las características del cultivo, fecha de siembra, ritmo de desarrollo del cultivo, duración del periodo vegetativo, condiciones climáticas y la frecuencia de lluvia o riego, especialmente durante la primera fase de crecimiento.

El coeficiente K_c de cada cultivo, tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo, y que son las siguientes:

Fase inicial: Fase 1º.- comprende el periodo de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta o nada por el cultivo. Desde la siembra el 10 % de la cobertura vegetal.

Fase de desarrollo del cultivo: Fase 2º.- comprende desde el final de la fase inicial hasta que se llegue a una cobertura sombreada efectiva completa del orden del 70 a 80 %.

Fase de mediados del periodo (maduración): Fase 3°.- comprende desde que se obtiene la cobertura efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración o caída de hojas.

Fase final del periodo vegetativo (cosecha): Fase 4°.- comprende desde la final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o cosecha.

BENITES (2001). Es un factor que indica el grado de desarrollo de un cultivo y esta relacionado con la cobertura del suelo del mismo, que es la que va a influenciar la evapotranspiración. El coeficiente de cultivo esta afectado por el tipo de cultivo, fecha de siembra, etapa de crecimiento y duración del ciclo vegetativo.

2.5.6.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACIÓN DE K_c

PARDO (2001). Su valor se determina experimentalmente, ya que es un criterio de uso del agua por el cultivo y, a su vez, función de un elevado número de factores, principalmente de las características del cultivo (variedad, altura planta, área foliar, profundidad radicular, etc), las fechas de siembra o plantación, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del ciclo biológico. Dependiendo además de las condiciones climáticas, de la disponibilidad de agua en el suelo, del estado fitosanitario del cultivo, de las técnicas culturales aplicadas y especialmente durante la primera etapa de crecimiento, de la frecuencia de lluvias o del riego.

Cada uno de estos factores puede influir en gran medida positiva o negativamente, dependiendo sobre todo de su manejo.

Los valores de K_c aumentan a medida que lo hacen el índice de área foliar y el suelo se va cubriendo, alcanzando valores máximos de 1.0 a 1.25 cuando la cobertura del suelo es de 60 – 80%. Junto a senescencia foliar del cultivo y los valores de K_c decrecen hasta alcanzar cifras de 0.25 a 0.30, cuando apenas quedan hojas.

2.6. RELACIONES ENTRE AGUA – SUELO-PLANTA

2.6.1. RELACIONES SUELO-AGUA

PIZARRO (1996). Hace mención que el suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas y es el medio en que se almacena el agua y el oxígeno que absorben las raíces; la

fracción coloidal interviene en los fenómenos de intercambio de cationes y constituye un depósito de nutrientes. Además, el suelo contiene una población microbiana y pequeños animales como insectos, nematodos, etc. Cuya actividad afecta a las propiedades físicas y químicas del suelo. De todas esas funciones, las que más interesan a efectos de riesgos son, naturalmente las relaciones de suelo – agua.

2.6.2. RELACIONES AGUA – PLANTA

PIZARRO (1996). Indica el agua es el principal componente de las plantas, en algunos de cuyos órganos representa más el 90% en peso. Actúa como disolventes y medio de transporte de gases, minerales y otras sustancias esenciales para la vida vegetal y es así mismo un reactivo de procesos fundamentales, como la fotosíntesis. Pero desde el punto de vista de la tecnología de riego lo que interesa es conocer el movimiento del agua en el sistema suelo – planta – atmósfera y sobre todo dos cuestiones prácticas: el movimiento óptimo de riego y las necesidades hídricas de los cultivos.

2.7. NECESIDADES NETAS DE AGUA DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

FUENTES (1998). Manifiesta que a medida que la planta crece y se desarrolla aumenta el número de hojas con la cual se hace intensa la transpiración y aumentan las necesidades de agua, para aumentar su capacidad de absorción de agua.

La demanda de agua aumenta progresivamente a medida que la planta va creciendo y desarrollándose, hasta llegar un momento en las necesidades son máximas un periodo de máxima de consumo de agua se llama periodo crítico durante este periodo las necesidades son más frecuentes, de tal modo que si no absorbe todo el agua precisa durante una campaña de cultivo.

BENITES (1999). Manifiesta que la cantidad de agua requerida para su normal desarrollo, que depende de varios factores entre ellos clima que establece por medio de la evapotranspiración de referencia (E_{To}) y evapotranspiración real (E_{Tr}).

<http://www.sira-arequipa.org.pe>. Menciona que la demanda de agua con los parámetros definidos anteriormente, el balance hídrico mensual será:

$$D_a = E_{To} * K_c - (P_e + \text{Agua aportada})$$

El **agua aportada** considera los excedentes de la precipitación durante las épocas de lluvia, que quedan almacenados en el suelo y que posteriormente pueden ser aprovechados por los cultivos pero, para efectos de planificación de proyectos de riego, se considera cero dado que el objetivo es conocer la demanda de agua total del proyecto.

Por lo tanto la demanda de agua será:

$$Da = ETo * Kc - Pe$$

Debido que $ETc = ETo * Kc$, reemplazamos en la formula anterior y para calcular la demanda de agua del cultivo la ecuación general es la siguiente:

$$Da = ETc - Pe$$

Donde:

Da = Demanda de agua (mm/día, mm/mes)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día, mm/mes)

Pe = Precipitación efectiva (mm/día, mm/mes)

2.8. NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO BRUTA Ó TOTAL DE LOS CULTIVOS

VASQUEZ y CHANG (1992). En la planificación de proyectos de riego de importancia definir el COMO, CUÁNTO Y CUÁNDO proporcionar la cantidad de agua de riego a la planta.

La respuesta a la primera pregunta esta relacionada directamente con la infraestructura de riego del proyecto: obras de captación, conducción, distribución, medición y el método de aplicación misma del agua de riego al cultivo.

Con respecto a la interrogante CUÁNTO, ésta se refiere a la cantidad de agua que se debe captar de la fuente de abastecimiento del proyecto. Para su cálculo se tiene en cuenta la eficiencia de operación de la infraestructura de riego y la eficiencia de aplicación del agua a los cultivos, la que a su vez está estrechamente ligada a la potencialidad de los recursos humanos y técnicas disponibles para el manejo del agua de riego.

La pregunta CUÁNDO aplicar el agua de riego es equivalente a la frecuencia de riego y su respuesta está condicionada a las características hídricas del suelo, al uso consuntivo de las plantas y la profundidad de su sistema radicular.

Para el cálculo de la demanda de agua de un proyecto, se debe tener en cuenta todas las pérdidas resultantes del sistema de distribución del agua de riego y de la aplicación del agua al cultivo.

La demanda de agua del proyecto (D_p) será igual a la necesidad de riego del cultivo (DA) dividida por la eficiencia de riego del proyecto (Er).

$$D_p = \frac{DA}{Er}$$

DOORENBOS y PRUITT (1979). Las necesidades de riego brutas están directamente relacionados con la eficiencia de aplicación del riego, E_a , que es la fracción del agua aplicada en el riego que se almacena en el suelo y que esta disponible para el cultivo. Se obtendrán eficiencias bajas cuando la profundidad del agua aplicada rebasa la cantidad que puede almacenar la rizosfera en el momento del riego, y las aguas sobrantes se perderán en un avenamiento profundo. Cuando la tasa de aplicación rebasa la tasa de infiltración del suelo, se producirá una considerable escorrentía y pérdidas de salida. Una distribución desigual del agua aplicada provocará pérdidas de avenamiento en un punto y un riego insuficiente en el resto del campo.

Además de las pérdidas evitables debidas a la estructura de los campos y a los fallos de aplicación del agua, hay otras que son inevitables; a saber, la percolación profunda de agua almacenada en el suelo después de alcanzarse la capacidad de saturación, las pérdidas por evaporación en la superficie del suelo y en el caso del riego por aspersion, las pérdidas de evaporación propias de la técnica de rociado. Es difícil obtener una uniformidad completa de la aplicación de agua en todo un campo. Por lo demás, una lluvias repentinas pueden desorganizar los planes previamente determinados de riego y traer consigo un porcentaje de aplicación menor del agua que se almacena en la rizosfera. Así pues, nunca se puede llegar a una eficiencia de riego del cien por cien,

2.9. CALIDAD DE AGUA

VASQUEZ (2000). Menciona la calidad de agua de riego está determinada por la composición y concentración de los diferentes elementos que pueden tener, ya sea en solución o en suspensión. La calidad de agua de riego determina el tipo de cultivo a sembrar y el tipo de manejo que debe dársele al suelo.

Las características que determinan la calidad del agua de riego son:

- La concentración total de sales solubles
- La concentración relativa del sodio.
- La concentración del boro u otros elementos tóxicos
- La concentración total de sólidos en suspensión
- La presencia de semillas de malezas, larvas o huevos de insectos
- La pureza del agua, determinada por la concentración de bicarbonatos.

Concentración Total de Sales Solubles

La concentración total de sales solubles en el agua de riego se expresa en términos de conductividad eléctrica (CE), la misma que puede determinarse en forma rápida y precisa. En forma general, el agua usada en el riego tiene una conductividad eléctrica del agua normalmente menos de 2000 a 2250 $\mu\text{mhos/cm}$. Una conductividad eléctrica del agua de riego menos de 0.750 $\mu\text{mhos/cm}$, considerada como satisfactoria. Agua de riego con una conductividad eléctrica mayor a 2250 $\mu\text{mhos/cm}$ ocasiona una sustancial reducción en los rendimientos de muchos cultivos, salvo que se traten de cultivos tolerantes a las sales, se aplica abundante agua de riego y el drenaje subterráneo de los suelos adecuados.

2.10. BASE TEORICA DEL CULTIVO DE HABA BABY (*Vicia Faba L.*)

2.10.1. ORIGEN

BARBADO (2006). El origen de la planta del haba se encuentra en la zona Mediterránea y Asia central, sin embargo, en la actualidad su cultivo está prácticamente extendido a la totalidad de las zonas donde existen las condiciones climáticas para su desarrollo.

El cultivo de haba baby es oriundo de España, especie *Vicia Faba L.*

2.10.2. UBICACIÓN TAXONOMÍA

http://es.wikipedia.org/wiki/Vicia_faba . La taxonomía y morfológica del cultivo de haba es:

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Rosidae

Orden	:	Fabales
Familia	:	Fabaceae
Sub familia	:	Faboideae
Tribu	:	Fabeae
Genero	:	<i>Vicia</i>
Especie	:	<i>V. faba</i>

2.10.3. DESCRIPCIÓN MORFOLOGICA

Planta: Anual porte recto. De 150 días de período vegetativo para grano seco de porte alto.

Sistema Radicular: Muy desarrollado mínimo 20 cm. a 50 cm. máximo.

Tallos: de coloración verde, fuertes, angulosos y huecos, ramificados, de hasta 1.5 m. de altura. Según el ahijamiento de la planta varía el número de tallos.

Hojas: Alternas, compuestas, paripinnadas, con folíolos anchos ovales – redondeados, de color verde y desprovistas de zarcillos.

Flores: Axilares, agrupadas en racimos cortos de 2 a 8 flores, poseyendo una mancha grande de color negro o violeta en las alas, que raras veces van desprovistas de mancha.

Fruto: Legumbre de longitud variable, pudiendo alcanzar hasta más de 35 cm. El número de granos oscila entre 2 y 9. El color de la semilla es verde amarillento, aunque las hay de otras coloraciones más oscuras.

2.10.4. CLIMA, SUELO, FERTILIZACIÓN Y LABORES CULTURALES

BARBADO (2006). La media mensual óptima es de 15 – 18 °C; la media mensual mínima es de 4.5°C; y la media mensual máxima es de 25 °C. En cuanto al suelo, fertilización y labores culturales, es similar a los de la arveja.

2.10.5. MANEJO INTEGRAL DEL CULTIVO

- PREPARACIÓN DEL TERRENO

BOLETIN TECNICO DEL CULTIVO HABA BABY - AUTODEMA (2007). Es necesario hacer una buena preparación del terreno para permitir una buena aireación del suelo, limpieza de malezas, solarización e incorporación de materia orgánica descompuesta. Se recomienda preparar hileras a 1.5 m. de distancia.

ÑIÑO (2005). Esta labor juega un papel importante en la conducción del cultivo por lo que se recomienda ser minucioso, a fin de garantizar buena germinación de la semilla, buen

enraizamiento, distribución uniforme del agua de riego, prevención del ataque de plagas y enfermedades así como el control y prevención del ataque de malezas.

- SIEMBRA

BOLETIN TECNICO DEL CULTIVO HABA BABY - AUTODEMA (2007). Se recomienda semillas de haba baby, utilizándose 40 Kg. De semilla por hectárea, la que debe ser desinfectada previamente con Metomilo y Benomil. El distanciamiento recomendado es de 40 cm entre plantas al tres bolillo en hileras distanciados a 1.5 m.

BARBADO (2006). La siembra se hace de asiento en otoño. La distancia debe ser de 0.70 - 0.80 por 0.30 - 0.60 entre golpes, en los que se colocan 2 – 3 semillas. La densidad es de 70 – 80 kg/ha.

- COSECHA

BARBADO (2006). A los 100 días de haberse sembrado, se cosecha para grano verde. Para grano seco se cosecha a los 150 días de la siembra.

BOLETIN TECNICO DEL CULTIVO HABA BABY - AUTODEMA (2007). La cosecha se inicia a los tres meses de instalación y se extiende por 1.5 meses aproximadamente. Esta se hace manualmente extrayendo las vainas verdes y tiernas para obtener granos pequeños y tiernos.

- RENDIMIENTO

BOLETIN TECNICO DEL CULTIVO HABA BABY - AUTODEMA (2007). El rendimiento exportable de vainas es de 23 Tm/Há con un periodo vegetativo de 134 días.

2.10.6. PLAGAS Y ENFERMEDADES

BOLETIN TECNICO DEL CULTIVO HABA BABY - AUTODEMA (2007). Las plagas y enfermedades mas frecuentes en la zona son:

- Plagas:

Gusano de Tierra	(Feltia sp. y Agrotis sp)
Mosca Minadora	(Lyriomiza huidobremsis)
Barrenadores de Brotes y Vainas	(Laspeyresia leguminis)
Pulgón	(Myzus persicae)
Trips	(Trips tabaco)

Arañita roja	(Paratetranychus peruvianus)
- <u>Enfermedades</u> : las mas importantes son:	
Chupadera fungosa	(Rhizoctonia solana)
Oidium	(Erisihe poligoni)
Mancha Chocolate	(Botrytis fabae)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL AMBITO DE ESTUDIO

La investigación se encuentra ubicada a 100 Km. al oeste de la ciudad de Arequipa, pertenecientes al Centro de Reconversión Agroganadera de AUTODEMA en la comisión de regantes 3R-B6 Irrigación Majes “Zona Especializada” con los siguientes detalles.

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

Latitud	: 16°20'26'' Sur
Longitud	: 72°13'03'' Oeste
Altitud	: 1400 m.s.n.m.

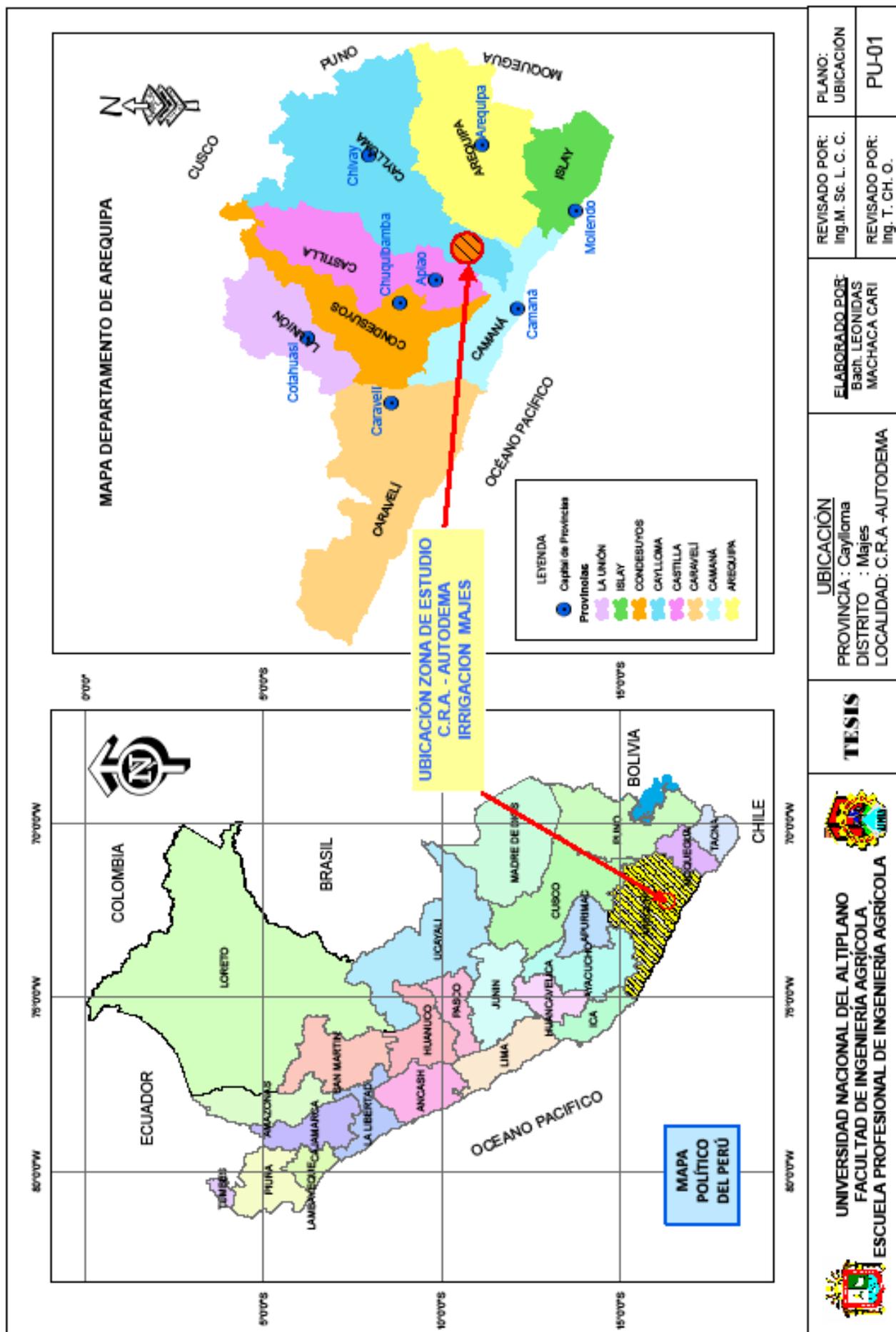
3.1.2. UBICACIÓN POLITICA

Departamento	: Arequipa
Provincia	: Caylloma
Distrito	: Majes
Localidad	: C.R.A. – AUTODEMA Comisión de Regantes 3R-B6.

Figura 09: *Ubicación del Área de Investigación C.R.A. - AUTODEMA*



Fuente: Imagen de Google Earth Obtenidos por el Ejecutor.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		TESIS	UBICACION PROVINCIA : Caylloma DISTRITO : Majes LOCALIDAD : C.R.A.-AUTODEMA	ELABORADO POR: Bacit. LEONIDAS MACHACA CARI	REVISADO POR: Ing. M. Sc. L. C. C.	PLANO: UBICACION
			REVISADO POR: Ing. T. CH. O.	PU-01		

3.1.4. CLIMA

El clima de la Irrigación Majes es característico de la zona semiárida, subtropical, con humedades relativas bajas, temperaturas altas en el día y bajas en la noche, con presencia de precipitaciones casi nula, seca.

Durante el periodo de investigación de las necesidades de agua del cultivo fue en las estaciones de otoño invierno.

a) PRECIPITACIÓN.

La precipitación media en el ámbito de la investigación según la información por AUTODEMA es casi nula Durante la investigación la precipitación es nula.

b) TEMPERATURA.

La temperatura promedio varía desde 9.0°C hasta 25.80°C en la Irrigación de Majes. La estación climatológica esta ubicada a 1440msnm.

c) HUMEDAD RELATIVA.

En la zona de proyecto la humedad relativa promedio varía desde 36.40% hasta 81.30%.

d) VELOCIDAD DE VIENTO.

En la zona de proyecto de investigación la velocidad de viento promedio varía desde 2.4 m/seg hasta 3.0 m/seg.

La información climatológica mensual se muestra en el siguiente cuadro 02.

Cuadro 02: Resumen Climático – Irrigación de Majes

MES	TEMPERATURA DE AIRE °C			HUMEDAD RELATIVA (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	EVAPORACIÓN (mm)
	MAX.	MIN.	PROM.			
Enero - 2011	25.40	13.80	19.60	68.40	2.60	194.00
Febrero - 2011	25.80	14.20	20.00	69.50	2.70	169.00
Marzo - 2011	25.80	14.00	19.90	67.80	2.40	173.00
Abril - 2011	25.40	12.20	18.80	64.70	2.50	152.80
Mayo - 2011	25.00	10.20	17.60	58.20	2.70	145.90
Junio - 2011	25.00	9.30	17.15	51.70	3.00	141.30
Julio - 2011	25.60	9.00	16.70	49.60	2.80	155.40
Agosto - 2011	24.40	9.00	16.70	47.70	2.90	179.30
Septiembre - 2011	25.30	9.60	17.45	52.60	2.50	189.20
Octubre - 2010	25.60	10.60	18.10	53.60	2.50	213.00
Noviembre - 2010	25.70	11.40	18.55	58.30	2.50	274.80
Diciembre - 2010	25.40	12.40	18.90	64.10	2.60	204.80

Fuente: AUTODEMA

3.1.5. SOCIOECONOMIA

En el sistema de Irrigación Majes, en su mayoría se dedican a la ganadería y agricultura. La principal fuente económica es la agricultura, con la producción de productos de exportación como: Alcachofa, Kiwicha, Páprika, Pimiento Morron, etc. Complementariamente a ello realizan una agricultura de autoconsumo, con una cédula de cultivos en los que predomina la papa, maíz forrajero, maíz morado y pasto cultivado (alfalfa + dactylis) paralelo a ello realizan la actividad de la crianza de ganado vacuno raza holsten para la extracción de leche.

3.1.6. SERVICIOS BÁSICOS

VIVIENDA. Casas de habitación de concreto armado (material noble) para mayor parte de la población y en menor porcentaje casas de carrizo (esteras) con techo del mismo material.

EDUCACIÓN. Respecto a la educación se cuenta con nivel Inicial, Primario, Secundario, Superior (sucursales de la UNSA y UCSM-Arequipa).

SALUD. Existe puestos de salud funcionan en un local de concreto armado con personal completo.

AGUA POTABLE. Cuentan con red de agua potable.

LUZ. Cuentan con servicios de luz domiciliaria.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. MATERIALES

Durante el proyecto de investigación se utilizaron los siguientes materiales:

a) MATERIALES DE CAMPO:

- 03 lisímetros de drenaje libre para determinar necesidades de agua del cultivo con sus respectivos accesorios de medición de entrada y salida.
- 01 Estación agroclimática automática.
- 01 Tanque de evaporación clase A.
- Agua apta para riego, disponible diariamente.
- Fichas de registro y toma de datos.

- Semillas de haba baby.
- Insumos agrícolas fertilizantes.
- Pala.
- Pico.
- Barreta.
- Estacas.
- Bolsas de Plástico.
- Manta Plástico.
- Baldes.
- Pintura.
- Accesorios de riego (cintas de riego RODRIP clase 5mil de Ø 16mm, codos, conectores, válvulas de bola, válvulas volumétricas, manguera ciega de 16mm de Ø, niple).

b) MATERIALES DE GABINETE.

- Balanza analítica.
- Probeta de 100ml y 1000ml.
- Recipientes graduados para aforo de emisores.
- Información meteorológica.
- Memoria USB marca Kingston de 1Gb.
- CDs.

3.2.2. EQUIPOS

En el periodo de ejecución de trabajo de investigación, se utilizaron los equipos son los siguientes:

a) EQUIPOS DE CAMPO.

- Cronometro.
- GPS Garmín 12 XL.
- Winchas de 3 metros.
- Regla.
- Cámara fotográfica.
- Tensiometros.
- Manómetro.

b) EQUIPO DE GABINETE:

- Equipo de Computo Pentium IV.
- Escáner.
- Impresora.

3.2.1.1. MATERIAL EXPERIMENTAL

- DESCRIPCIÓN DEL LISÍMETRO DE DRENAJE LIBRE

Se tendrán dos tipos de lisímetros, tal como se observa en el Plano N° 01.

LISIMETRO TIPO A

Este lisímetro tiene la forma de un prisma pentagonal y cuyas caras laterales son 4 rectángulos.

De concreto armado $f_c': 175 \text{ Kg. /cm}^2$, de 2.50 mts de largo por 2.00 mts de ancho La altura de la base de entrada de 1.00 mts y la de salida de 1.10 metros; éste desnivel de 0.10 mts permitió un drenaje adecuado del agua aplicada. El espesor de esta estructura es de 0.15 mts.

En el volumen ocupado por la parte superior (de forma rectangular) de las bases colocado suelo agrícola, el cual esta llenado y tamizado con tamiz de 2 cm. de diámetro, extraído del mismo lugar donde se excavó la caja del lisímetro.

Para evacuar en forma adecuada el agua de drenaje, fue colocada en el volumen que ocupa la parte inferior (de forma triangular) de las bases, una grava de 1" de diámetro, en cuya parte inferior de la cara de la base de salida es colocado un tubo de PVC de 1" de diámetro donde se conectará una válvula de bola de 1" y luego un medidor de volumen de 1/2" de diámetro, la cual evacuó el agua a un depósito de drenaje.

El material de suelo y grava es separado por una malla metálica de 2 mm de espesor y con aberturas de 5 mm de diámetro.

LISIMETRO TIPO B

Este lisímetro tiene la forma de un prisma trapezoidal y cuyas caras laterales son 3 rectángulos.

De concreto armado $f_c': 175 \text{ Kg. /cm}^2$, de 2.50 mts de largo por 2.00 mts de ancho La altura de la base de entrada es de 1.00 mts y la de salida es de 1.10 metros; éste desnivel

de 0.10 mts permitió un drenaje adecuado del agua aplicada. El espesor de esta estructura será de 0.15 mts.

Esta estructura es diseñada con concreto armado $f_c': 175 \text{ Kg. /cm}^2$, con acero de refuerzo $f_y: 4200 \text{ Kg. /cm}^2$. El acero principal y el acero de temperatura será de $3/8''$, colocado en malla y espaciado cada 0.20 metros. Para impermeabilizar el concreto se empleó el material Sika 1.

En el volumen ocupado por la parte superior (de forma rectangular) de las bases es colocado suelo agrícola, el cual es llenado y tamizado con tamiz de 2 cm. de diámetro, extraído del mismo lugar donde se excavó la caja del lisímetro.

Para evacuar en forma adecuada el agua de drenaje, fue colocada en el volumen que ocupa la parte inferior (de forma triangular) de las bases, una grava de $1''$ de diámetro, en cuya parte inferior de la cara de la base de salida fue colocado un tubo de PVC de $1''$ de diámetro donde se conectará una válvula de bola de $1''$ y luego un medidor de volumen de $1/2''$ de diámetro, la cual evacuó el agua a un depósito de drenaje.

El material de suelo y grava fue separado por una malla metálica de 2 mm de espesor y con aberturas de 5 mm de diámetro.

ALIMENTACION DE AGUA Y RED DE DISTRIBUCION EN LISIMETRO

La toma de agua para los lisímetros esta ubicada en la tubería portallateral de 63 mm de diámetro, donde se colocó un collarín de 63 mm x $1''$ PVC y conectar en éste una tubería de PE de 25 mm de diámetro.

La alimentación de agua a cada lisímetro fue a través de la tubería de PE de 25 mm en la que se conectará la tubería de PE de 16 mm, en la cual, antes de la entrada al lisímetro, fue colocado una válvula de bola de $3/4''$ de PVC, un filtro de malla de $3/4''$ y un medidor de volumen de $1/2''$ de diámetro. De esta tubería saldrán 2 laterales de riego, del mismo material, donde se colocaron goteros turbo de 4 lts/hr cada uno, espaciados cada 0.20 mts. Ver Plano 01.

SALIDA DE AGUA

Para evacuar en forma adecuada el agua de drenaje, fue colocada en el volumen que ocupa la parte inferior (de forma triangular) de las bases, una grava de $1''$ de diámetro, en cuya parte inferior de la cara de la base de salida fue colocado un tubo de PVC de $1''$ de

diámetro donde se conectó una válvula de bola de 3/4" y luego un medidor de volumen de 1/2" de diámetro, la cual evacuó el agua a un depósito de drenaje. Ver Plano 03.

DEPOSITO DE DRENAJE DE AGUA

Este depósito, que recibirá el agua de drenaje, es de forma cúbica de 0.50 x 0.50 mts de base y 0.40 mts de altura, sostenido por 4 patas metálicas de 0.20 mts de altura cada una. Este depósito será fabricado en fibra de vidrio de espesor 5 mm (tres lados y la base), y un lado de vidrio de 4 mm de espesor; donde esta adherida una regla metálica de 0.4 metros de alto, graduada en mm.

El depósito antes descrito, presenta estructura metálica en cada uno de sus ángulos, dicha estructura es ángulo de fierro 3/4" x 1/8".

El lado de vidrio, es adherido al ángulo de fierro con silicona Sikasil - E.

En la parte central de la base se instaló un sistema de evacuación compuesto por un niple de PVC 3/4"x 2", unido con un codo PVC 3/4" x 90°, luego un niple de PVC 3/4" x 2", seguidamente una válvula de bola PVC de 3/4", un niple de PVC de 3/4" x 2" y finalmente un codo PVC 3/4"x 90°. Ver Lámina 02.

CASETA DE TOMA DE DATOS

La caseta de toma de datos se ubicó en la parte central de los 3 lisímetros, donde están las salidas y depósitos de drenaje de cada uno de ellos.

Esta estructura es diseñada con concreto armado $f_c': 175 \text{ Kg./cm}^2$, con acero de refuerzo $f_y: 4200 \text{ Kg./cm}^2$.

3.3. METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación se realizó durante el periodo de Abril a Julio del 2011, para la ejecución de la presente investigación se sigue el presente procedimiento.

a) FASE PRELIMINAR

En esta fase se caracterizó en la recolección de información disponible y necesaria relacionados a nuestra investigación; como documentos técnicos y proyectos similares al tema de investigación, etc.

Así mismo en la organización y coordinación con el equipo técnico de AUTODEMA, para llevar acabo el trabajo de campo, de la definición de las técnicas e instrumentos a utilizar y las responsabilidades del equipo de trabajo.

b) FASE DE CAMPO

En esta etapa de campo se recogió la información de datos en trabajo de campo. Prosiguiendo con esta información previa se elaboró el plan de trabajo de investigación:

- Reconocimiento general de la zona de estudio
- Reconocimiento de la infraestructura existente de lisímetros
- Instalación de accesorios de riego a los lisímetros en estudio como: válvulas volumétricas, cintas de riego, codos, conectores, mangueras, etc.
- Determinación de las características del suelo y constantes hídricas o humedad del suelo
- Instalación y desarrollo de cultivo a investigar
- Sistema de riego y fertirriego
- Aplicaciones de agua y toma de datos, etc.

c) FASE DE GABINETE

Es la etapa de procesamiento y análisis de información obtenida en el campo de manera permanente desde el inicio y final de la investigación para luego ser utilizados en los cálculos necesarios.

3.3.1. RECONOCIMIENTO GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

En primer lugar se efectuó el reconocimiento del área de investigación donde esta ubicada nuestros lisímetros de drenaje en condiciones de campo comercial en el Centro de Reconversión Agroganadera – AUTODEMA, Irrigación Majes, se realizó las primeras coordinaciones con el equipo técnico de la institución, con el propósito de lograr una investigación eficiente.

3.3.2. RECONOCIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE DE LOS LISÍMETROS

En cuanto a la infraestructura existente de los lisímetros de drenaje denominado I, II, III fueron construidos por el Proyecto Especial Majes – Siguas AUTODEMA, Gerencia de

Gestión de Recursos Hídricos mediante sub Gerencia de Promoción y Uso Eficiente del Recurso hídrico, de concreto armado en buen estado recién construidos con materiales adecuados y impermeabilizantes para que no pueda ocurrir filtraciones de agua por los poros del concreto armado y haya confiabilidad en los resultados de la investigación de acuerdo a las recomendaciones de la FAO, para determinar demandas hídricas del cultivo, implementadas en condiciones de campo comercial.

3.3.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

En nuestra investigación las características del suelo para respectivo análisis de suelos se realizaron antes de la instalación del cultivo. Se recogieron muestras de suelos de toda el área de cultivo para después mezclarlas homogéneamente de la que se tomó 2kg. Esta muestra fue enviada a laboratorio de suelos para el análisis correspondiente.

3.3.4. DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES HIDRICAS O DE HUMEDAD DEL SUELO

El contenido de humedad del suelo no es un valor único ni estable, ya que aumenta con el riego, lluvia, ascenso capilar desde el nivel freático, y disminuye por evaporación a través del perfil del suelo, drenaje y consumo por la planta.

Las constantes hídricas no son un contenido fijo de agua, sino que esta comprendido dentro de un intervalo.

a) CAPACIDAD DE CAMPO (CC)

La capacidad de campo del suelo se determinó mediante el método gravimétrico de la siguiente forma: en primer lugar se inundó 1m² de área de terreno y se cubrió con un plástico para evitar la pérdida de agua por evaporación, a las 24 horas se tomaron muestras a una profundidad de 30cm. Luego se volvió a cubrir con plástico y continuar el mismo procedimiento para las 48, 72 y 96 horas, obteniendo un total de 4 muestras las mismas que fueron pesadas, peso de suelo húmedo (P_{sh}) y puesta a una estufa a 105° durante 24 horas y al final de este tiempo se pesa nuevamente la muestra y se obtiene el peso de suelo seco (P_{ss}). Luego el contenido de humedad en % se obtuvo aplicando la siguiente formula:

$$\% Humedad = \frac{(P_{sh} - P_{ss})}{P_{ss}} * 100$$

Donde:

Psh = Peso de suelo húmedo

Pss = Peso de suelo seco

Finalmente graficamos (días de muestreo vs % humedad), cuando la curva graficada se hace constante es el contenido de humedad de capacidad de campo (CC). Y también se ha determinado la capacidad de campo por el método indirecta que fue calculada mediante la formula de Peele, que se expresa a continuación:

$$Cc = 0.48 * Ac + 0.162 * L + 0.023 * Ar + 2.62$$

Donde:

Cc = %Capacidad de campo

Ac = % Arcilla

L = % Limo

Ar = % Arena

b) PUNTO DE MARCHITEZ

El punto de marchitez permanente (PMP), fue calculada mediante la formula de Briggs, que esta basado en los porcentajes de Arcilla (Ac), Limo (L) y Arena (Ar), contenidos en el suelo:

$$Pm = 0.302 * Ac + 0.102 * L + 0.0147 * Ar$$

3.3.5. PUESTA EN CAPACIDAD DE CAMPO (CC) EL SUELO DEL LISÍMETRO

La prueba consistió en aplicar un volumen de agua uniforme al suelo del lisímetro, que supere 4 veces la evaporación registrada del día anterior en el tanque clase "A" (Evaporación = 5mm x 4 veces = 20 mm; como el lisímetro tiene un área de 5 m², se aplicó una lamina de agua de 100 mm, equivalentes a un volumen de 100 litros de agua/lisímetro), a fin de que el suelo entre en capacidad de campo (para que los microporos del suelo estén llenos de agua, lo cual se logre 24 horas de aplicada la lámina de riego señalada).

La prueba antes descrita es realizada para que el suelo del lisímetro se encuentre a capacidad de campo antes de la siembra del cultivo a investigar; y después de las aplicaciones del riego, el flujo de agua sea constante y garantice un drenaje permanente desde el inicio de la toma de datos.

3.3.6. INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE RIEGO Y PREPARACION DE SUELOS DE LOS LISÍMETROS

Cada lisímetro cuenta con una válvula volumétrica y accesorios de riego mediante cual se aplicará agua para el riego y drenaje, cuyas características son las siguientes:

La válvula de aplicación de agua para riego y de drenaje es de forma volumétrica para obtener o medir volúmenes de aplicación de agua (entradas) y volúmenes de drenaje (salidas) con un área del lisímetro de 5 m².

Para ello la preparación del suelo se realizó unos días antes de la siembra, tratándose de un suelo de textura arena franca, también se incorporó estiércol descompuesto y se niveló antes de instalar las cintas de goteo.

3.3.7. INSTALACIÓN Y DESARROLLO DE CULTIVO A INVESTIGAR

Una vez puesta a capacidad de campo (Cc), los lisímetros (I, II y III), se sembraron semillas de haba baby tanto en los lisímetros como en el terreno adyacente en condiciones de campo comercial.

La fecha de siembra fue el 03 de Abril del 2011, de forma manual, se utilizó 2 semillas por golpe, pero previamente la semilla se ha desinfectado con el producto metomilo y benomil. La siembra se realizó con un espaciamiento de 0.10m entre plantas o semillas y 1.20m entre hileras. La instalación se efectuó de manera independiente para cada lisímetro partiendo desde portateral de riego llegando hasta distribuir a los ingresos de los tres lisímetros denominados I, II, III. El coeficiente de uniformidad fue del 90% según el diseño del sistema.

3.3.8. SISTEMA DE RIEGO Y FERTIRRIEGO

El riego y la fertilización se aplicaron mediante el sistema de riego por goteo o riego localizado desde cabezal de riego hacia nuestra área de investigación (lisímetros) en condiciones de campo comercial en forma diaria por lo que se utilizó un programa de fertilización de acuerdo a la necesidades del cultivo (Ver Anexo 08), y en coordinación con el operador de riego Sr. Wyly Checmapoco CRA-Autodema. (Ver figura 11).

Figura 11: *Cabezal de Riego y Fertirriego del Sistema*



Fuente: Imagen Obtenido por el Ejecutor.

3.3.9. APLICACIONES DE AGUA Y TOMA DE DATOS

En forma diaria a horas 7:00 a.m. se aplicó a los lisímetros I, II, III, un volumen de agua conocido, uniformemente para toda la superficie y se anotó el volumen aplicado en un registro de datos.

En forma diaria a horas 7:00 a.m. se midió el volumen de agua drenado de los lisímetros y se anotó en un registro de datos. Inmediatamente será evacuado y puesto el recipiente en cero para que acumule el volumen de la lectura del día posterior.

Dicha operación de toma de datos se realizó en forma diaria a los 3 lisímetros instalados.

3.3.10. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) POR LOS DOS METODOS

a) EVPOTRANSPIRACION POTENCIAL POR EL METODO DEL TANQUE EVAPORÍMETRO CLASE "A"

Consideramos este método a modo de referencia, por ser mayormente utilizado en la zona por su fácil manejo y economía; Se registraron las lecturas de evaporación de tanque a las 6:00 horas de la mañana de todo los días haciendo una diferencia y multiplicándolo por el respectivo coeficiente del tanque (Kt) se obtuvo los resultado de ETP. Los datos a detalle se muestran en el Anexo 01.

La evaporación potencial o de referencia, se determina con la siguiente ecuación:

$$ETP = K_t * E_o$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial en mm/día

Kt: Coeficiente de tanque evaporímetro.

Eo: evaporación del tanque evaporímetro, en mm/día

De acuerdo del Anexo 06, nuestro tanque evaporímetro esta ubicado sobre una cubierta verde de 20 metros de distancia, durante esta campaña se registró una velocidad del viento promedio 2.75 m/s equivalente a 237.6 km/día, una humedad relativa promedio de 56.05%, por lo que consideramos un Kt de 0.705. Los registros de evaporación diaria se adjuntan en el **Anexo 01**.

b) EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL METODO DE ESTACIÓN AGROCLIMATICA AUTOMATICA - PENMAN MONTEITH

Se consideró este método como referencia para la determinación de la Evapotranspiración Potencial ETo, para ello se trabajó con una Estación Agroclimática Automática, la misma que esta ubicada en el mismo, que registra todas las variables climatológicas necesarias para aplicar en la ecuación de Penman Monteith recomendado por la FAO, esta estación agroclimática automática calcula diariamente la ETo, siendo de manejo fácil y flexible por lo que nos permite programarla para proporcionar los valores de ETo, los datos se pueden apreciar en el **Anexo: 02**.

3.3.11. ANALISIS DE CONSISTENCIA Y AJUSTE ESTADISTICO

La comparación se realizó de dos maneras estadísticas:

- El análisis estadístico se realizó a efectos de comparar el valor de la evapotranspiración potencial o de referencia ETo obtenidos por los métodos (Estación Agroclimatica - Pemman Monteith, Tanque Evaporímetro Clase A.

Análisis de varianza de un factor (ANOVA) prueba “F” al 0.05 y 0.01 de confianza, para lo cual se ha utilizado el sistema de software denominado STATISTICAL ANALYSYS SYSTEM (S.A.S). Para verificar primeramente la consistencia y diferencia existente de los valores de la evapotranspiración de referencia (ETo) obtenidos por los dos métodos.

El diseño experimental que se utilizó para la distribución de los tratamientos es el **“Diseño Completo al Azar”**.

- El análisis de estadístico se realizó a efectos de comparar los valores de la evapotranspiración real del cultivo ETC, obtenidos mediante lisímetros de drenaje I, II, III.

El diseño experimental que se utilizó para la distribución de los tratamientos y bloques es el “Diseño bloque Completamente al Azar”.

a) ANALISIS DE VARIANZA

Es una función matemática que nos permite descomponer una fuente de variación total en sus componentes atribuibles a fuentes de variación conocida.

b) PRUEBA ESTADÍSTICA DE HIPÓTESIS.

1) La hipótesis a probar es:

$$H_0 = T^1 = T^2 = T^3 = T^4 = T^5 \quad \text{Hipótesis Nula.}$$

$$H_a = T^1 \neq T^2 \neq T^3 \neq T^4 \neq T^5 \quad \text{Hipótesis alterna.}$$

2) Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05 \quad \text{y} \quad 0.01$$

3) Estadística de prueba.

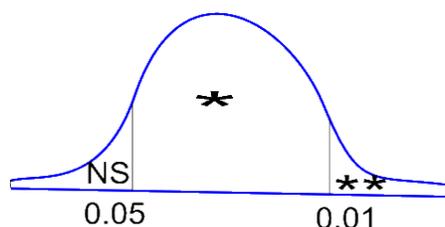
$$F_c = \frac{CM_{trata}}{CM_{error}}$$

4) Regla de decisión:

Si $F_c \leq F^{0.05}$, No se rechaza la H_0 , representándole con la letras (NS)

Si $F^{0.05} < F_c < F^{0.01}$, Se rechaza la H_0 , Representándole por un asterisco (*)

Si $F_c > F^{0.01}$; se rechaza la H_0 , representándole por dos asteriscos (**)



Donde:

NS = No Significativo

* = Significativo

** = Altamente Significativo

3.3.12. DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO (ETC)

Para determinar la Evapotranspiración del cultivo o uso consuntivo, se instalaron 3 lisímetros de drenaje denominados I, II, III en condiciones de campo comercial dentro de una área de 1.8ha, obteniendo diariamente volúmenes de agua aplicado y volúmenes de drenaje y su diferencia, la que se dividió entre el área del lisímetro (5.0m²); dicho registro de datos es procesando a diario, los datos de campo se encuentran detallados en el **Anexo 03**.

$$ETc = (Vol.aplicado - Vol.drenaje) / AreaLisimetro$$

3.3.13. EVALUACION Y DETERMINACION DE LAS ETAPAS FENOLOGICAS DEL CULTIVO

Los parámetros de evaluación de desarrollo del cultivo, se midieron la altura, cobertura foliar, diámetro del tallo, longitud de la hoja, ancho de la hoja, numero de hojas, numero de flores, numero de frutos, etc. Se tomaron 03 plantas al azar dentro del lisímetro y dos plantas del área adyacente, los cuales fueron medidos utilizando una cinta métrica y un vernier semanalmente para luego ser promediados de acuerdo a cada fase fenológica del cultivo.

Para establecer las etapas fenológicas del cultivo, se trabajó en base a las evaluaciones semanales de desarrollo fisiológico del cultivo y a la variación de la Evapotranspiración diaria del cultivo lo cual refleja muy claramente en los gráficos. Los datos se pueden ver en el **Cuadro 13**.

3.3.14. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc), se obtuvo mediante la formula general recomendado por Vasquez y Chang, cuya ecuación matemática es $Kc = ETc/ETo$; lo cual la evapotranspiración del cultivo ETc, se obtuvo mediante los lisímetros de drenaje en condiciones de campo comercial y la evapotranspiración potencial ETo, fueron obtenidos por los dos métodos antes mencionados. Al igual que la ETc y la ETo, tendremos datos de Kc diarios, durante el periodo vegetativo desde la siembra hasta la cosecha.

Los Kc obtenidos se promediaron por semanas y luego se graficó la curva de coeficientes de cultivo obtenida por los dos métodos, para luego aplicar una regresión de tipo polinomial para definir la tendencia de los valores.

3.3.15. DETERMINACIÓN DE LA CURVA TEÓRICA DE COEFICIENTES DE CULTIVO (K_c)

La metodología aplicada en esta determinación fue trabajado por etapas fenológicas de las cuales se obtienen valores para cada etapa del periodo vegetativo, obteniendo una curva teórica más consistente en la que se distinguen más fácilmente las etapas fenológicas y el coeficiente de consumo hídrico.

3.3.16. DETERMINACION DE LAS NECESIDADES NETAS DE AGUA DE RIEGO DEL CULTIVO (N_n)

Para calcular las necesidades netas (N_n), del cultivo Haba Baby se utilizó la siguiente relación:

$$N_n = ET_c - P_e - G_w - \Delta w$$

Donde:

- N_n : Necesidades netas en mm/día
- ET_c : Evapotranspiración del cultivo en mm/día
- P_e : Precipitación efectiva en mm/día
- G_w : Aporte capilar por efecto del nivel freático en mm/día
- Δw : Cambio de almacenamiento de agua del suelo en mm/día.

En la Irrigación Majes P_e , G_w y Δw no se toma en cuenta por lo siguiente; la precipitación (P_e) es casi nula; en cuanto al aporte capilar (G_w) en la zona no es importante, por cuanto el nivel freático esta muy profundo y el cambio de almacenamiento de agua del suelo (Δw) no se toma en cuenta, por tanto el sistema de riego por goteo es de alta frecuencia en donde la aplicación del agua de riego es diaria y por lo tanto el bulbo húmedo siempre está a capacidad de campo por lo que: **$N_n = ET_c$** .

3.3.17. COSECHAS

La cosecha se realizó en forma manual de cada una de las matas del cultivo haba baby una por una, dentro de los lisímetros, iniciando la cosecha a partir de la semana 13, luego se hizo el pesado correspondiente de cada uno de los tres lisímetros, con una duración vegetativo de 116 días, teniéndose un total de 4 cosechas, finalmente se obtuvo la producción del cultivo en Kg/ha. Los resultados se pueden ver en el **cuadro 21**.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUÍMICAS DEL SUELO

Los resultados que se presentan en el siguiente cuadro son de acuerdo a la muestra enviada al laboratorio los resultados de las características físicas químicas de suelos encontrados en lugar experimental.

Cuadro 03: *Análisis Físico Químicos de Suelos*

Análisis	Resultados	Unidad
Materia Orgánica	2.89	%
Nitrógeno (N)	1.98	%
Fósforo (P)	2.20	ppm
PH	7.20	Unidades de Ph
Conductividad Eléctrica	6.40	mmhos/cm
Calcio (Ca)	3.48	meq/100g
Magnesio (Mg)	0.46	meq/100g
Potasio (K)	0.60	meq/100g
Sodio (Na)	0.49	meq/100g
Arena	74.5	%
Arcilla	15.5	%
Limo	10.0	%
Clase Textural	Arena Franca - A.F.	

Fuente: Laboratorio de Suelos y Plantas – AUTODEMA

4.2. CAPACIDAD DE CAMPO

4.2.1. MÉTODO GRAVIMÉTRICO

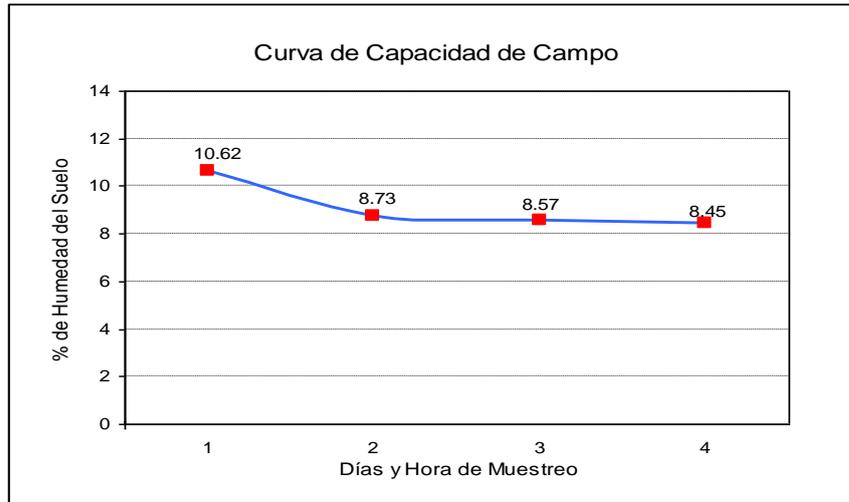
Los resultados de porcentaje de humedad del suelo se muestran en el siguiente **cuadro 04**.

Cuadro 04: *Resultados del Muestreo de Suelos por el Método Gravimétrico.*

Día y Hora	Muestra	PSh (gr.)	PSs (gr.)	% Humedad	Promedio
1 (24horas)	I	150.00	135.50	10.70	10.62
	II	150.00	135.20	10.95	
	III	150.00	136.10	10.21	
2 (48horas)	I	120.00	109.90	9.19	8.73
	II	120.00	110.20	8.89	
	III	120.00	111.00	8.11	
3 (72horas)	I	150.00	138.60	8.23	8.57
	II	150.00	137.90	8.77	
	III	150.00	138.00	8.70	
4 (96horas)	I	150.00	137.95	8.74	8.45
	II	150.00	138.45	8.34	
	III	150.00	138.54	8.27	

Elaboración: Por el Ejecutor

Grafico 01: Porcentaje de Humedad del Suelo por el Método Gravimétrico



Del grafico 01: se puede desprender que la grafica o curva va descendiendo mientras va transcurriendo el tiempo al final de los dos días son casi constantes la humedad del suelo por lo cual resulta el 8.45% de capacidad de campo del suelo según el cuadro 03 y en el grafico que se muestra. También fue calculada la capacidad de campo por el método textural.

4.2.2. MÉTODO TEXTURAL

Determinación de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente mediante métodos indirectos:

4.2.2.1. CAPACIDAD DE CAMPO

Conociendo la textura del suelo del cuadro 03, se puede encontrar la capacidad de campo de un suelo pero este método nos proporciona una información muy aproximada, que para estudios definitivos de riego su utilización debe ser limitada.

La capacidad de Campo se puede encontrar utilizando la siguiente (**Formula de Peele**).

$$Cc = 0.48 * Ac + 0.162 * L + 0.023 * Ar + 2.62$$

Cc = Humedad de Capacidad de Campo %

Ac = Contenido de arcilla (%)

Li = Contenido de limo (%)

Ar = Contenido de arcilla (%).

$$Cc = 0.48 * 15.5 + 0.162 * 10.0 + 0.023 * 74.5 + 2.62$$

$$Cc = 13.39\%$$

4.2.2.2. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE

Es el porcentaje del suelo donde la planta difícilmente se recupere, el agua en el suelo esta retenido a razón de 15 atmósferas.

El punto de marchitez permanente se puede encontrar utilizando la siguiente (**Formula de Briggs**).

$$Pm = 0.302Ac + 0.102L + 0.0147Ar$$

$$Pm = 0.302 * 15.5 + 0.102 * 10 + 0.0147 * 74.5$$

$$Pm = 6.69\%$$

4.3. ANALISIS DE AGUA DE RIEGO

El análisis de calidad de las aguas de la Irrigación Majes ha sido efectuada con el fin de prevenir los problemas debidos a la presencia de sales y en manera particular para definir las necesidades mayores de agua a suministrar a los cultivos de modo de evitar la continua acumulación de sales en la zona de desarrollo de las raíces.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de análisis de calidad de agua:

Cuadro 05: *Análisis de agua de riego para el proyecto de Irrigación Majes.*

DETERMINACIÓN DE LABORATORIO	SIMBOLO	UNIDAD DE MEDIDA	LUGAR DE MUESTREO	
			Bocatoma Tuti	Bocatoma Pitay
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	ECW	mmhos/cm	1.6	1.2
REACCIÓN	pH	pH	7.6	7.4
CATIONES				
Calcio	Ca	meq/l	1.5	1.8
Magnesio	Mg	meq/l	1.2	2.7
Sodio	Na	meq/l	13.3	7.5
Potasio	K	meq/l	0.0	0.0
ANIONES				
Carbonato	CO3	meq/l	0.2	0.0
Bicarbonato	HCO3	meq/l	2.0	3.0
Sulfato	SO4	meq/l	0.6	1.0
Cloruro	Cl	meq/l	13.0	8.0
RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE				
Boro	B	ppm	--	1.1
Sodio	SAR	--	11.45	5.0

Fuente: Laboratorio de Aguas – AUTODEMA.

4.4. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL O DE REFERENCIA (ETP)

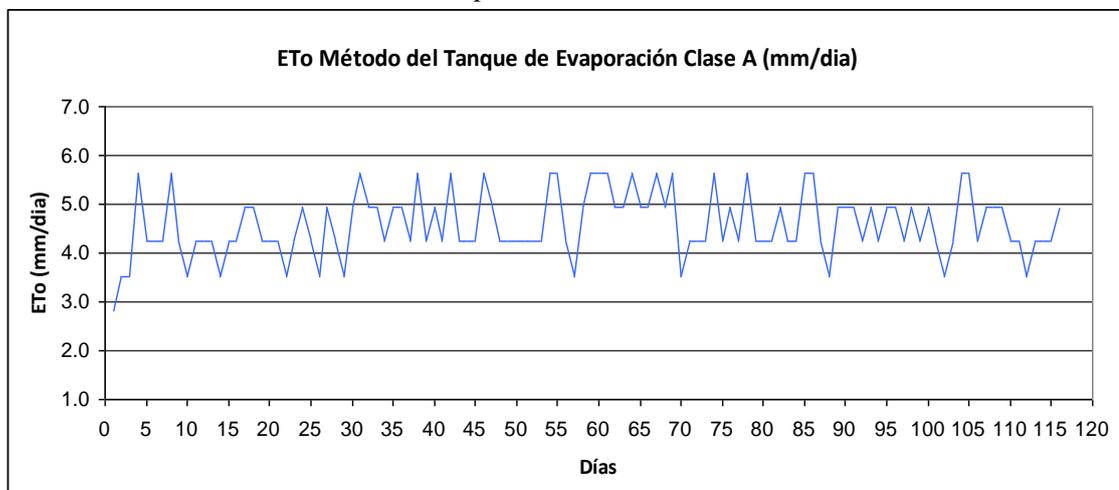
La evapotranspiración potencial o de referencia es obtenida por los dos métodos de mayor difusión en la Irrigación Majes: Tanque Evaporímetro Clase A y el Método de Estación Agroclimática Automática – Penman Monteith, de distintas formas cada uno de los métodos fueron obtenidos durante el periodo vegetativo del cultivo, que se detallan a continuación:

a) EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL - POR EL MÉTODO DEL TANQUE DE EVAPORACIÓN CLASE “A”

Los registros de datos de evaporación E_o y cálculo de la E_{To} , considerando un coeficiente de tanque de K_t de 0.705 para Irrigación Majes, todos los datos de E_{To} se encuentran detallados en el Anexo 01; se obtuvo aplicando la siguiente relación:

$$E_{To} = \text{Evaporación del tanque} * K_t$$

Gráfico 02: Variación de Evapotranspiración Potencial por el Método de Tanque de Evaporación Clase A

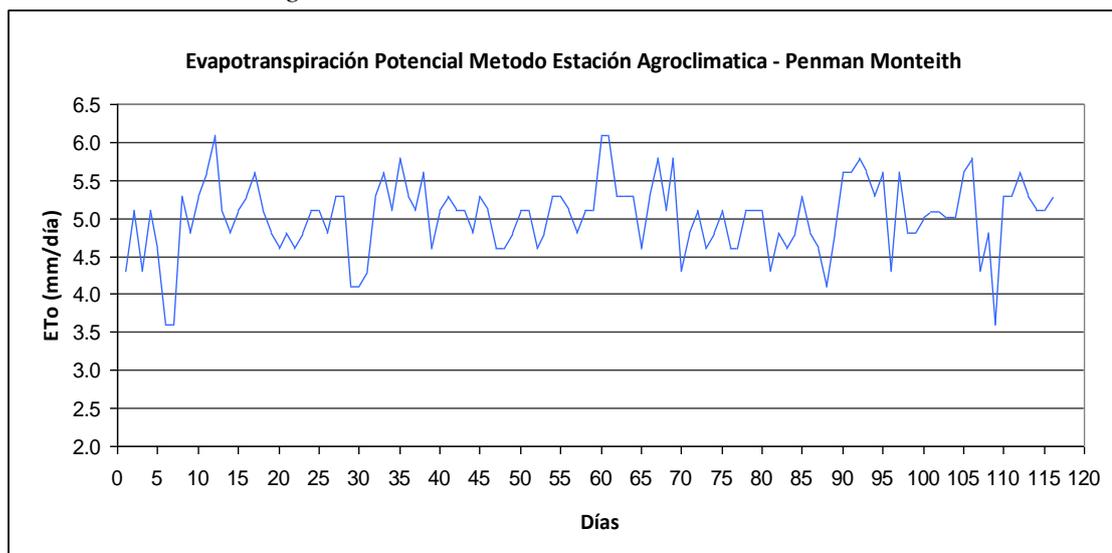


Del gráfico 02: se puede ilustrar la evapotranspiración potencial máxima calculada fue de 5.64 mm/día, mientras que la evapotranspiración potencial mínima fue de 2.82mm/día, con un total 530.87mm durante la campaña.

b) EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL METODO RECOMENDADO POR EL FAO (Penman Monteith) ESTACIÓN AGROCLIMATICA

La evapotranspiración potencial ETo, que reporta la Estación Agroclimática Automática, es procesada con la formula de Penman Monteith recomendado por la FAO. Todos los datos de ETo, los datos diarios de ETo se encuentran en el **Anexo 02**.

Gráfico 03: Variación de evapotranspiración potencial por el Método Estación Agroclimática Automática – Penman Monteith



Del grafico 04: se puede ilustrar la evapotranspiración potencial máxima calculada fue de 6.40 mm/día, mientras que la evapotranspiración potencial mínima fue de 3.60 mm/día, con un total 586.60mm durante la campaña.

4.5. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR LOS DOS METODOS

La evapotranspiración potencial o de referencia es calculada por dos métodos los resultados se muestran en los siguientes cuadros y se analizaran a continuación:

Cuadro 06: Resumen de ETo por los Dos Métodos

ETo	Tanque Clase A	Estación Agroclimática A.
ETo Promedio (mm/día)	4.58	5.02
ETo Máxima (mm/día)	5.64	6.10
ETo Minima (mm/día)	2.82	3.60
ETo Total (mm/campaña)	530.87	582.24

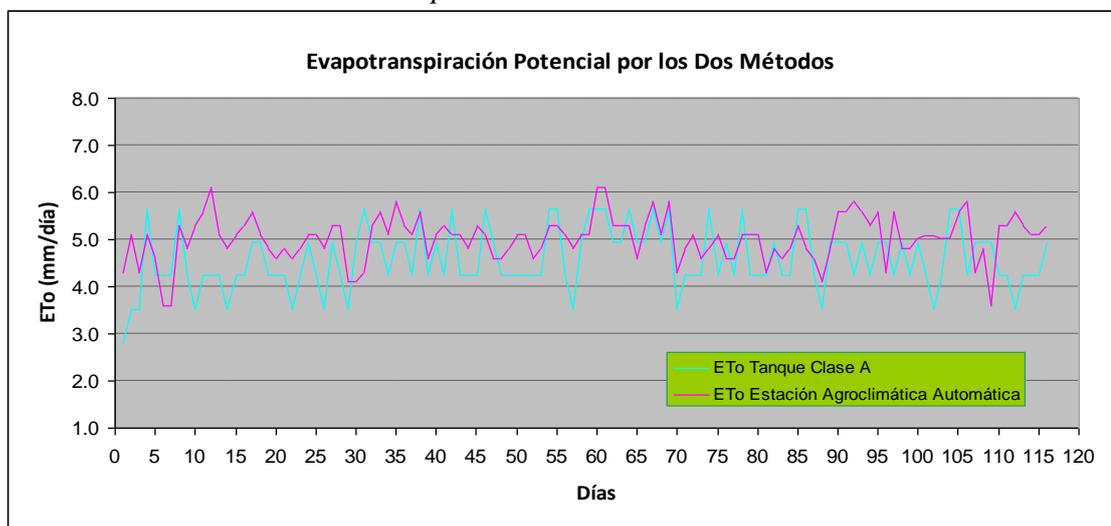
Elaboración: Por el Ejecutor

Cuadro 07: Valores de Evapotranspiración Potencial (ETp) Semanal obtenidos por los Dos Métodos

Nº Semanas	ETp Tanque Clase A (mm/día)	ETp Estación Agroclim. Autom. (mm/día)
1	4.03	4.37
2	4.23	5.29
3	4.43	5.04
4	4.23	5.00
5	4.73	4.90
6	4.83	5.16
7	4.53	4.90
8	4.63	5.04
9	5.04	5.40
10	5.04	5.17
11	4.53	4.80
12	4.53	4.83
13	4.83	4.97
14	4.63	5.29
15	4.63	5.09
16	4.43	4.96
17	4.41	5.20

Elaboración: Por el Ejecutor

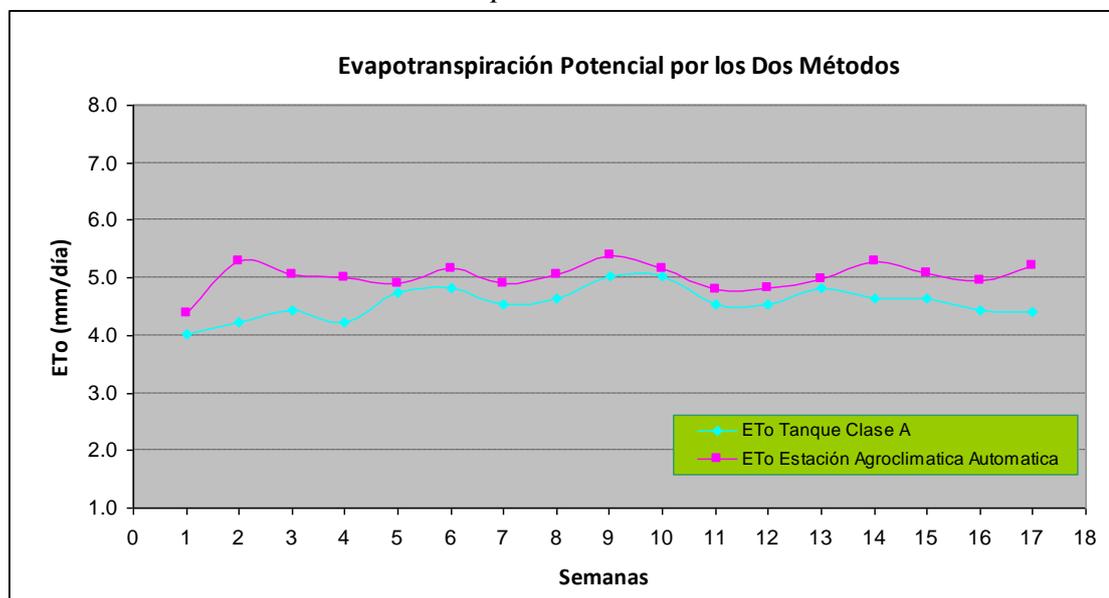
Gráfico 04: Comparación de los Valores de Evapotranspiración Potencial (ETo) diario por los Dos Métodos



La FAO (2006), Considera al método Penman Monteith como método estándar para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). Debido a la cantidad de información que requiere este método y dificultoso, ya que pocas estaciones climatológicas cuentan con los datos necesarios. En la Irrigación Majes su uso se hace más fácilmente ya que la estación agroclimática automática trabaja con la fórmula de Penman Monteith. En el gráfico 04 se compara los valores obtenidos por los dos métodos.

Para mejor visibilidad y apreciación los ETo, se grafica semanalmente para observar mejor la variabilidad de los valores.

Gráfico 05: Comparación de los Valores de Evapotranspiración Potencial (ETo) Semanal por los Dos Métodos



Como se observa en el gráfico 05, los dos métodos presentan variabilidad en comparación con el método de Estación Agroclimática Automática – Penman Monteith y el método Tanque Evaporímetro Clase A. La ETo obtenida por el método Tanque Evaporímetro Clase A subestima, a los valores obtenidos de ETo de Estación Agroclimática Automática, durante el periodo vegetativo del cultivo.

Para cuantificar mejor las diferencias existentes entre los métodos, se realizaron pruebas estadísticas con los valores semanales de ETo, cuyos valores se muestran en el cuadro 07; para ver la variabilidad de los datos estadísticamente mediante DCA, durante el periodo vegetativo del cultivo y efectuando un análisis de varianza de un factor o prueba de “F” para comparar los valores de la Evapotranspiración potencial o referencia (ETo) con cada uno de los métodos, dicha comparación se realizó con el método de Estación Agroclimática Automática - Penman Monteith (método estándar para la presente investigación y recomendado por la FAO, también se puede señalar de acuerdo a los resultados obtenidos).

4.6. ANALISIS ESTADISTICO DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (ETP)

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos de la Evapotranspiración Potencial, se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) donde los métodos de ETP son tratamientos, el análisis de varianza se realiza del **cuadro 07**.

Para realizar análisis de varianza se ha denotado los dos métodos con las siguientes letras:

A = Estación Agroclimática Automática - Penman Monteith

B = Tanque Evaporímetro Clase A

Cuadro 08: *Análisis de Varianza entre los Métodos A y B.*

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Ft.		Sig.
					0.05	0.01	
Tratamientos (Métodos)	1	1.74382	1.74382	26.34	4.15	7.50	**
Error Experimental	32	2.11818	0.06619				
Total	33	3.86201					** = Altamente Significativo

Elaboración: Por el Ejecutor

Cuadro 09: *Prueba de Significancia Tukey (p: 0.05) promedio de los métodos de A y B*

Nº	Tratamientos (Métodos)	ETP (mm)	Significancia (0.05)
1	Estación Agroclimática Automática	5.0241	A
2	Tanque Evaporímetro Clase A	4.5712	B

Elaboración: Por el Ejecutor

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA), el método de Estación Agroclimática Automática – Penman Monteith y el método del Tanque Evaporímetro Clase A si presentaron diferencias altamente significativas en cuanto a los valores de la evapotranspiración ETP, estadísticamente. Debido seguramente a las diferencias existentes entre ambos métodos pueden ser atribuidas a los parámetros y factores de cada método que requiere en su obtención de valores de ETP.

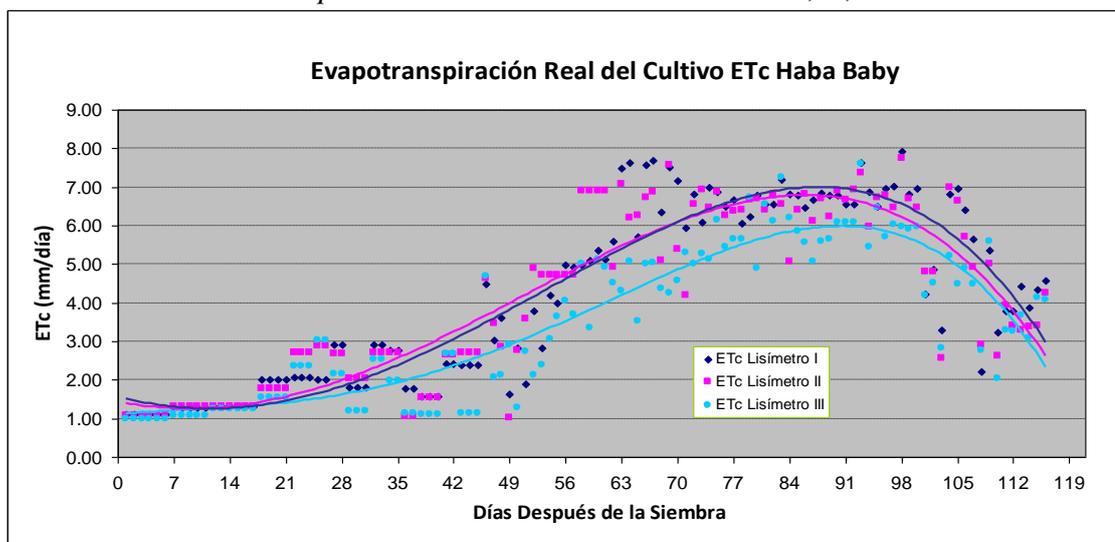
4.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO (ETc)

4.7.1. MÉTODO DEL LISÍMETRO

Para determinar la Evapotranspiración real del cultivo o uso consuntivo de Haba Baby, se utilizó el método directo de los lisímetros de I, II y III, en condiciones de campo comercial, la ETC se obtuvo aplicando la siguiente relación:

$$ETc(mm/ día) = \frac{Vol.Aplicado - Vol.Drenado(m^3)}{Área(m^2)}$$

Grafico 06: Comparación de los valores de *Evapotranspiración Real del Cultivo ETC diario por el Método Directo de Lisímetros I, II, III.*



Los valores de comportamiento de la evapotranspiración real del cultivo Haba Baby, se puede apreciar en el grafico 06, se desprende que el cultivo presenta cuatro fases de desarrollo bien definidas según el grafico que se muestra, tiene tendencia ascendente desde la etapa inicial hasta la etapa de maduración ó media estación después va descendiendo en la etapa de cosecha ó ultima etapa. Todos los datos de ETC, se encuentran detallados en el **Anexo 03**.

4.7.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO (ETC)

Para análisis estadístico de los resultados obtenidos de la Evapotranspiración real del cultivo de haba baby, se utilizó el Diseño Bloque Completamente al Azar (DBCA) donde las fases del periodo vegetativo son bloques y los lisímetros I, II, III de ETC son tratamientos.

Cuadro 10: *Evapotranspiración real del cultivo haba baby, (ETC), mediante los lisímetros de I, II, III para las diferentes fases fenológicas del cultivo.*

BLOQUES		TRATAMIENTOS		
Fases Fenológicas del Cultivo Haba Haby	Periodo Vegetativo (Días)	Lisímetro I	Lisímetro II	Lisímetro III
I - Fase Inicial	21	29.04	27.85	25.26
II - Fase de Desarrollo	49	178.48	186.88	138.36
III - Fase de Maduración ó Media Estación	35	228.34	221.19	197.72
IV - Fase de Cosecha ó Ultima Estación	11	47.66	42.88	41.30
Total	116	483.52	478.80	402.64

Elaboración: Por el Ejecutor

Cuadro 11: Análisis de varianza de Evapotranspiración real del cultivo (ETC)

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Ft.		Sig.
					0.05	0.01	
Bloques (Fases)	3	77005.9528	25668.6509	179.71	5.14	10.92	**
Tratamientos (Lisím. I, II, III)	2	1030.3499	515.1749	3.61	5.14	10.92	NS
Error Experimental	6	857.0233	142.8372		NS = No Significativo		
Total	11	78893.3260			** = Altamente Significativo		

Elaboración: Por el Ejecutor

CV = 10.51%

En el Cuadro 11: se presenta el análisis de varianza (ANVA), donde nos muestra que existe altamente significativo estadísticamente para bloques (fases fenológicas), lo que nos indica que las fases fenológicas de haba baby tienen diferente evapotranspiración debido a la duración que presenta cada fase. Mientras tanto para tratamientos (Lisímetros I, II, III) no hubo significancias según resultados de análisis de varianza, lo cual indicaría que los tratamientos estadísticamente en la obtención de ETC de haba baby.

Por otro lado el CV = 10.51 %, el cual es considerado como muy bueno para este tipo de experimentos, conforme indica Vásquez (1990), considerando que la escala que puede servir para calificar la posición de los experimentos de campo por el coeficiente de variabilidad es: entre 5 y 10 excelente, 11 y 15 muy bueno, 16 y 20 buena, 21 y 25 regular, 26 y 31 mala, y mayores a 31 muy mala. En el presente trabajo ha sido conducido adecuadamente. Y por lo tanto indica que los datos son confiables, por tanto se hará la prueba de comparación de medias de Tukey al 0.05.

Cuadro 12: Prueba de Significancia Tukey ($p: 0.05$) promedio de fases fenológicas del cultivo de haba baby

Nº	Fase Fenológica	ETC (mm)	Significancia (0.05)
1	Media ó Maduración	215.75	a
2	Desarrollo	165.91	b
3	Final	43.95	c
4	Inicial	27.38	c

Elaboración: Por el Ejecutor

En el cuadro 12: nos muestra que, en la fase fenológica “Media Estación ó Maduración” tiene mayor demanda (ETC) con 215.75 mm por tanto es estadísticamente superior a las demás fases fenológicas, le siguen la fase de “Desarrollo” con 165.91 y por último se ubican las fases “Final” y “Inicial” con 43.95 y 27.38mm respectivamente.

4.7.3. IDENTIFICACIÓN DE ETAPAS FENOLÓGICAS PARAMETROS DEL DESARROLLO

Para la identificación de las etapas fenológicas del cultivo se evaluaron semanalmente parámetros de desarrollo de las plantas promediadas y expresadas en porcentajes desde la siembra hasta la cosecha, todos los resultados se observan en el siguiente cuadro.

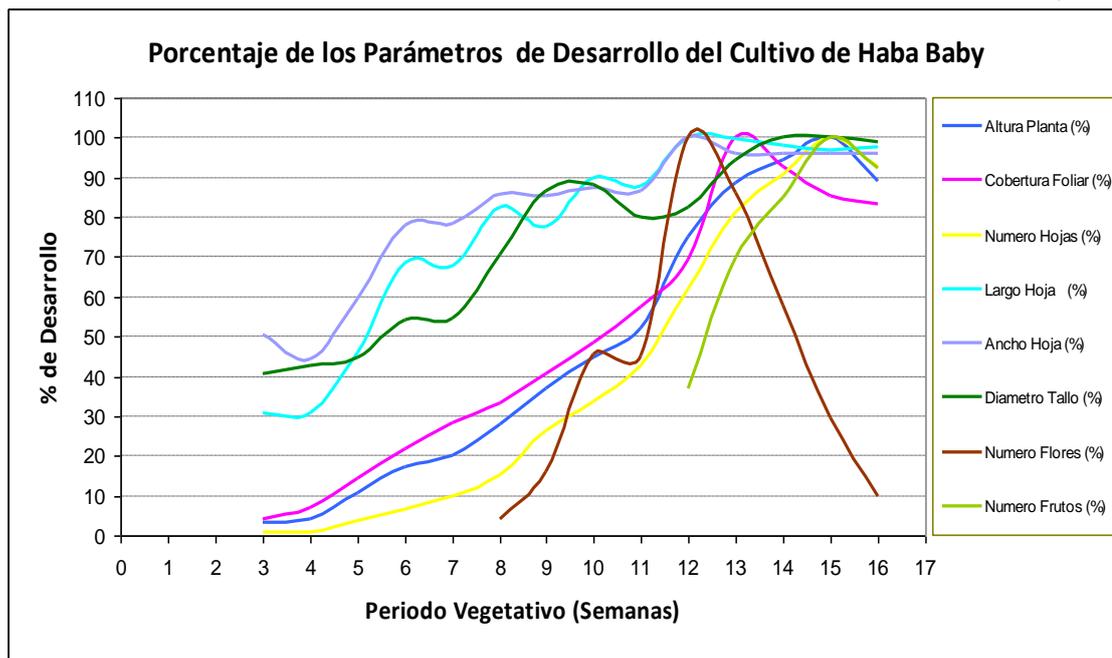
Cuadro 13: *Parámetros de Evaluación del desarrollo del cultivo*

CULTIVO DE HABA BABY: MEDIDAS FISIOTECNICAS									
Semanas	Altura Planta (cm)	Cobertura Foliar (cm)	Numero Hojas (und)	Largo Hoja (cm)	Ancho Hoja (cm)	Diámetro Tallo (cm)	Numero Flores (und)	Numero Frutos (und)	OBSERVACIONES
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Siembra 03/09/2010
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Germinación al 85%
3	2.92	2.42	4.00	2.54	1.82	0.40	0.00	0.00	
4	3.60	4.06	4.40	2.55	1.60	0.42	0.00	0.00	
5	9.60	8.30	20.20	3.79	2.15	0.44	0.00	0.00	
6	15.60	12.60	37.17	5.67	2.82	0.53	0.00	0.00	
7	18.27	16.62	55.00	5.60	2.83	0.53	0.00	0.00	Inicio de Floración
8	25.35	19.50	85.50	6.83	3.10	0.69	1.83	0.00	
9	33.72	23.75	147.50	6.40	3.08	0.85	7.00	0.00	Inicio de Floración
10	40.98	28.25	188.33	7.43	3.17	0.87	20.00	0.00	
11	47.77	33.62	238.50	7.25	3.13	0.78	19.83	0.00	Inicios form. frutos
12	68.55	40.47	346.83	8.27	3.62	0.81	43.83	6.33	
13	80.90	58.38	457.33	8.23	3.47	0.93	37.83	12.00	1ra Cosecha
14	86.18	54.17	509.33	8.12	3.47	0.98	25.42	14.58	2da Cosecha
15	91.45	49.95	561.33	8.00	3.47	0.98	13.00	17.17	3ra Cosecha
16	81.63	48.60	520.08	8.07	3.47	0.97	4.33	15.88	4ta Cosecha

Cuadro 14: *Parámetros de Evaluación del desarrollo del cultivo en Porcentajes*

CULTIVO DE HABA BABY MEDIDAS FISIOTECNICAS									
Semanas	Altura Planta (%)	Cobertura Foliar (%)	Numero Hojas (%)	Largo Hoja (%)	Ancho Hoja (%)	Diámetro Tallo (%)	Numero Flores (%)	Numero Frutos (%)	OBSERVACIONES
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Siembra 03/09/2010
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Germinación al 85%
3	3.19	4.15	0.71	30.73	50.32	40.82	0.00	0.00	
4	3.94	6.95	0.78	30.85	44.24	42.86	0.00	0.00	
5	10.50	14.22	3.60	45.85	59.45	44.90	0.00	0.00	
6	17.06	21.58	6.62	68.55	77.88	54.08	0.00	0.00	
7	19.97	28.46	9.80	67.74	78.34	54.42	0.00	0.00	
8	27.72	33.40	15.23	82.66	85.71	70.58	4.18	0.00	
9	36.87	40.68	26.28	77.42	85.25	86.73	15.97	0.00	Inicio de Floración
10	44.82	48.39	33.55	89.92	87.56	88.44	45.63	0.00	
11	52.23	57.58	42.49	87.70	86.64	79.93	45.25	0.00	Inicios de form.fruto
12	74.96	69.31	61.79	100.00	100.00	82.48	100.00	36.89	
13	88.46	100.00	81.47	99.60	95.85	94.39	86.31	69.90	1ra Cosecha
14	94.23	92.78	90.74	98.19	95.85	100.00	57.98	84.95	2da Cosecha
15	100.00	85.56	100.00	96.77	95.85	100.00	29.66	100.00	3ra Cosecha
16	89.26	83.24	92.65	97.58	95.85	98.85	9.88	92.48	4ta Cosecha

Elaboración: Por el Ejecutor

Grafico 07: *Parámetros de Evaluación del Desarrollo del Cultivo Haba Baby*

Mientras que el cultivo va desarrollando aumentan en sus medidas fisicotécnicas del cultivo en tamaño, número de hojas, diámetros de tallo, en área foliar, etc. hasta alcanzar el máximo desarrollo (etapa de maduración) después va decreciendo. Cada etapa a identificar esta relacionado con el consumo de agua en sus diferentes etapas fenológicas del cultivo, como se aprecia en el grafico 07.

4.8. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CULTIVO (K_c .)

Para la determinación de coeficientes de cultivo se utilizó la relación entre la evapotranspiración real del cultivo (ET_c) de haba baby, y la de referencia (ET_p), el primero obtenido los datos por el método de lisímetros en condiciones de campo comercial y el segundo por los métodos de: (Tanque Evaporímetro Clase A y Estación Agroclimática Automática – Penman Monteith). Los valores obtenidos de ambos casos fueron agrupados por semanas obteniendo los valores de coeficientes de cultivo K_c , con la siguiente relación: ($ET_r/ET_p = K_c$) para cada semana. Cuyos resultados se encuentran en el **cuadro 15**.

Cuadro 15: *Determinación de Valores Semanales del Coeficiente de Cultivo (Kc)*

Semanas	Kc Semanales por los Dos Métodos					
	Kc Método Tanque Evaporimetro Clase A			Kc Método Estación Agroclimática Automática		
	Lisímetro I	Lisímetro II	Lisímetro III	Lisímetro I	Lisímetro II	Lisímetro III
1	0.29	0.28	0.26	0.27	0.26	0.24
2	0.31	0.31	0.28	0.25	0.25	0.22
3	0.34	0.36	0.32	0.34	0.32	0.29
4	0.54	0.66	0.61	0.46	0.55	0.50
5	0.51	0.52	0.38	0.49	0.49	0.36
6	0.39	0.36	0.33	0.69	0.33	0.30
7	0.62	0.62	0.46	0.58	0.59	0.45
8	0.76	0.94	0.60	0.69	0.86	0.54
9	1.12	1.26	0.89	1.03	1.17	0.82
10	1.44	1.27	0.92	1.38	1.22	0.88
11	1.46	1.39	1.21	1.37	1.30	1.13
12	1.48	1.42	1.39	1.37	1.33	1.29
13	1.42	1.39	1.20	1.36	1.33	1.15
14	1.53	1.48	1.34	1.35	1.31	1.18
15	1.23	1.20	1.04	1.12	1.09	0.93
16	0.99	0.92	0.85	0.91	0.85	0.80
17	0.98	0.81	0.85	0.83	0.69	0.72

Elaboración: Por el Ejecutor

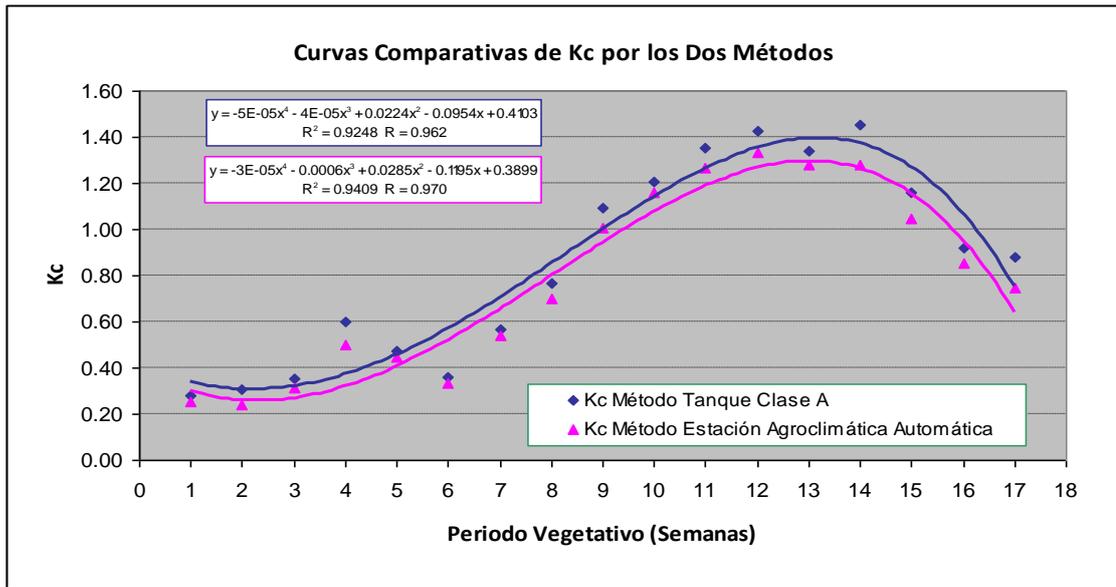
Cuadro 16: *Comparación de Promedios Semanales de Coeficientes de Cultivo (Kc) por los Dos Métodos*

Semanas	Kc Semanales Promedio de los dos Métodos	
	Kc por el Método Tanque Clase A	Kc por el Método Estación Agroclimática Automática
1	0.28	0.25
2	0.30	0.24
3	0.34	0.31
4	0.60	0.50
5	0.47	0.45
6	0.36	0.33
7	0.57	0.54
8	0.76	0.70
9	1.09	1.01
10	1.21	1.16
11	1.35	1.27
12	1.43	1.33
13	1.34	1.28
14	1.45	1.28
15	1.16	1.05
16	0.92	0.85
17	0.88	0.75

Elaboración: Por el Ejecutor

Los valores de Kc. obtenidos fueron graficados por los dos métodos para su mejor interpretación y para observar claramente las etapas de desarrollo del cultivo y ajustados a un modelo polinomial resultando de la siguiente manera.

Grafico 08: Comparación de Curvas reales de Coeficientes del Cultivo Haba Baby por los Dos Métodos.



Del grafico 08: se puede ilustrar que el cultivo de Haba Baby, presenta valores medios semanales de Coeficientes de Cultivo (Kc), obtenidos por el método del Tanque Clase A y Método de Estación Agroclimática Automática – Penman Monteith, existe una buena correlación, por encima de 90% de ambos métodos son muy similares y muy cercanas entre ambas serie de datos calculadas por los dos métodos.

En cambio los valores calculados por el método de Estación Agroclimática Automática de Penman Monteith, resulta como la más adecuada de acuerdo a los resultados de la grafica y que tiene mejor correlación y considerada como método estándar para la presente investigación. También se observa claramente que el cultivo de haba baby presenta cuatro etapas de desarrollo bien definidas de acuerdo a su necesidad hídrica durante su periodo vegetativo que se analizan a continuación:

Etapa I.

Considerándose la etapa inicial las tres primeras semanas de 1 a la 3, determinados por la grafica 09, el coeficiente del cultivo Kc, llegando hasta un valor de 0.27 promedio para esta etapa. Observándose además que la segunda semana el cultivo inicia la germinación en un 85% y a la tercera ya se tiene una germinación del 100%.

Etapa II.

A partir de la semana 3 a la semana 10, la planta realiza un incremento ascendente del consumo de agua, por lo que los coeficientes del cultivo Kc, ascienden desde valores de

0.27 hasta 1.24, por lo que el K_c , medio resulta el de la semana 6 (K_c de 0.76), sin embargo proponer dicho K_c para riego en este periodo de tiempo no sería conveniente, ya que el cultivo regado de la semana 3 a la 6 estaría sobre atendido de agua y de la semana 6 a la 10 estaría sub atendido, por lo que en esta etapa lo conveniente sería utilizar K_c para cada semana, lo cual no resulta práctico, proponiéndose usar para el riego de la semana 3 a la semana 6 un K_c de 0.43 y de la semana 6 a la semana 10 un K_c de 0.85.

Etapa III.

El consumo de agua de la semana 10 a la semana 15 tiende a ser constante, por lo que el K_c en esta etapa de riego debe considerándose un valor de 1.24.

Etapa IV.

De la semana 15 a la semana 17 hay un deceso del consumo agua, variando los K_c de 1.24 a 0.88 en la semana 17, por lo que para efectos del riego debe considerarse un K_c equivalente a 0.88 a la semana 17 se tiene una planta envejecida con 60% aproximadamente de frutos sin calidad comercial.

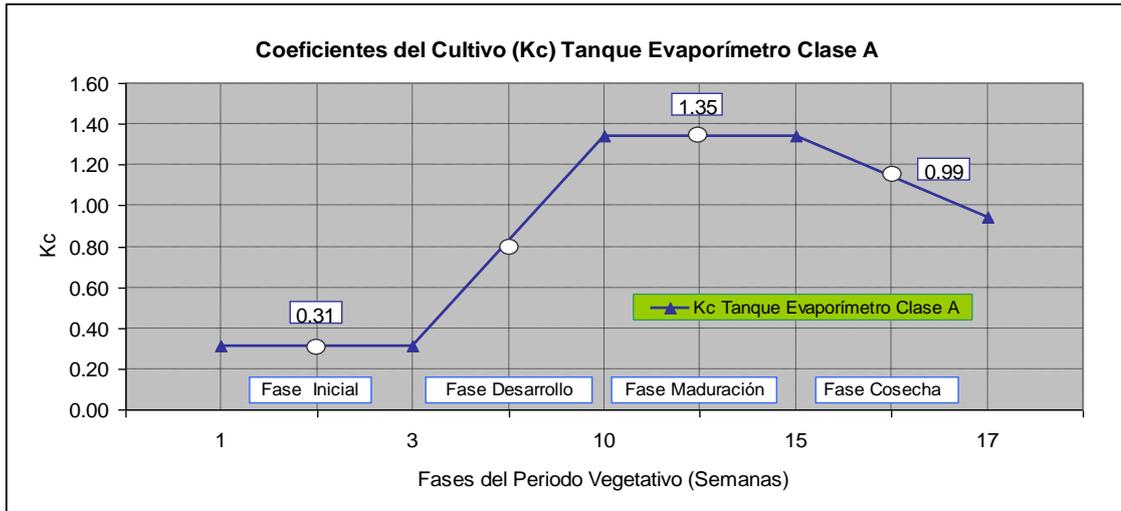
4.9. CURVA TEORICA DE COEFICIENTES DEL CULTIVO (K_c) POR LOS DOS METODOS

Los dos métodos se analizan una por una a continuación:

a). COEFICIENTES DEL CULTIVO (K_c) POR TANQUE EVAPORÍMETRO CLASE A

De la grafica 09, se presentan curvas construidas con los coeficientes de cultivo obtenidas por el método de Tanque Evaporímetro Clase A, los datos se detallan en el siguiente figura.

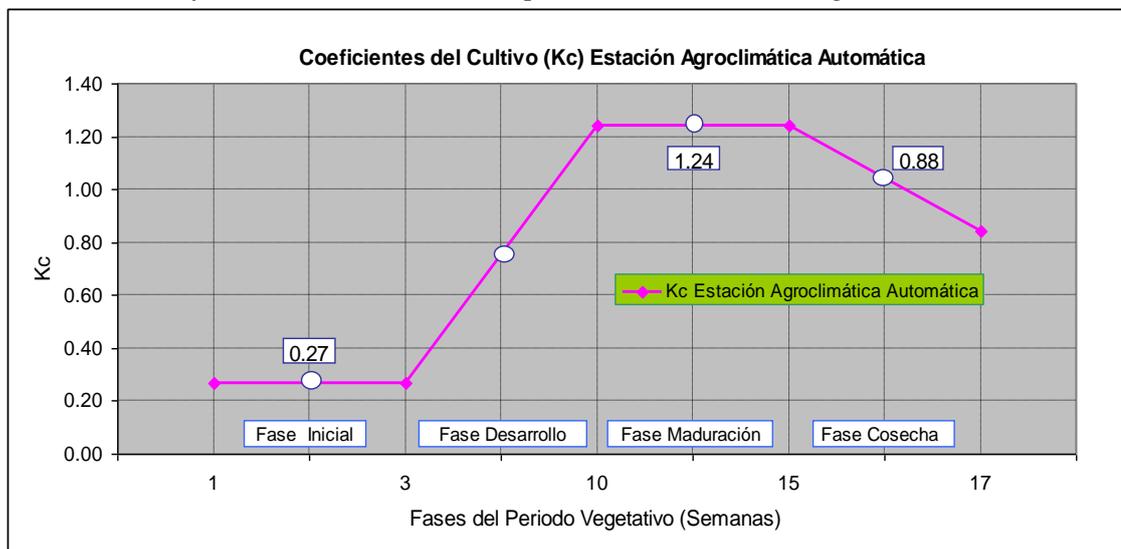
Grafico 09: *Coeficientes del Cultivo (K_c) por el método Tanque Evaporímetro Clase A*



b). COEFICIENTES DEL CULTIVO (K_c) POR ESTACIÓN AGROCLIMÁTICA AUTOMÁTICA – PENMAN MONTEIHT

De la grafica 10; se presentan curvas construidas con los coeficientes de cultivo obtenidas para el método de Estación Agroclimática Automática – Penman Monteiht, los datos se detallan en el siguiente figura.

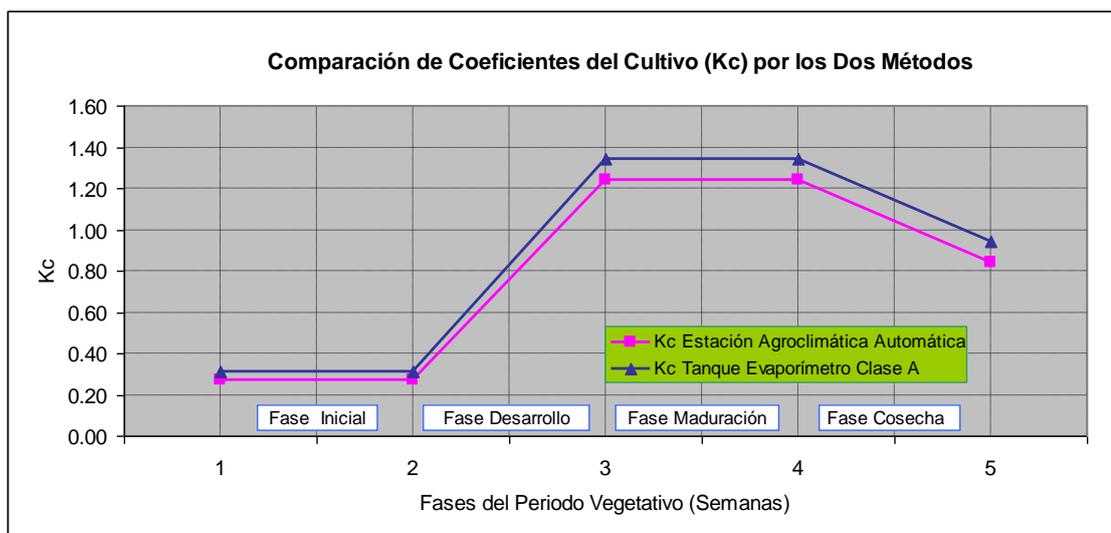
Grafico 10: *Coeficientes del Cultivo (K_c) por método Estación Agroclimática Automática*



4.9.1. COMPARACIÓN DE CURVA TEORICA DE (K_c) POR LOS DOS METODOS

Los valores de K_c , fueron graficados mediante las curvas teóricas y comparadas por los dos métodos para las diferentes fases del periodo vegetativo del cultivo haba baby resultando de la siguiente manera:

Grafico 11: Comparación de Coeficientes del Cultivo (K_c) por los Dos Métodos



El consumo hídrico del cultivo Haba Baby se determinó para las condiciones climatológicas de la Irrigación Majes para diferentes fases del periodo vegetativo del cultivo, por los dos métodos. Los valores de coeficientes de cultivo K_c , se pueden ver en el siguiente cuadro:

Cuadro 17: Comparación de Valores Coeficientes del Cultivo (K_c) por los dos Métodos

Fases Fenológicas del Cultivo Haba Haby	Periodo Vegetativo (Días)	Periodo Vegetativo (Semanas)	Kc Tanque Clase A	Kc Estación Agroclim. Automática
I - Fase Inicial	21	0 - 3	0.31	0.27
II - Fase de Desarrollo	21	4 - 6	0.48	0.43
	28	7 - 10	0.91	0.85
III-Fase de Maduración ó Media Estación	35	11 - 15	1.35	1.24
IV - Fase de Cosecha ó Ultima Estación	11	16 - 17	0.99	0.88
Total	116	17		

Elaboración: Por el Ejecutor

4.10. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES NETAS DE AGUA DE RIEGO DEL CULTIVO (N_n)

Para determinar la demanda neta de agua o necesidades netas del cultivo haba baby, se determinó la evapotranspiración real del cultivo (E_{Tc}), la precipitación efectiva es nula durante la investigación, aporte capilar en la zona no es importante, por cuanto el nivel freático esta muy profundo. Cambio de almacenamiento de agua del suelo no se toma en cuenta. Por tanto la necesidad neta es igual a la evapotranspiración real del cultivo ($E_{Tr} = N_n$).

Cuadro 18: Necesidades netas de agua de riego del cultivo haba baby

Fases Fenológicas del Cultivo Haba Haby	Periodo Vegetativo (Días)	Periodo Vegetativo (Semanas)	Necesidades Netas Nn (mm/día)	Necesidades Netas Nn por Fases (mm)
I - Fase Inicial	21	0 - 3	1.30	27.383
II - Fase de Desarrollo	21	4 - 6	2.14	45.013
	28	7 - 10	4.39	122.894
III - Fase de Maduración ó Media Estación	35	11 - 15	6.16	215.751
IV - Fase de Cosecha ó Ultima Estación	11	16 - 17	4.00	43.947
Total	116	17		454.988

Elaboración: Por el Ejecutor

La necesidad de agua para el cultivo haba baby se determinó por el método de lisímetro de drenaje en condiciones de campo comercial resultando con un total de 454.988mm de lamina de agua ó 4549.88 m³/Há siendo, la fase de maduración ó media estación de mayor demanda de agua con 215.751mm ó 2157.51 m³/Há.

4.11. DETERMINACION DE LAS NECESIDADES TOTALES DE AGUA DE RIEGO

Para el cálculo de las necesidades de agua totales de riego se tomaron en cuenta todas las perdidas resultantes del sistema de distribución del agua de riego y de la eficiencia de aplicación del agua al cultivo.

En el cuadro se puede mostrar todo los resultados de las necesidades de agua del cultivo haba baby en sus diferentes fases fenológicas obtenidos con los siguientes datos:

Eficiencia de aplicación (Ea) : 0.90

Caudal del gotero: Qg (lt/hr) : 1.00

Espaciamiento entre goteros: Sg (m) : 0.20

Espaciamiento promedio entre laterales de riego: Sl (m) : 1.20

Necesidad Neta (L.n.) = ETc = ETo x Kc

Necesidad Total (N.t.) = Necesidad Neta / Ea

$P = Qg / (Sg * Sl)$

P en mm/hora

Tiempo de Riego Diario= N.t. / P

Cuadro 19: Necesidades Totales de Agua de Riego del Cultivo Haba Baby por Fases Fenológicas

ESTADO DE DESARROLLO	DURACION DEL PERIODO		P.V. (días)	N.n. (mm/día)	N.t. (mm/día)	Volumen (m ³ /ha/día)	Necesidad Total por Fases (m ³ /ha)	TIEMPO DE RIEGO POR POSICION (minutos)
	DESDE	HASTA						
	TOTAL							
I - Fase Inicial	13.04.11	23.02.10	21	1.30	1.45	14.5	304.27	21
II - Fase de Desarrollo	24.02.10	23.03.10	21	2.14	2.38	23.8	500.03	34
	24.03.10	20.04.10	28	4.39	4.88	48.8	1365.47	70
III - Fase de Maduración ó Media Estación	21.04.10	15.06.10	35	6.16	6.85	68.5	2397.11	99
IV - Fase de Cosecha ó Ultima Estación	16.06.10	13.07.10	11	4.00	4.44	44.4	488.28	64
TOTAL			116				5055.16	

Elaboración: Por el Ejecutor

En el cuadro 19: se puede mostrar todo los resultados de las necesidades totales de agua para el cultivo haba baby, por fases de periodo vegetativo por el método de lisímetros de drenaje resultando con un total de volumen consumido de 5055.16 m³/Há siendo la fase de maduración ó de media estación de mayor consumo de agua con 2397.1 m³/Há.

Cuadro 20: Necesidades Totales de Agua de Riego del Cultivo Haba Baby por Meses

VARIABLE	Unidad de Medida	MESES			TOTAL
		ABRIL	MAYO	JUNIO	
		JULIO			
ETC = Nn	mm/día	1.61	2.76	6.10	5.23
Eficiencia de aplicación (Ea)	%	90%	90%	90%	90%
Necesidades Totales (Nn/Ea)	mm/día	1.78	3.07	6.78	5.81
Volumen	m ³ /ha/día	17.84	30.72	67.80	58.14
Área	ha.	1.00	1.00	1.00	1.00
Caudal Demandado	m ³ /día	17.84	30.72	67.80	58.14
N° de días del mes	días	28.00	31.00	30.00	27.00
Demanda de agua ó Necesidad de Agua	m³/mes	499.44	952.38	2,033.93	1,569.67
					5,055.43

Elaboración: Por el Ejecutor

En el cuadro 20: se observa de agua por meses para el cultivo de haba baby por el método de lisímetros obtenidos en condiciones de campo, el mes de mayor demanda es el mes de junio con 2033.93 m³/mes, seguido por el mes de julio con 1569.67 m³/mes.

4.12. RENDIMIENTO OBTENIDO

Para la evaluación de los rendimientos, se ha estimado la producción en Kg. Por hectárea, durante la investigación se ha realizado cuatro cosechas dentro de los lisímetros, los resultados se pueden mostrar a continuación en el siguiente **cuadro 21**.

Cuadro 21: *Producción del Cultivo de Haba Baby por Hectárea*

Cosecha en (Kg)	Lisímetros			Total (Kg)	Repesent. en (%)	Producción de Haba baby en (Kg/ha)
	I	II	III			
1ra Cosecha	0.88	0.6	0.49	0.66	16.13	8140.00
2da Cosecha	2.20	0.95	0.75	1.30	31.94	
3ra Cosecha	1.85	0.90	0.60	1.12	27.44	
4ta Cosecha	1.79	0.88	0.32	1.00	24.49	
Producción Total de Haba Baby en 5m²				4.07	100.00	8140.00

Elaboración: Por el Ejecutor

Figura 12: *Producción y Cosecha del Cultivo de Haba Baby*



Fuente: Imágenes obtenidos por el Ejecutor.

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación en base a los resultados el estudio, nos permite concluir lo siguiente:

1. La evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o) se determinó por dos métodos diferentes: Tanque Evaporímetro Clase A y Estación Agroclimática Automática de Penman Monteith, ésta última ha sido considerado como método estándar para la presente investigación la que mejor se ajusta de acuerdo a los resultados para las condiciones de la Irrigación Majes. Efectuadas de acuerdo al análisis de varianza (ANVA), los valores de evapotranspiración ET_o son diferentes estadísticamente, a la probabilidad de significancia (p: 0.05).
2. La evapotranspiración real del cultivo de haba baby esta en función directa al estado de desarrollo y periodo vegetativo de 116 días, con un resultado total de consumo real de agua de 454.988mm de lamina de agua ó 4549.88 m³/ha ésta obtenida por el método directo de lisímetros en condiciones de campo comercial; siendo la fase critica de mayor necesidad de agua la fase de maduración ó media estación de 215.751 mm. de lamina de agua ó 2157.51 m³/Ha.
3. Efectuadas el análisis estadístico de diseño bloque completo al azar para tratamientos (lisímetros I, II, III) no hubo significancia estadísticamente, lo cual indica que los valores de evapotranspiración real del cultivo son iguales estadísticamente, entre los tres lisímetros. Mientras tanto para bloques (fases fenológicas) resulta altamente significativo lo que nos indica que tienen diferente evapotranspiración en cada fase fenológica, a la probabilidad de significancia (p: 0.05).
4. El coeficiente del cultivo (K_c) de haba baby obtenido entre los métodos de Lisímetros en condiciones de campo comercial (ETC) y Estación Agroclimática Automática – Penman Monteiht, varia en el rango de 0.27 hasta 1.24 con una media 0.73, con valores mínimos en la fase inicial y valores máximos en la fase de maduración ó media estación; el periodo vegetativo del cultivo comprende de 116 días equivalentes a 17 semanas y siendo los coeficientes de cultivo K_c, conforme al siguiente cuadro:

Cuadro: Coeficientes del Cultivo Haba Baby

Fases Fenológicas del Cultivo Haba Haby	Periodo Vegetativo (Días)	Periodo Vegetativo (Semanas)	Kc
I - Fase Inicial	21	0 - 3	0.27
II - Fase de Desarrollo	21	4 - 6	0.43
	28	7 - 10	0.85
III - Fase de Maduración ó Media Estación	35	11 - 15	1.24
IV - Fase de Cosecha ó Ultima Estación	11	16 - 17	0.88
Total	116	17	

5. La necesidad neta de agua de riego es igual a la evapotranspiración real del cultivo en razón de que la precipitación efectiva es nula durante la investigación en la Irrigación Majes.
6. La necesidad total de agua de riego consumida por el cultivo de haba baby durante su periodo vegetativo es de 5,055.16m³/ha.
7. La producción o rendimiento de haba baby verde en vaina en los cuatro cosechas se obtuvo un total de 8,140 kg por hectárea ya que la presente investigación se realizó en condiciones campo comercial de la Irrigación Majes – Arequipa; pudiendo realizarse mas cosechas solo para autoconsumo y mas no para la exportación porque las condiciones ya no cumple.

VI. RECOMENDACIONES

Finalmente al concluir el presente estudio se recomienda:

1. Realizar investigaciones similares al presente trabajo en otras zonas con potencialidades de producción del cultivo de Haba Baby con riego presurizado para optimizar adecuadamente el recurso hídrico de la zona.
2. Se recomienda realizar estudios con otros métodos directos e indirectos para determinar la evapotranspiración ó uso consuntivo del cultivo.
3. Finalmente recomendar a las instituciones gubernamentales y no gubernamentales, para que pudiesen interesar en realizar trabajos de investigación sobre las demandas reales para diferentes tipos de cultivos para nuestra región de Puno, implementando nuevas tecnologías como la Estación Agroclimática Automática, para determinar las necesidades de agua del cultivo; como las tiene Majes.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. AVIDÁN, A. 1994 “Determinación del Régimen de Riego de los Cultivos”, CINADCO-Estado de Israel.
2. BENITES C, C.A. 2001 “Sistemas hidráulicos de Riego” Editorial UNSA-Arequipa-Perú.
3. BENITES C.C. 1999 “Sistemas Hidráulicos de Riego – Diseño y Construcción”– Arequipa – Perú 698 Pág.
4. BARBADO L. 2006 “Huertas Orgánicas” 1ra Edición, Editorial Albatros, Buenos Aires – Argentina.
5. CASTAÑÓN G. 2000 “Ingeniería del Riego” Utilización Racional del Agua. COPYRIGHT Editores Spain – España.
6. CASTELLVI, S.F. 1996 “Agrometeorología Ministerio de Pesca y Alimentación”, Mundi Prensa – España.
7. CORAS M, P. M. 2003 “Propiedades físicas del suelo Relacionadas con el Riego” Universidad Autónoma Chapingo – México.
8. CHINO T. H. 2006 “Determinación del Coeficiente del Cultivo (Kc) por los métodos Experimentales e Empíricos”. Tesis Ingeniería Agrícola UNA – Puno.
9. DOOREMBOS J, y PRUITT, W.O. 1979 “Las Necesidades de Agua de los Cultivos”. Estudio FAO, Riego y Drenaje, Publicación N° 69, Roma.
10. FAO 2006 “Evapotranspiración del Cultivo, Guía para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivo”, Estudio FAO Riego y Drenaje; Boletín 56; Roma.
11. FUENTES Y. J. 1998, “Curso de Riego para Regantes”. Ministerio de Pesca y Alimentación – México.
12. FUENTES Y, J.L. 1998 “Técnicas de Riego” Ediciones Mundi Prensa – España.
13. GUROVICH R., L. 1999 “Riego Superficial Tecnificado”. Ediciones Universidad Católica de Chile, Segunda Edición, Chile 610 Pág.

14. GOYAL, R. M. y GONZALES F. E. 1990 “Manejo de Riego por Goteo”, Puerto Rico, Ser. De Extensión Agrícola del Colegio de Ciencias Agrícolas del Recinto de Mayagüez.
15. MONSALVE S, G. 1999 “Hidrología en Ingeniería” 2da. Edición. Alfoomega - Colombia.
16. OLARTE H, W. 2002 “Manual Diseño y Gestión de Sistemas de Riego por Aspersión en Laderas” Proyecto MASAL. Cusco.
17. OLIVERA C, C. 2009 “Determinación de Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Alcachofa Imperial Start, por el Método de Lisímetros de Drenaje en la Irrigación de Majes - Arequipa” Tesis Ingeniería Agrícola UNA – Puno.
18. PIZARRO C., F. 1990 “Riegos Localizados de Alta Frecuencia”. Ediciones Mundi-Prensa, Segunda Edición, Madrid – España, 471 Pág.
19. PARDO C, W. G. 2001 “Determinación de coeficientes de Cultivo Kc para Haba y Cebolla por el método de Balance de masas” Tesis de Ing. Agrónomo UMSS Cochabamba-Bolivia.
20. PIZARRO C., F. 1996 “Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, micro aspersión, exudación”. 3a Edición. Ediciones Mundi – Prensa. España. 513 Pág.
21. REYES C. L.V. 1992 “Hidrología Básica”, 1ra Edición Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lima – Perú.
22. SEGURA P. 1998. el agua para riego en regiones semiáridas. Déficit, infradotación, eficacia y productividad. Una aproximación. Zapata, M. Segura, P. (eds.). Riego Deficitario Controlado: Fundamentos y Aplicaciones. Mundi-Prensa. Madrid.
23. SERRUTO C, R. 1987 “Riegos y Drenajes” U.N.A.-F.C.A. Puno-Perú.
24. ISRAELSEN O, W. Y HANSEN V, E. 1979 “Principios y Aplicaciones de Riego” Editorial Revete S.A. España.
25. VASQUEZ V, A.- CHANG N, L. 1992 “El Riego” Principios Básicos. Tomo I Ediciones Charles Sutton UNALM- Lima.

26. VASQUEZ, V. A. 1992 “El Riego”. Universidad Agraria la Molina, impreso en Lima-Perú.
27. VASQUEZ V, A. 2000 “Manejo de Cuencas Alto Andinas” Edición Escuela Superior de Administración “Charles Sutton”. Impreso en el Perú. Tomo II.
28. VASQUEZ V., A. 1990 “Experimentación Agrícola, Diseños Estadísticos para la Investigación Científica y Tecnológica”. Cajamarca, Perú Universidad Nacional de Cajamarca y CONCYTEC. 278 pag.
29. <http://www.plantasparacurar.com/la-planta-de-haba/>
30. <http://www.sira-arequipa.org.pe/principal/inftecnica/manuales/necesidad.doc>
31. http://es.wikipedia.org/wiki/Vicia_faba
32. <http://www.infoagro.com/hortalizas/haba.htm>

ANEXOS

Anexo 01: Datos de Evaporación Obtenidos Mediante el Tanque Clase "A" en el Centro de Reconversión Agro ganadera CRA del Proyecto Especial Majes – Sigvas AUTODEMA.

Cultivo : Haba Baby
Fecha de Siembra : 03/04/2011

UBICACIÓN:

Departamento : Arequipa
Provincia : Caylloma
Distrito : Majes
Lugar : C.R.A.- AUTODEMA
Autor : Bach. Leonidas Machaca Cari

Fecha	Nº Días	Lect. 24h.6.am (mm)	Evaporación Tanque A (mm/día)	Kt	ETo (mm/día)	Observaciones
03/04/2011	1	188	4.0	0.705	2.82	
04/04/2011	2	184	5.0	0.705	3.53	
05/04/2011	3	179	5.0	0.705	3.53	
06/04/2011	4	174	8.0	0.705	5.64	
07/04/2011	5	166	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 200 mm
08/04/2011	6	194	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 201mm
09/04/2011	7	204	6.0	0.705	4.23	
10/04/2011	8	198	8.0	0.705	5.64	
11/04/2011	9	190	6.0	0.705	4.23	
12/04/2011	10	184	5.0	0.705	3.53	
13/04/2011	11	179	6.0	0.705	4.23	
14/04/2011	12	173	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 210mm
15/04/2011	13	206	6.0	0.705	4.23	
16/04/2011	14	200	5.0	0.705	3.53	
17/04/2011	15	195	6.0	0.705	4.23	
18/04/2011	16	189	6.0	0.705	4.23	
19/04/2011	17	183	7.0	0.705	4.94	
20/04/2011	18	176	7.0	0.705	4.94	Enrase de tanque : 210mm
21/04/2011	19	203	6.0	0.705	4.23	
22/04/2011	20	197	6.0	0.705	4.23	
23/04/2011	21	191	6.0	0.705	4.23	
24/04/2011	22	185	5.0	0.705	3.53	
25/04/2011	23	180	6.0	0.705	4.23	
26/04/2011	24	174	7.0	0.705	4.94	
27/04/2011	25	203	6.0	0.705	4.23	
28/04/2011	26	197	5.0	0.705	3.53	
29/04/2011	27	192	7.0	0.705	4.94	
30/04/2011	28	185	6.0	0.705	4.23	

Anexo 01: Datos de Evaporación Obtenidos Mediante el Tanque Clase "A" en el Centro de Reconversión Agro ganadera CRA del Proyecto Especial Majes – Sigvas AUTODEMA.

Cultivo : Haba Baby
Fecha de Siembra : 03/04/2011

UBICACIÓN:

Departamento : Arequipa
Provincia : Caylloma
Distrito : Majes
Lugar : C.R.A.- AUTODEMA
Autor : Bach. Leonidas Machaca Cari

01/05/2011	29	179	5.0	0.705	3.53	
02/05/2011	30	174	7.0	0.705	4.94	
03/05/2011	31	168	8.0	0.705	5.64	
04/05/2011	32	210	7.0	0.705	4.94	Enrase de tanque: 210mm
05/05/2011	33	203	7.0	0.705	4.94	
06/05/2011	34	196	6.0	0.705	4.23	
07/05/2011	35	190	7.0	0.705	4.94	
08/05/2011	36	183	7.0	0.705	4.94	
09/05/2011	37	176	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 210mm
10/05/2011	38	204	8.0	0.705	5.64	
11/05/2011	39	196	6.0	0.705	4.23	
12/05/2011	40	190	7.0	0.705	4.94	
13/05/2011	41	183	6.0	0.705	4.23	
14/05/2011	42	177	8.0	0.705	5.64	Enrase de tanque: 210mm
15/05/2011	43	202	6.0	0.705	4.23	
16/05/2011	44	196	6.0	0.705	4.23	
17/05/2011	45	190	6.0	0.705	4.23	
18/05/2011	46	184	8.0	0.705	5.64	
19/05/2011	47	176	7.0	0.705	4.94	Enrase de tanque: 210mm
20/05/2011	48	203	6.0	0.705	4.23	
21/05/2011	49	197	6.0	0.705	4.23	
22/05/2011	50	191	6.0	0.705	4.23	
23/05/2011	51	185	6.0	0.705	4.23	
24/05/2011	52	179	6.0	0.705	4.23	
25/05/2011	53	173	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 210mm
26/05/2011	54	207	8.0	0.705	5.64	
27/05/2011	55	199	8.0	0.705	5.64	
28/05/2011	56	191	6.0	0.705	4.23	
29/05/2011	57	185	5.0	0.705	3.53	
30/05/2011	58	180	7.0	0.705	4.94	
31/05/2011	59	173	8.0	0.705	5.64	Enrase de tanque: 210mm

Anexo 01: Datos de Evaporación Obtenidos Mediante el Tanque Clase "A" en el Centro de Reconversión Agro ganadera CRA del Proyecto Especial Majes – Siguas AUTODEMA.

Cultivo : Haba Baby
Fecha de Siembra : 03/04/2011

UBICACIÓN:

Departamento : Arequipa
Provincia : Caylloma
Distrito : Majes
Lugar : C.R.A.- AUTODEMA
Autor : Bach. Leonidas Machaca Cari

01/06/2011	60	202	8.0	0.705	5.64	
02/06/2011	61	194	8.0	0.705	5.64	
03/06/2011	62	186	7.0	0.705	4.94	
04/06/2011	63	179	7.0	0.705	4.94	
05/06/2011	64	172	8.0	0.705	5.64	Enrase de tanque: 210mm
06/06/2011	65	202	7.0	0.705	4.94	
07/06/2011	66	195	7.0	0.705	4.94	
08/06/2011	67	188	8.0	0.705	5.64	
09/06/2011	68	180	7.0	0.705	4.94	Enrase de tanque: 210mm
10/06/2011	69	203	8.0	0.705	5.64	
11/06/2011	70	195	5.0	0.705	3.53	
12/06/2011	71	190	6.0	0.705	4.23	
13/06/2011	72	184	6.0	0.705	4.23	
14/06/2011	73	178	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 210mm
15/06/2011	74	204	8.0	0.705	5.64	
16/06/2011	75	196	6.0	0.705	4.23	
17/06/2011	76	190	7.0	0.705	4.94	
18/06/2011	77	183	6.0	0.705	4.23	
19/06/2011	78	177	8.0	0.705	5.64	Enrase de tanque: 210mm
20/06/2011	79	202	6.0	0.705	4.23	
21/06/2011	80	196	6.0	0.705	4.23	
22/06/2011	81	190	6.0	0.705	4.23	
23/06/2011	82	184	7.0	0.705	4.94	
24/06/2011	83	177	6.0	0.705	4.23	
25/06/2011	84	171	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 210mm
26/06/2011	85	204	8.0	0.705	5.64	
27/06/2011	86	196	8.0	0.705	5.64	
28/06/2011	87	188	6.0	0.705	4.23	
29/06/2011	88	182	5.0	0.705	3.53	
30/06/2011	89	177	7.0	0.705	4.94	Enrase de tanque: 210mm

Anexo 01: Datos de Evaporación Obtenidos Mediante el Tanque Clase "A" en el Centro de Reconversión Agro ganadera CRA del Proyecto Especial Majes – Siguas AUTODEMA.

Cultivo : Haba Baby
Fecha de Siembra : 03/04/2011

UBICACIÓN:

Departamento : Arequipa
Provincia : Caylloma
Distrito : Majes
Lugar : C.R.A.- AUTODEMA
Autor : Bach. Leonidas Machaca Cari

01/07/2011	90	203	7.0	0.705	4.94	
02/07/2011	91	196	7.0	0.705	4.94	
03/07/2011	92	189	6.0	0.705	4.23	
04/07/2011	93	183	7.0	0.705	4.94	
05/07/2011	94	176	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 210mm
06/07/2011	95	204	7.0	0.705	4.94	
07/07/2011	96	197	7.0	0.705	4.94	
08/07/2011	97	190	6.0	0.705	4.23	
09/07/2011	98	184	7.0	0.705	4.94	
10/07/2011	99	177	6.0	0.705	4.23	
11/07/2011	100	171	7.0	0.705	4.94	Enrase de tanque: 210mm
12/07/2011	101	203	6.0	0.705	4.23	
13/07/2011	102	197	5.0	0.705	3.53	
14/07/2011	103	192	6.0	0.705	4.23	
15/07/2011	104	186	8.0	0.705	5.64	
16/07/2011	105	178	8.0	0.705	5.64	Enrase de tanque: 210mm
17/07/2011	106	202	6.0	0.705	4.23	
18/07/2011	107	196	7.0	0.705	4.94	
19/07/2011	108	189	7.0	0.705	4.94	
20/07/2011	109	182	7.0	0.705	4.94	
21/07/2011	110	175	6.0	0.705	4.23	Enrase de tanque: 210mm
22/07/2011	111	204	6.0	0.705	4.23	
23/07/2011	112	198	5.0	0.705	3.53	
24/07/2011	113	193	6.0	0.705	4.23	
25/07/2011	114	187	6.0	0.705	4.23	
26/07/2011	115	181	6.0	0.705	4.23	
27/07/2011	116	175	7.0	0.705	4.94	Enrase de tanque: 210mm

Evaporación Promedio (mm)	6.5	ETo Prom.	4.58
Evaporación Máxima (mm)	8.0	ETo Máx.	5.64
Evaporación Mínima (mm)	4.0	ETo Mín.	2.82
Evaporación Campaña (mm)	753.0	ETo Total.	530.87

Anexo 02: Datos de Estación Agroclimática Automática – Penman Monteiht, en el Centro de Reconversión Agroganadera CRA del Proyecto Especial Majes Siguas AUTODEMA.

Cultivo : Haba Baby
Fecha de Siembra : 03/04/2011

UBICACIÓN:

Departamento : Arequipa
Provincia : Caylloma
Distrito : Majes
Lugar : C.R.A.- AUTODEMA
Autor : Bach. Leonidas Machaca Cari

Fecha	Nº Días	Etp (mm/dia)	Fecha	Nº Días	Etp (mm/dia)
03/04/2011	1	4.3	01/05/2011	29	4.1
04/04/2011	2	5.1	02/05/2011	30	4.1
05/04/2011	3	4.3	03/05/2011	31	4.3
06/04/2011	4	5.1	04/05/2011	32	5.3
07/04/2011	5	4.6	05/05/2011	33	5.6
08/04/2011	6	3.6	06/05/2011	34	5.1
09/04/2011	7	3.6	07/05/2011	35	5.8
10/04/2011	8	5.3	08/05/2011	36	5.3
11/04/2011	9	4.8	09/05/2011	37	5.1
12/04/2011	10	5.3	10/05/2011	38	5.6
13/04/2011	11	5.6	11/05/2011	39	4.6
14/04/2011	12	6.1	12/05/2011	40	5.1
15/04/2011	13	5.1	13/05/2011	41	5.3
16/04/2011	14	4.8	14/05/2011	42	5.1
17/04/2011	15	5.1	15/05/2011	43	5.1
18/04/2011	16	5.3	16/05/2011	44	4.8
19/04/2011	17	5.6	17/05/2011	45	5.3
20/04/2011	18	5.1	18/05/2011	46	5.1
21/04/2011	19	4.8	19/05/2011	47	4.6
22/04/2011	20	4.6	20/05/2011	48	4.6
23/04/2011	21	4.8	21/05/2011	49	4.8
24/04/2011	22	4.6	22/05/2011	50	5.1
25/04/2011	23	4.8	23/05/2011	51	5.1
26/04/2011	24	5.1	24/05/2011	52	4.6
27/04/2011	25	5.1	25/05/2011	53	4.8
28/04/2011	26	4.8	26/05/2011	54	5.3
29/04/2011	27	5.3	27/05/2011	55	5.3
30/04/2011	28	5.3	28/05/2011	56	5.1
			29/05/2011	57	4.8
			30/05/2011	58	5.1
			31/05/2011	59	5.1

Anexo 02: Datos de Estación Agroclimática Automática – Penman Monteiht, en el Centro de Reconversión Agroganadera CRA del Proyecto Especial Majes Siguas AUTODEMA.

Cultivo : Haba Baby
Fecha de Siembra : 03/04/2011

UBICACIÓN:

Departamento : Arequipa
Provincia : Caylloma
Distrito : Majes
Lugar : C.R.A.- AUTODEMA
Autor : Bach. Leonidas Machaca Cari

Fecha	Nº Días	Etp (mm/día)	Fecha	Nº Días	Etp (mm/día)
01/06/2011	60	6.1	01/07/2011	90	5.6
02/06/2011	61	6.1	02/07/2011	91	5.6
03/06/2011	62	5.3	03/07/2011	92	5.8
04/06/2011	63	5.3	04/07/2011	93	5.6
05/06/2011	64	5.3	05/07/2011	94	5.3
06/06/2011	65	4.6	06/07/2011	95	5.6
07/06/2011	66	5.3	07/07/2011	96	4.3
08/06/2011	67	5.8	08/07/2011	97	5.6
09/06/2011	68	5.1	09/07/2011	98	4.8
10/06/2011	69	5.8	10/07/2011	99	4.8
11/06/2011	70	4.3	11/07/2011	100	5.0
12/06/2011	71	4.8	12/07/2011	101	5.1
13/06/2011	72	5.1	13/07/2011	102	5.1
14/06/2011	73	4.6	14/07/2011	103	5.0
15/06/2011	74	4.8	15/07/2011	104	5.0
16/06/2011	75	5.1	16/07/2011	105	5.6
17/06/2011	76	4.6	17/07/2011	106	5.8
18/06/2011	77	4.6	18/07/2011	107	4.3
19/06/2011	78	5.1	19/07/2011	108	4.8
20/06/2011	79	5.1	20/07/2011	109	3.6
21/06/2011	80	5.1	21/07/2011	110	5.3
22/06/2011	81	4.3	22/07/2011	111	5.3
23/06/2011	82	4.8	23/07/2011	112	5.6
24/06/2011	83	4.6	24/07/2011	113	5.3
25/06/2011	84	4.8	25/07/2011	114	5.1
26/06/2011	85	5.3	26/07/2011	115	5.1
27/06/2011	86	4.8	27/07/2011	116	5.3
28/06/2011	87	4.6	28/07/2011	117	5.1
29/06/2011	88	4.1			
30/06/2011	89	4.8			
			ETo Promedio (mm/día)		5.02
			ETo Máximo (mm/día)		6.10
			ETo Mínimo (mm/día)		3.60
			ETo Total (mm/campaña)		582.24

Anexo 03: Datos de Evapotranspiración Real del Cultivo Haba Baby, mediante Lisímetros de Drenaje, en condiciones de Campo Comercial, en el Centro de Reconversión Agronómica CRA del Proyecto Especial Majes - Siguan AUTODEMA.

Cultivo : Haba Baby
 Fecha de Siembra : 03/04/2011

UBICACIÓN:

Departamento : Arequipa
 Provincia : Caylloma
 Distrito : Majes
 Lugar : C.R.A.- AUTODEMA
 Autor : Bach. Leonidas Machaca Cari

Fecha	Nº días	LISÍMETRO I			LISÍMETRO II			LISÍMETRO III				
		Vol. Aplic. (m3)	Vol. Drena. (m3)	Diferencia (m3)	ETc (mm)	Vol. Aplic. (m3)	Vol. Drena. (m3)	Diferencia (m3)	ETc (mm)	Vol. Aplic. (m3)	Vol. Drena. (m3)	Diferencia (m3)
03/04/2011	1	0.0805	0.0470	0.0335	1.12	0.0845	0.0322	1.07	0.0825	0.0303	0.0525	1.09
09/04/2011	7	0.0490	0.0470	0.0322	1.29	0.0395	0.0323	1.30	0.0303	0.0303	0.0525	1.09
14/04/2011	12	0.0400	0.0168	0.0395	1.32	0.0423	0.0070	1.30	0.0445	0.0030	0.0380	1.27
20/04/2011	18	0.0440	0.0005	0.0400	2.00	0.0415	0.0032	1.78	0.0390	0.0065	0.0310	1.55
24/04/2011	22	0.0535	0.0040	0.0310	2.07	0.0555	0.0060	2.70	0.0520	0.0080	0.0356	2.37
27/04/2011	25	0.0640	0.0225	0.0200	2.00	0.0645	0.0150	2.87	0.0605	0.0164	0.0304	3.04
29/04/2011	27	0.0555	0.0440	0.0290	2.90	0.0540	0.0358	2.68	0.0555	0.0301	0.0215	2.15
01/05/2011	29	0.0508	0.0265	0.0273	1.82	0.0494	0.0272	2.03	0.0480	0.0340	0.0180	1.20
04/05/2011	32	0.0592	0.0235	0.0291	2.91	0.0527	0.0190	2.70	0.0572	0.0300	0.0253	2.53
06/05/2011	34	0.0437	0.0301	0.0277	2.77	0.0416	0.0257	2.72	0.0448	0.0319	0.0197	1.97
08/05/2011	36	0.0222	0.0160	0.0178	1.78	0.0143	0.0144	1.04	0.0222	0.0251	0.0114	1.14
10/05/2011	38	0.0279	0.0044	0.0234	1.56	0.0290	0.0039	1.53	0.0256	0.0108	0.0165	1.10
13/05/2011	41	0.1023	0.0045	0.0242	2.42	0.0984	0.0060	2.64	0.1085	0.0091	0.0269	2.69
15/05/2011	43	0.0368	0.0781	0.0358	2.38	0.0526	0.0720	2.72	0.0449	0.0816	0.0170	1.13
18/05/2011	46	0.0513	0.001	0.0224	4.48	0.0620	0.0118	4.64	0.0558	0.0279	0.0234	4.68
19/05/2011	47	0.0217	0.0289	0.0151	3.02	0.0280	0.0388	3.48	0.0276	0.0324	0.0104	2.08

20/05/2011	48	0.0252	0.0066	0.0181	3.62	0.0235	0.0106	0.0143	2.86	0.0290	0.0172	0.0107	2.14
21/05/2011	49	0.0183	0.0071	0.0082	1.64	0.0145	0.0092	0.0051	1.02	0.0363	0.0183	0.0146	2.92
22/05/2011	50	0.0189	0.0101	0.0141	2.82	0.0224	0.0094	0.0138	2.76	0.0193	0.0217	0.0064	1.28
23/05/2011	51	0.0104	0.0048	0.0094	1.88	0.0254	0.0086	0.0179	3.58	0.0255	0.0129	0.0137	2.74
24/05/2011	52	0.0256	0.0010	0.0189	3.78	0.0337	0.0075	0.0244	4.88	0.0238	0.0118	0.0106	2.12
25/05/2011	53	0.0274	0.0067	0.0141	2.82	0.0314	0.0093	0.1183	4.73	0.0273	0.0132	0.0120	2.40
26/05/2011	54	0.0258	0.0133	0.0210	4.20	0.0199			4.73	0.0245	0.0153	0.0153	3.06
27/05/2011	55	0.0222	0.0048	0.0200	4.00	0.0248			4.73	0.0227	0.0092	0.0182	3.64
28/05/2011	56	0.0304	0.0022	0.0249	4.98	0.0280			4.73	0.0305	0.0045	0.0203	4.06
29/05/2011	57	0.0383	0.0055	0.0246	4.92	0.0318			4.73	0.0339	0.0102	0.0185	3.70
30/05/2011	58	0.0322	0.0137	0.0249	4.98	0.0720	0.0176	0.1380	6.90	0.0325	0.0154	0.0251	5.02
31/05/2011	59	0.0335	0.0073	0.0255	5.10	0.0235			6.90	0.0351	0.0074	0.0167	3.34
01/06/2011	60	0.0345	0.008	0.0268	5.36	0.0300			6.90	0.0330	0.0184	0.0257	5.14
02/06/2011	61	0.0315	0.0077	0.0257	5.14	0.0322			6.90	0.0352	0.0073	0.0246	4.92
03/06/2011	62	0.0330	0.0058	0.0280	5.60	0.0375	0.0197	0.0246	4.92	0.0370	0.0106	0.0226	4.52
04/06/2011	63	0.0532	0.005	0.0374	7.48	0.0540	0.0129	0.0354	7.08	0.0520	0.0144	0.0215	4.30
05/06/2011	64	0.0576	0.0158	0.0381	7.62	0.0614	0.0186	0.0310	6.20	0.0530	0.0305	0.0254	5.08
06/06/2011	65	0.0381	0.0195	0.0285	5.70	0.0433	0.0304	0.0313	6.26	0.0326	0.0276	0.0176	3.52
07/06/2011	66	0.0560	0.0096	0.0379	7.58	0.0502	0.0120	0.0337	6.74	0.0489	0.0150	0.0250	5.00
08/06/2011	67	0.0502	0.0181	0.0384	7.68	0.0475	0.0165	0.0344	6.88	0.0480	0.0239	0.0252	5.04
09/06/2011	68	0.0402	0.0118	0.0318	6.36	0.0425	0.0131	0.0255	5.10	0.0448	0.0228	0.0219	4.38
10/06/2011	69	0.0577	0.0084	0.0376	7.52	0.0589	0.0170	0.0379	7.58	0.0569	0.0229	0.0212	4.24
11/06/2011	70	0.0489	0.0201	0.0358	7.16	0.0465	0.0210	0.0270	5.40	0.0425	0.0357	0.0229	4.58
12/06/2011	71	0.0439	0.0131	0.0297	5.94	0.0369	0.0195	0.0210	4.20	0.0316	0.0196	0.0265	5.30
13/06/2011	72	0.0549	0.0142	0.0341	6.82	0.0542	0.0159	0.0328	6.56	0.0402	0.0051	0.0250	5.00
14/06/2011	73	0.0599	0.0208	0.0305	6.10	0.0567	0.0214	0.0346	6.92	0.0630	0.0152	0.0264	5.28
15/06/2011	74	0.0533	0.0294	0.0349	6.98	0.0537	0.0221	0.0323	6.46	0.0539	0.0366	0.0256	5.12
16/06/2011	75	0.0575	0.0184	0.0343	6.86	0.0576	0.0214	0.0343	6.86	0.0525	0.0283	0.0307	6.14

17/06/2011	76	0.0512	0.0232	0.0325	6.50	0.0451	0.0233	0.0313	6.26	0.0414	0.0218	0.0272	5.44
18/06/2011	77	0.0491	0.0187	0.0333	6.66	0.0483	0.0138	0.0319	6.38	0.0487	0.0142	0.0283	5.66
19/06/2011	78	0.0423	0.0158	0.0303	6.06	0.0424	0.0164	0.0321	6.42	0.0363	0.0204	0.0282	5.64
20/06/2011	79	0.0501	0.0120	0.0311	6.22	0.0468	0.0103	0.0334	6.68	0.0469	0.0081	0.0337	6.74
21/06/2011	80	0.0541	0.0190	0.0339	6.78	0.0486	0.0134	0.0335	6.70	0.0397	0.0132	0.0245	4.90
22/06/2011	81	0.0518	0.0202	0.0328	6.56	0.0443	0.0151	0.0321	6.42	0.0463	0.0152	0.0328	6.56
23/06/2011	82	0.0493	0.0190	0.0328	6.56	0.0477	0.0122	0.0341	6.82	0.0506	0.0135	0.0306	6.12
24/06/2011	83	0.0488	0.0165	0.0359	7.18	0.0489	0.0136	0.0328	6.56	0.0484	0.0200	0.0363	7.26
25/06/2011	84	0.0552	0.0129	0.0341	6.82	0.0367	0.0161	0.0254	5.08	0.0436	0.0121	0.0310	6.20
26/06/2011	85	0.0518	0.0211	0.0339	6.78	0.0463	0.0113	0.0321	6.42	0.0435	0.0126	0.0292	5.84
27/06/2011	86	0.0516	0.0179	0.0323	6.46	0.0497	0.0142	0.0341	6.82	0.0479	0.0143	0.0278	5.56
28/06/2011	87	0.0516	0.0193	0.0334	6.68	0.0427	0.0156	0.0306	6.12	0.0542	0.0201	0.0254	5.08
29/06/2011	88	0.0481	0.0182	0.0342	6.84	0.0519	0.0121	0.0335	6.70	0.0508	0.0288	0.0280	5.60
30/06/2011	89	0.0498	0.0139	0.0340	6.80	0.0480	0.0184	0.0311	6.22	0.0499	0.0228	0.0282	5.64
01/07/2011	90	0.0592	0.0158	0.0340	6.80	0.0580	0.0169	0.0345	6.90	0.0559	0.0217	0.0305	6.10
02/07/2011	91	0.0508	0.0252	0.0328	6.56	0.0507	0.0235	0.0333	6.66	0.0397	0.0254	0.0304	6.08
03/07/2011	92	0.0527	0.0180	0.0327	6.54	0.0517	0.0174	0.0346	6.92	0.0494	0.0093	0.0305	6.10
04/07/2011	93	0.0568	0.0200	0.0382	7.64	0.0520	0.0171	0.0369	7.38	0.0531	0.0189	0.0380	7.60
05/07/2011	94	0.0695	0.0186	0.0344	6.88	0.0830	0.0151	0.0299	5.98	0.0560	0.0151	0.0273	5.46
06/07/2011	95	0.0618	0.0351	0.0325	6.50	0.0596	0.0531	0.0337	6.74	0.0580	0.0287	0.0323	6.46
07/07/2011	96	0.0657	0.0293	0.0348	6.96	0.0541	0.0259	0.0340	6.80	0.0466	0.0257	0.0286	5.72
08/07/2011	97	0.0586	0.0309	0.0351	7.02	0.0461	0.0201	0.0324	6.48	0.0437	0.0180	0.0301	6.02
09/07/2011	98	0.0586	0.0235	0.0396	7.92	0.0524	0.0137	0.0388	7.76	0.0417	0.0136	0.0298	5.96
10/07/2011	99	0.0529	0.0190	0.0341	6.82	0.0450	0.0136	0.0335	6.70	0.0481	0.0119	0.0296	5.92
11/07/2011	100	0.0504	0.0188	0.0348	6.96	0.0423	0.0115	0.0323	6.46	0.0399	0.0185	0.0298	5.96
12/07/2011	101	0.0394	0.0156	0.0211	4.22	0.0421	0.0100	0.0241	4.82	0.0366	0.0101	0.0210	4.20
13/07/2011	102	0.0356	0.0183	0.0243	4.86	0.0454	0.0180	0.0240	4.80	0.0380	0.0156	0.0226	4.52
14/07/2011	103	0.0541	0.0113	0.0328	3.28	0.0465	0.0214	0.0257	2.57	0.0393	0.0154	0.0282	2.82

15/07/2011	104	0.0543	0.0213	0.0341	6.82	0.0473	0.0208	0.0349	6.98	0.0413	0.0111	0.0261	5.22
16/07/2011	105	0.0493	0.0202	0.0348	6.96	0.0445	0.0124	0.0332	6.64	0.0240	0.0152	0.0225	4.50
17/07/2011	106	0.0504	0.0145	0.0321	6.42	0.0438	0.0113	0.0285	5.70	0.0454	0.0015	0.0244	4.88
18/07/2011	107	0.0545	0.0183	0.0283	5.66	0.0490	0.0153	0.0246	4.92	0.0457	0.0210	0.0225	4.50
19/07/2011	108	0.0436	0.0262	0.0111	2.22	0.0408	0.0244	0.0145	2.90	0.0394	0.0232	0.0138	2.76
20/07/2011	109	0.0487	0.0325	0.0268	5.36	0.0432	0.0263	0.0251	5.02	0.0473	0.0256	0.0279	5.58
21/07/2011	110	0.0458	0.0219	0.0161	3.22	0.0375	0.0181	0.0131	2.62	0.0426	0.0194	0.0102	2.04
22/07/2011	111	0.0477	0.0297	0.0189	3.78	0.0423	0.0244	0.0197	3.94	0.0463	0.0324	0.0165	3.30
23/07/2011	112	0.0369	0.0288	0.0189	3.78	0.0341	0.0226	0.0171	3.42	0.0371	0.0298	0.0163	3.26
24/07/2011	113	0.0358	0.0180	0.0222	4.44	0.0352	0.0170	0.0165	3.30	0.0380	0.0208	0.0183	3.66
25/07/2011	114	0.0325	0.0136	0.0194	3.88	0.0281	0.0187	0.0169	3.38	0.0347	0.0197	0.0155	3.10
26/07/2011	115	0.0336	0.0131	0.0217	4.34	0.0346	0.0112	0.0171	3.42	0.0376	0.0192	0.0207	4.14
27/07/2011	116	0.0330	0.0119	0.0228	4.56	0.0295	0.0175	0.0213	4.26	0.0355	0.0169	0.0204	4.08
			0.0102				0.0082				0.0151		
ETc Promedio (mm/día)		ETc Promedio (mm/día)		ETc Promedio (mm/día)		ETc Promedio (mm/día)		ETc Promedio (mm/día)		ETc Promedio (mm/día)		ETc Promedio (mm/día)	
ETc Máx (mm/día)		ETc Máx (mm/día)		ETc Máx (mm/día)		ETc Máx (mm/día)		ETc Máx (mm/día)		ETc Máx (mm/día)		ETc Máx (mm/día)	
ETc Mínima (mm/día)		ETc Mínima (mm/día)		ETc Mínima (mm/día)		ETc Mínima (mm/día)		ETc Mínima (mm/día)		ETc Mínima (mm/día)		ETc Mínima (mm/día)	
ETc Total (mm/campaña)		ETc Total (mm/campaña)		ETc Total (mm/campaña)		ETc Total (mm/campaña)		ETc Total (mm/campaña)		ETc Total (mm/campaña)		ETc Total (mm/campaña)	
		4.17		4.17		4.13		4.13		4.13		3.47	
		7.92		7.92		7.76		7.76		7.76		7.60	
		1.12		1.12		1.02		1.02		1.02		1.00	
		483.52		483.52		478.80		478.80		478.80		402.64	

Anexo 04: Datos de Coeficientes del Cultivo Kc, Mediante Lisímetros de Drenaje en el Centro de Reconversión Agroganadera CRA del Proyecto Especial Majes - Siguan AUTODEMA.

Cultivo : Haba Baby :
 Fecha de Siembra : 03/04/2011

UBICACIÓN:
 Departamento : Arequipa
 Provincia Distrito : Caylloma
 Lugar : Majes
 Autor : C.R.A.- AUTODEMA Bach. Leonidas Machaca Cari

Fecha	Nº días	ETo (mm/día)			LISÍMETRO I			LISÍMETRO II			LISÍMETRO III			Kc PROMEDIO	
		Tanque Clase A	Estación Agroclimática Automática	Etc (mm)	Kc Tanque Clase A	Kc Estación Agroclimática Automática	Etc (mm)	Kc Tanque Clase A	Kc Estación Agroclimática Automática	Etc (mm)	Kc Tanque Clase A	Kc Estación Agroclimática Automática	Kc Tanque Clase A	Kc Estación Agroclimática Automática	Kc Tanque Clase A
03/04/2011	1	2.82	4.30	1.12	0.40	0.26	1.07	0.38	0.25	1.00	0.35	0.23	0.38	0.25	
04/04/2011	2	3.53	5.10	1.12	0.32	0.22	1.07	0.30	0.21	1.00	0.28	0.20	0.30	0.21	
05/04/2011	3	3.53	4.30	1.12	0.32	0.26	1.07	0.30	0.25	1.00	0.28	0.23	0.30	0.25	
06/04/2011	4	5.64	5.10	1.12	0.20	0.22	1.07	0.19	0.21	1.00	0.18	0.20	0.19	0.21	
07/04/2011	5	4.23	4.60	1.12	0.26	0.24	1.07	0.25	0.23	1.00	0.24	0.22	0.25	0.23	
08/04/2011	6	4.23	3.60	1.12	0.26	0.31	1.07	0.25	0.30	1.00	0.24	0.28	0.25	0.30	
09/04/2011	7	4.23	3.60	1.29	0.30	0.36	1.30	0.31	0.36	1.09	0.26	0.30	0.29	0.34	
10/04/2011	8	5.64	5.30	1.29	0.23	0.24	1.30	0.23	0.25	1.09	0.19	0.21	0.22	0.23	
11/04/2011	9	4.23	4.80	1.29	0.30	0.27	1.30	0.31	0.27	1.09	0.26	0.23	0.29	0.26	
12/04/2011	10	3.53	5.30	1.29	0.37	0.24	1.30	0.37	0.25	1.09	0.31	0.21	0.35	0.23	
13/04/2011	11	4.23	5.60	1.29	0.30	0.23	1.30	0.31	0.23	1.09	0.26	0.20	0.29	0.22	
14/04/2011	12	4.23	6.10	1.32	0.31	0.22	1.30	0.31	0.21	1.27	0.30	0.21	0.31	0.21	

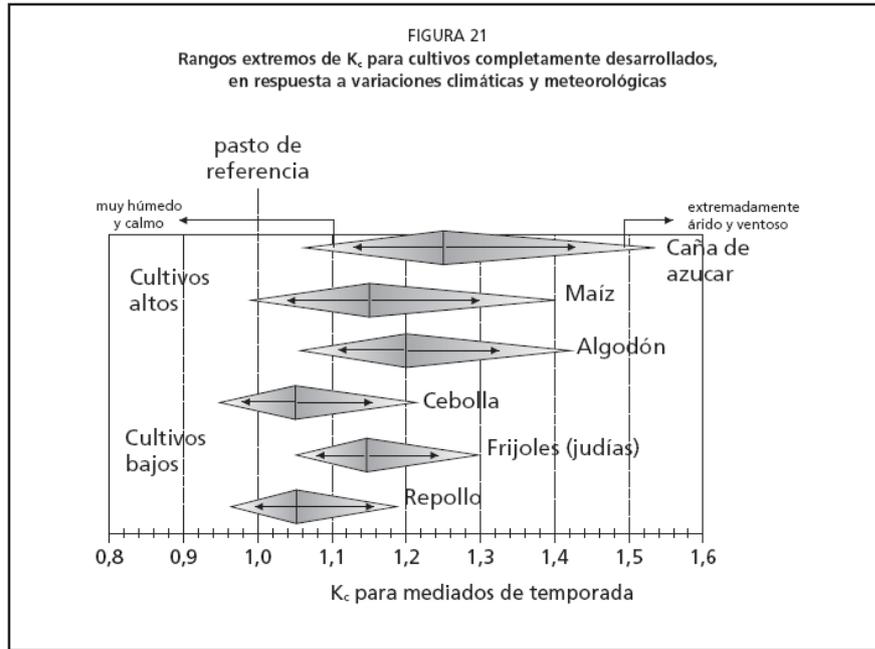
15/04/2011	13	4.23	5.10	1.32	0.31	0.26	1.30	0.31	0.26	1.27	0.30	0.25	0.31	0.25
16/04/2011	14	3.53	4.80	1.32	0.37	0.27	1.30	0.37	0.27	1.27	0.36	0.26	0.37	0.27
17/04/2011	15	4.23	5.10	1.32	0.31	0.26	1.30	0.31	0.26	1.27	0.30	0.25	0.31	0.25
18/04/2011	16	4.23	5.30	1.32	0.31	0.25	1.30	0.31	0.25	1.27	0.30	0.24	0.31	0.24
19/04/2011	17	4.94	5.60	1.32	0.27	0.24	1.30	0.26	0.23	1.27	0.26	0.23	0.26	0.23
20/04/2011	18	4.94	5.10	2.00	0.41	0.39	1.78	0.36	0.35	1.55	0.31	0.30	0.36	0.35
21/04/2011	19	4.23	4.80	2.00	0.47	0.42	1.78	0.42	0.37	1.55	0.37	0.32	0.42	0.37
22/04/2011	20	4.23	4.60	2.00	0.47	0.43	1.78	0.42	0.39	1.55	0.37	0.34	0.42	0.39
23/04/2011	21	4.23	4.80	2.00	0.47	0.42	1.78	0.42	0.37	1.55	0.37	0.32	0.42	0.37
24/04/2011	22	3.53	4.60	2.07	0.59	0.45	2.70	0.77	0.59	2.37	0.67	0.52	0.68	0.52
25/04/2011	23	4.23	4.80	2.07	0.49	0.43	2.70	0.64	0.56	2.37	0.56	0.49	0.56	0.50
26/04/2011	24	4.94	5.10	2.07	0.42	0.41	2.70	0.55	0.53	2.37	0.48	0.47	0.48	0.47
27/04/2011	25	4.23	5.10	2.00	0.47	0.39	2.87	0.68	0.56	3.04	0.72	0.60	0.62	0.52
28/04/2011	26	3.53	4.80	2.00	0.57	0.42	2.87	0.81	0.60	3.04	0.86	0.63	0.75	0.55
29/04/2011	27	4.94	5.30	2.90	0.59	0.55	2.68	0.54	0.51	2.15	0.44	0.41	0.52	0.49
30/04/2011	28	4.23	5.30	2.90	0.69	0.55	2.68	0.63	0.51	2.15	0.51	0.41	0.61	0.49
01/05/2011	29	3.53	4.10	1.82	0.52	0.44	2.03	0.57	0.49	1.20	0.34	0.29	0.48	0.41
02/05/2011	30	4.94	4.10	1.82	0.37	0.44	2.03	0.41	0.49	1.20	0.24	0.29	0.34	0.41
03/05/2011	31	5.64	4.30	1.82	0.32	0.42	2.03	0.36	0.47	1.20	0.21	0.28	0.30	0.39
04/05/2011	32	4.94	5.30	2.91	0.59	0.55	2.70	0.55	0.51	2.53	0.51	0.48	0.55	0.51
05/05/2011	33	4.94	5.60	2.91	0.59	0.52	2.70	0.55	0.48	2.53	0.51	0.45	0.55	0.48
06/05/2011	34	4.23	5.10	2.77	0.65	0.54	2.72	0.64	0.53	1.97	0.47	0.39	0.59	0.49
07/05/2011	35	4.94	5.80	2.77	0.56	0.48	2.72	0.55	0.47	1.97	0.40	0.34	0.50	0.43
08/05/2011	36	4.94	5.30	1.78	0.36	0.34	1.04	0.21	0.20	1.14	0.23	0.22	0.27	0.25
09/05/2011	37	4.23	5.10	1.78	0.42	0.35	1.04	0.25	0.20	1.14	0.27	0.22	0.31	0.26
10/05/2011	38	5.64	5.60	1.56	0.28	0.28	1.53	0.27	0.27	1.10	0.20	0.20	0.25	0.25
11/05/2011	39	4.23	4.60	1.56	0.37	0.34	1.53	0.36	0.33	1.10	0.26	0.24	0.33	0.30
12/05/2011	40	4.94	5.10	1.56	0.32	0.31	1.53	0.31	0.30	1.10	0.22	0.22	0.28	0.27

13/05/2011	41	4.23	5.30	2.42	0.57	0.46	2.64	0.62	0.50	2.69	0.64	0.51	0.61	0.49
14/05/2011	42	5.64	5.10	2.42	0.43	0.47	2.64	0.47	0.52	2.69	0.48	0.53	0.46	0.51
15/05/2011	43	4.23	5.10	2.38	0.56	0.47	2.72	0.64	0.53	1.13	0.27	0.22	0.49	0.41
16/05/2011	44	4.23	4.80	2.38	0.56	0.50	2.72	0.64	0.57	1.13	0.27	0.24	0.49	0.43
17/05/2011	45	4.23	5.30	2.38	0.56	0.45	2.72	0.64	0.51	1.13	0.27	0.21	0.49	0.39
18/05/2011	46	5.64	5.10	4.48	0.79	0.88	4.64	0.82	0.91	4.68	0.83	0.92	0.82	0.90
19/05/2011	47	4.94	4.60	3.02	0.61	0.66	3.48	0.71	0.76	2.08	0.42	0.45	0.58	0.62
20/05/2011	48	4.23	4.60	3.62	0.86	0.79	2.86	0.68	0.62	2.14	0.51	0.47	0.68	0.62
21/05/2011	49	4.23	4.80	1.64	0.39	0.34	1.02	0.24	0.21	2.92	0.69	0.61	0.44	0.39
22/05/2011	50	4.23	5.10	2.82	0.67	0.55	2.76	0.65	0.54	1.28	0.30	0.25	0.54	0.45
23/05/2011	51	4.23	5.10	1.88	0.44	0.37	3.58	0.85	0.70	2.74	0.65	0.54	0.65	0.54
24/05/2011	52	4.23	4.60	3.78	0.89	0.82	4.88	1.15	1.06	2.12	0.50	0.46	0.85	0.78
25/05/2011	53	4.23	4.80	2.82	0.67	0.59	4.73	1.12	0.99	2.40	0.57	0.50	0.78	0.69
26/05/2011	54	5.64	5.30	4.20	0.74	0.79	4.73	0.84	0.89	3.06	0.54	0.58	0.71	0.75
27/05/2011	55	5.64	5.30	4.00	0.71	0.75	4.73	0.84	0.89	3.64	0.65	0.69	0.73	0.78
28/05/2011	56	4.23	5.10	4.98	1.18	0.98	4.73	1.12	0.93	4.06	0.96	0.80	1.09	0.90
29/05/2011	57	3.53	4.80	4.92	1.40	1.03	4.73	1.34	0.99	3.70	1.05	0.77	1.26	0.93
30/05/2011	58	4.94	5.10	4.98	1.01	0.98	6.90	1.40	1.35	5.02	1.02	0.98	1.14	1.10
31/05/2011	59	5.64	5.10	5.10	0.90	1.00	6.90	1.22	1.35	3.34	0.59	0.65	0.91	1.00
01/06/2011	60	5.64	6.10	5.36	0.95	0.88	6.90	1.22	1.13	5.14	0.91	0.84	1.03	0.95
02/06/2011	61	5.64	6.10	5.14	0.91	0.84	6.90	1.22	1.13	4.92	0.87	0.81	1.00	0.93
03/06/2011	62	4.94	5.30	5.60	1.13	1.06	4.92	1.00	0.93	4.52	0.92	0.85	1.02	0.95
04/06/2011	63	4.94	5.30	7.48	1.52	1.41	7.08	1.43	1.34	4.30	0.87	0.81	1.27	1.19
05/06/2011	64	5.64	5.30	7.62	1.35	1.44	6.20	1.10	1.17	5.08	0.90	0.96	1.12	1.19
06/06/2011	65	4.94	4.60	5.70	1.16	1.24	6.26	1.27	1.36	3.52	0.71	0.77	1.05	1.12
07/06/2011	66	4.94	5.30	7.58	1.54	1.43	6.74	1.37	1.27	5.00	1.01	0.94	1.30	1.22
08/06/2011	67	5.64	5.80	7.68	1.36	1.32	6.88	1.22	1.19	5.04	0.89	0.87	1.16	1.13
09/06/2011	68	4.94	5.10	6.36	1.29	1.25	5.10	1.03	1.00	4.38	0.89	0.86	1.07	1.04

10/06/2011	69	5.64	5.80	7.52	1.33	1.30	7.58	1.34	1.31	4.24	0.75	0.73	1.14	1.11
11/06/2011	70	3.53	4.30	7.16	2.03	1.67	5.40	1.53	1.26	4.58	1.30	1.07	1.62	1.33
12/06/2011	71	4.23	4.80	5.94	1.40	1.24	4.20	0.99	0.88	5.30	1.25	1.10	1.22	1.07
13/06/2011	72	4.23	5.10	6.82	1.61	1.34	6.56	1.55	1.29	5.00	1.18	0.98	1.45	1.20
14/06/2011	73	4.23	4.60	6.10	1.44	1.33	6.92	1.64	1.50	5.28	1.25	1.15	1.44	1.33
15/06/2011	74	5.64	4.80	6.98	1.24	1.45	6.46	1.15	1.35	5.12	0.91	1.07	1.10	1.29
16/06/2011	75	4.23	5.10	6.86	1.62	1.35	6.86	1.62	1.35	6.14	1.45	1.20	1.57	1.30
17/06/2011	76	4.94	4.60	6.50	1.32	1.41	6.26	1.27	1.36	5.44	1.10	1.18	1.23	1.32
18/06/2011	77	4.23	4.60	6.66	1.57	1.45	6.38	1.51	1.39	5.66	1.34	1.23	1.47	1.36
19/06/2011	78	5.64	5.10	6.06	1.07	1.19	6.42	1.14	1.26	5.64	1.00	1.11	1.07	1.18
20/06/2011	79	4.23	5.10	6.22	1.47	1.22	6.68	1.58	1.31	6.74	1.59	1.32	1.55	1.28
21/06/2011	80	4.23	5.10	6.78	1.60	1.33	6.70	1.58	1.31	4.90	1.16	0.96	1.45	1.20
22/06/2011	81	4.23	4.30	6.56	1.55	1.53	6.42	1.52	1.49	6.56	1.55	1.53	1.54	1.51
23/06/2011	82	4.94	4.80	6.56	1.33	1.37	6.82	1.38	1.42	6.12	1.24	1.28	1.32	1.35
24/06/2011	83	4.23	4.60	7.18	1.70	1.56	6.56	1.55	1.43	7.26	1.72	1.58	1.65	1.52
25/06/2011	84	4.23	4.80	6.82	1.61	1.42	5.08	1.20	1.06	6.20	1.47	1.29	1.43	1.26
26/06/2011	85	5.64	5.30	6.78	1.20	1.28	6.42	1.14	1.21	5.84	1.04	1.10	1.13	1.20
27/06/2011	86	5.64	4.80	6.46	1.15	1.35	6.82	1.21	1.42	5.56	0.99	1.16	1.11	1.31
28/06/2011	87	4.23	4.60	6.68	1.58	1.45	6.12	1.45	1.33	5.08	1.20	1.10	1.41	1.30
29/06/2011	88	3.53	4.10	6.84	1.94	1.67	6.70	1.90	1.63	5.60	1.59	1.37	1.81	1.56
30/06/2011	89	4.94	4.80	6.80	1.38	1.42	6.22	1.26	1.30	5.64	1.14	1.18	1.26	1.30
01/07/2011	90	4.94	5.60	6.80	1.38	1.21	6.90	1.40	1.23	6.10	1.24	1.09	1.34	1.18
02/07/2011	91	4.94	5.60	6.56	1.33	1.17	6.66	1.35	1.19	6.08	1.23	1.09	1.30	1.15
03/07/2011	92	4.23	5.80	6.54	1.55	1.13	6.92	1.64	1.19	6.10	1.44	1.05	1.54	1.12
04/07/2011	93	4.94	5.60	7.64	1.55	1.36	7.38	1.50	1.32	7.60	1.54	1.36	1.53	1.35
05/07/2011	94	4.23	5.30	6.88	1.63	1.30	5.98	1.41	1.13	5.46	1.29	1.03	1.44	1.15
06/07/2011	95	4.94	5.60	6.50	1.32	1.16	6.74	1.37	1.20	6.46	1.31	1.15	1.33	1.17
07/07/2011	96	4.94	4.30	6.96	1.41	1.62	6.80	1.38	1.58	5.72	1.16	1.33	1.32	1.51

08/07/2011	97	4.23	5.60	7.02	1.66	1.25	6.48	1.53	1.16	6.02	1.42	1.08	1.54	1.16
09/07/2011	98	4.94	4.80	7.92	1.60	1.65	7.76	1.57	1.62	5.96	1.21	1.24	1.46	1.50
10/07/2011	99	4.23	4.80	6.82	1.61	1.42	6.70	1.58	1.40	5.92	1.40	1.23	1.53	1.35
11/07/2011	100	4.94	5.02	6.96	1.41	1.39	6.46	1.31	1.29	5.96	1.21	1.19	1.31	1.29
12/07/2011	101	4.23	5.09	4.22	1.00	0.83	4.82	1.14	0.95	4.20	0.99	0.83	1.04	0.87
13/07/2011	102	3.53	5.09	4.86	1.38	0.95	4.80	1.36	0.94	4.52	1.28	0.89	1.34	0.93
14/07/2011	103	4.23	5.02	3.28	0.78	0.65	2.57	0.61	0.51	2.82	0.67	0.56	0.68	0.58
15/07/2011	104	5.64	5.02	6.82	1.21	1.36	6.98	1.24	1.39	5.22	0.93	1.04	1.12	1.26
16/07/2011	105	5.64	5.60	6.96	1.23	1.24	6.64	1.18	1.19	4.50	0.80	0.80	1.07	1.08
17/07/2011	106	4.23	5.80	6.42	1.52	1.11	5.70	1.35	0.98	4.88	1.15	0.84	1.34	0.98
18/07/2011	107	4.94	4.30	5.66	1.15	1.32	4.92	1.00	1.14	4.50	0.91	1.05	1.02	1.17
19/07/2011	108	4.94	4.80	2.22	0.45	0.46	2.90	0.59	0.60	2.76	0.56	0.58	0.53	0.55
20/07/2011	109	4.94	3.60	5.36	1.09	1.49	5.02	1.02	1.39	5.58	1.13	1.55	1.08	1.48
21/07/2011	110	4.23	5.30	3.22	0.76	0.61	2.62	0.62	0.49	2.04	0.48	0.38	0.62	0.50
22/07/2011	111	4.23	5.30	3.78	0.89	0.71	3.94	0.93	0.74	3.30	0.78	0.62	0.87	0.69
23/07/2011	112	3.53	5.60	3.78	1.07	0.68	3.42	0.97	0.61	3.26	0.92	0.58	0.99	0.62
24/07/2011	113	4.23	5.30	4.44	1.05	0.84	3.30	0.78	0.62	3.66	0.87	0.69	0.90	0.72
25/07/2011	114	4.23	5.10	3.88	0.92	0.76	3.38	0.80	0.66	3.10	0.73	0.61	0.82	0.68
26/07/2011	115	4.23	5.10	4.34	1.03	0.85	3.42	0.81	0.67	4.14	0.98	0.81	0.94	0.78
27/07/2011	116	4.94	5.30	4.56	0.92	0.86	4.26	0.86	0.80	4.08	0.83	0.77	0.87	0.81

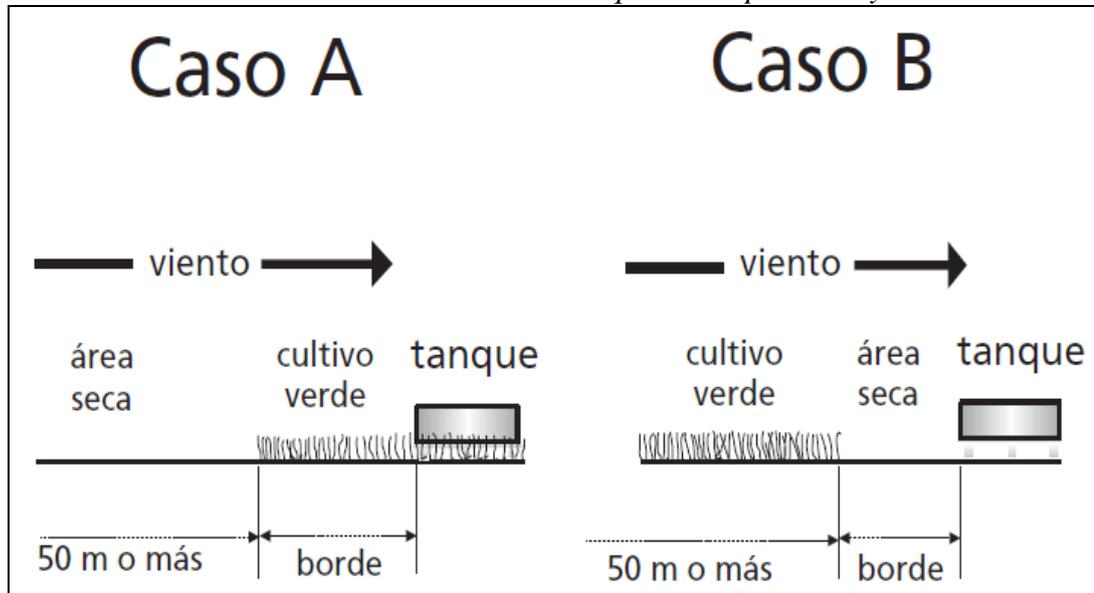
Anexo 05: Rangos extremos de K_c para cultivos completamente desarrollados, en respuesta a variaciones climáticas y meteorológicas



Fuente: Manual 56 de la FAO

De la figura, se desprende que el requerimiento hídrico para cada cultivo es diferente según las variaciones climáticas y las condiciones meteorológicas del lugar.

Anexo 06: Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores



Fuente: Manual 56 de la FAO

Anexo 07: *Coefficientes del tanque evaporimetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localizaciones y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa.*

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada			Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo				
	HR media	baja < 40	media 40-70	alta > 70	baja < 40	media 40-70	alta > 70	
Velocidad del viento (m s ⁻¹)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del barbecho a barlovento (m)			
Baja < 2	1	,55	,65	,75	1	,7	,8	,85
	10	,65	,75	,85	10	,6	,7	,8
	100	,7	,8	,85	100	,55	,65	,75
	1 000	,75	,85	,85	1 000	,5	,6	,7
Moderada 2-5	1	,5	,6	,65	1	,65	,75	,8
	10	,6	,7	,75	10	,55	,65	,7
	100	,65	,75	,8	100	,5	,6	,65
	1 000	,7	,8	,8	1 000	,45	,55	,6
Alta 5-8	1	,45	,5	,6	1	,6	,65	,7
	10	,55	,6	,65	10	,5	,55	,65
	100	,6	,65	,7	100	,45	,5	,6
	1 000	,65	,7	,75	1 000	,4	,45	,55
Muy alta > 8	1	,4	,45	,5	1	,5	,6	,65
	10	,45	,55	,6	10	,45	,5	,55
	100	,5	,6	,65	100	,4	,45	,5
	1 000	,55	,6	,65	1 000	,35	,4	,45

Fuente: Serie FAO Riego y Drenaje No. 24

Anexo 08: *Programa de fertilización para el cultivo de haba baby para una hectarea*

Semanas	Urea (Kg.)	Fosfato Monoamónico (Kg.)	Nitrato de Potasio (Kg.)	Nitrato de Ca (Kg.)	Sulfato de Magnesio (Kg.)
Semana 1	6.0	35.0	10.0	5.0	10.0
Semana 2	12.0	35.0	20.0	5.0	10.0
Semana 3	18.0	25.0	30.0	10.0	10.0
Semana 4	24.0	25.0	40.0	10.0	10.0
Semana 5	18.0	18.0	30.0	10.0	10.0
Semana 6	18.0	18.0	20.0	10.0	10.0
Semana 7	18.0	9.0	10.0	5.0	10.0
Semana 8	12.0	9.0	10.0	5.0	10.0
Semana 9	6.0	9.0	10.0	5.0	10.0
Semana 10	5.0	0.0	10.0	5.0	10.0
Semana 11	5.0	0.0	10.0	5.0	10.0
Semana 12	5.0	0.0	10.0	0.0	10.0
Total	147.0	183.0	210.0	75.0	120.0
Bolsas	2.94	7.32	8.40	3.00	4.80

ANEXO 09

ANÁLISIS DE VARIANZA CON EL PROGRAMA S.A.S.

ANALISIS DE VARIANZA DE D.B.C.A.

The SAS System 18:18 Friday, November 24, 2000 1

Obs	TRATAMIENTOS	FASES	ETC
1	I	1	29.04
2	I	2	178.48
3	I	3	228.34
4	I	4	47.66
5	II	1	27.85
6	II	2	186.88
7	II	3	221.19
8	II	4	42.88
9	III	1	25.26
10	III	2	138.36
11	III	3	197.72
12	III	4	41.30

The SAS System 18:18 Friday, November 24, 2000 2

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
TRATAMIENTOS	3	I II III
FASES	4	1 2 3 4

Number of observations 12

The SAS System 18:18 Friday, November 24, 2000 3

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: ETC

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	78036.30273	15607.26055	109.27	<.0001
Error	6	857.02333	142.83722		
Corrected Total	11	78893.32607			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ETC Mean
0.989137	10.50708	11.95145	113.7467

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRATAMIENTOS	2	1030.34987	515.17493	3.61	0.0936
FASES	3	77005.95287	25668.65096	179.71	<.0001

The SAS System 18:18 Friday, November 24, 2000 4

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ETC

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error Mean Square	142.8372
Critical Value of Studentized Range	4.33902
Minimum Significant Difference	25.929

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	TRATAMIENTOS
A	120.880	4	I
A			
A	119.700	4	II
A			
A	100.660	4	III

The SAS System 18:18 Friday, November 24, 2000 5

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ETC

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error Mean Square	142.8372
Critical Value of Studentized Range	4.89559
Minimum Significant Difference	33.78

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	FASES
A	215.750	3	3
B	167.907	3	2
C	43.947	3	4
C			
C	27.383	3	1

ANEXO 10

ALBUM DE FOTOGRAFÍAS

PANEL FOTOGRAFICO

Fotografía 01: Reconocimiento y instalación de accesorios de riego a los lisímetros



Fotografía 02: Reajustes de Instalación y sembrío del cultivo haba baby



Fotografía 03: Etapa inicial del cultivo de haba baby a los 12 días



Fotografía 04: Etapa inicial del cultivo de haba baby a los 18 días



Fotografía 05: Etapa de desarrollo del cultivo haba baby



Fotografía 06: Inicios de floración del cultivo



Fotografía 07: Etapa de floración ó etapa de maduración del cultivo



Fotografía 08: Madurez fisiológico ó ultima fase del cultivo haba baby



Fotografía 09: Vainas verdes del cultivo para la cosecha



Fotografía 10: Cosecha de haba baby de los tres lisímetros I, II, III



Fotografía 11: Tanque evaporímetro clase A



Fotografía 12: Estación Agroclimática Automática (Davis) y Consola Principal de datos



ANEXO 11

PLANOS DE LOS LISÍMETROS DE DRENAJE