

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**“CALCULO DEL FACTOR DE SECAMIENTO EN EL CULTIVO DE  
LECHUGA (*Lactuca sativa*) CON EL MÉTODO DE RIEGO POR  
MICROASPERSIÓN EN CENTRO AGRONÓMICO K’AYRA -  
SAN JERÓNIMO - CUSCO”**

Tesis presentada por la Bachiller en  
Ciencias Agrarias:

**LISSET HUANCA HUISA**

Para optar al Título Profesional de  
**INGENIERO AGRÓNOMO.**

Asesor:

**Dr. CARLOS JESÚS BACA GARCÍA**

**K’AYRA - CUSCO**

**2019**

## DEDICATORIA

*Con cariño a mi padre Andrés Huanca  
Corrales y en especial a mi madre  
Jeanette Huisa Choqqe por el constante  
apoyo y sobre todo por la inmensa  
paciencia que me tuvo durante todos estos  
años de mi vida.*

*A mis queridos hermanos Kenyo y Grean,  
quienes me inspiran a seguir adelante y  
me acompañan en los momentos malos y  
buenos de mi vida.*

*A mis adorables abuelas, Maria Choqqe y  
Maria Cleofe Corrales.*

*A mí apreciada tía; Sonia Huisa Choqqe,  
y mi prima Patricia Torres Huisa,  
quienes me inducen a seguir adelante en  
mi vida profesional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, y a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía por haberme recibido como estudiante y brindado las condiciones para poder desarrollarme como profesional.

A mis dignos docentes de la Escuela Profesional de Agronomía por haberme impartido sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.

Con profundo reconocimiento a mi asesor Dr. CARLOS JESÚS BACA GARCÍA, por sus sugerencias y orientaciones durante el proceso de mi trabajo de tesis.

A mi amigo Willy Huacho Salas, por las recomendaciones que me ayudaron en la mejora del presente trabajo.

A mis amigas Mily Milagros Zegarra Peña y Tania Vargas Ferrel, que en todo momento me brindaron su apoyo de distintas maneras y estuvieron presentes cuando las necesité.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Identificación del problema objeto de investigación. ....	3
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Preguntas específicas .....	4
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN. ....	5
2.1. Objetivos .....	5
2.2. Justificación.....	6
III. HIPÓTESIS. ....	7
3.1. Hipótesis general.....	7
3.2. Hipótesis específicas.....	7
IV. MARCO TEÓRICO.....	8
4.1. Riego por microaspersión .....	8
4.2. Sistema de riego por microaspersión.....	8
4.3. Aspectos generales para la planificación de riego.....	20
4.4. Parámetros agronómicos de un sistema de riego.....	21
4.5. Evapotranspiración del cultivo .....	26
4.6. Cultivo de lechuga.....	36
V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
5.1. Tipo de investigación.....	48
5.2. Ubicación temporal.....	48
5.3. Ubicación espacial.....	48
5.4. Materiales y metodología.....	49
5.4.1. Materiales.....	49
5.4.2. Metodología.....	50
5.4.3. Conducción del trabajo de investigación.....	51
5.4.4. Diseño agronómico.....	56
5.4.5. Demanda hídrica .....	63
5.4.6. Instalación del sistema de riego por microaspersión.....	68

5.4.7. El cultivo .....	75
5.4.8. Evaluación de variables.....	81
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	84
6.1. Resultados del diseño agronómico.....	84
6.2. Resultados de la demanda hídrica del cultivo de lechuga.....	90
6.3. Resultados del rendimiento del cultivo de lechuga. ....	91
6.4. Resultados de la longitud radicular del cultivo de lechuga. ....	96
VII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	100
7.1. Conclusiones.....	100
7.2. Sugerencias .....	101
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	102
ANEXOS.....	105

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Factor de secamiento para el cultivo de lechuga ( $f$ ).....	24
Cuadro 2. Duración de las etapas de crecimiento para el cultivo de lechuga, para distintos periodos de siembra y regiones climáticas. ....	32
Cuadro 3. Coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) para la lechuga, con fases del periodo vegetativo en días. ....	33
Cuadro 4. Coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) para la lechuga, con periodos de crecimiento en días. ....	33
Cuadro 5. Características del diseño del campo experimental.....	53
Cuadro 6. Análisis de fertilidad.....	55
Cuadro 7. Análisis de caracterización. ....	55
Cuadro 8. Análisis de humedad, densidad y porosidad del suelo.....	55
Cuadro 9: Factores de secamiento ( $f$ ) en estudio.....	57
Cuadro 10. Planilla de manejo de riego. ....	62
Cuadro 11. Coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) de lechuga, con fases del periodo vegetativo en días.....	66
Cuadro 12. Parámetros de diseño agronómico.....	84
Cuadro 13. Coeficiente del cultivo de lechuga, con fases del periodo vegetativo en días, a partir de la curva de $K_c$ .....	85
Cuadro 14: Factores de secamiento ( $f$ ) propuesto para cada parcela.....	85
Cuadro 15. Lámina de riego calculada para la parcela $f_1$ (20%).....	86
Cuadro 16. Lámina de riego calculada para la parcela $f_2$ (25%).....	86
Cuadro 17. Lámina de riego calculada para la parcela $f_3$ (30%).....	87
Cuadro 18. Lámina de riego calculada para la parcela $f_4$ (35%).....	87
Cuadro 19. Numero de riegos por microaspersión, para la parcela $f_1$ . ....	88
Cuadro 20. Numero de riegos por microaspersión, para la parcela $f_2$ . ....	88
Cuadro 21. Numero de riegos por microaspersión, para la parcela $f_3$ . ....	89
Cuadro 22. Numero de riegos por microaspersión, para la parcela $f_4$ . ....	89
Cuadro 23. Demanda hídrica del cultivo de lechuga.....	90
Cuadro 24. Peso de cogollo de 50 lechugas de las parcelas $f_1$ , $f_2$ , $f_3$ y $f_4$ .....	91
Cuadro 25. Procedimiento de la prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis. ....	93
Cuadro 26. Rendimiento del cultivo de lechuga de cuatro parcelas. ....	95
Cuadro 27. Longitud de raíz (cm) de 50 lechugas de las parcelas $f_1$ , $f_2$ , $f_3$ y $f_4$ .....	96
Cuadro 28. Procedimiento de la prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis. ....	98

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Planilla de manejo de riego para el factor de secamiento al 0.20. ....	105
Anexo 2. Planilla de manejo de riego para el factor de secamiento al 0.25. ....	108
Anexo 3. Planilla de manejo de riego para el factor de secamiento al 0.30. ....	111
Anexo 4. Planilla de manejo de riego para el factor de secamiento al 0.35. ....	114
Anexo 5. Resultados de análisis de suelo. ....	117
Anexo 6. Datos meteorológicos de humedad relativa diaria en %. ....	118
Anexo 7. Datos meteorológicos de velocidad del viento diario ajustado a 2m. ....	120
Anexo 8. Datos meteorológicos de precipitación diaria en mm. ....	122

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis se realizó en el Centro Agronómico K'ayra, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, entre los meses de setiembre y diciembre del 2015; teniendo como objetivo general, "CALCULAR EL FACTOR DE SECAMIENTO EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L. Var. White Boston) CON EL MÉTODO DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN EL CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA".

Además, se elaboró el diseño agronómico, se determinó la demanda hídrica y el rendimiento del cultivo de lechuga, y se evaluó la longitud radicular; con la finalidad de determinar la influencia del factor de secamiento ( $f$ ) en el cultivo de lechuga. Para tal fin se instaló cuatro parcelas de áreas iguales con tratamientos al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).

El diseño estadístico que se aplicó para medir los datos recolectados de 200 lechugas; de peso fresco de cogollo (gr.) y longitud radicular (cm), fue la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, con el propósito de conocer si las muestras proceden de la misma población, y comparar si existen diferencias entre las medidas de tendencia central.

Del diseño agronómico resultó; una lámina neta inicial de 48.25 mm, una lámina neta final de 38.6 mm, 36.19 mm, 33.77 mm y 31.36 mm, para las parcelas  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  y  $f_4$ , respectivamente; y una lámina bruta de 53.61 mm. Además; el número riego (NR), tiempo de riego (TN) y frecuencia de riego (FR); para la parcela  $f_1$  fue de NR=7, TR=32 min y FR=4 días; para la parcela  $f_2$  fue de NR=6, TR=42 min y FR=5 días; para la parcela  $f_3$  fue de NR=4, TR=42 min y FR=6 días; para la parcela  $f_4$  fue de NR=4, TR=60 min y FR=6 días.

La demanda hídrica del cultivo de lechuga determinada con la planilla de manejo de riego, mediante las lecturas de evaporación de agua del Tanque Clase A, datos climáticos de humedad relativa y velocidad de viento, fue de 1432.8 m<sup>3</sup>/ha, requerido desde el trasplante hasta la madurez comercial de la lechuga.



La prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis comprobó que hay diferencias en el rendimiento del cultivo de lechuga var. White Boston, entre las parcelas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ), a un nivel de significancia del 0.05. Los resultados presentaron que el mayor rendimiento obtenido fue la parcela  $f_1$  al 25% de factor de secamiento, con 60,480 kg/ha, seguido de la parcela  $f_2$  al 25% de factor de secamiento, con 47,200 kg/ha, parcela  $f_3$  al 30% de factor de secamiento, con 44,560 kg/ha, y la parcela al 35% de factor de secamiento, con 35,200 kg/ha, que fue la de menor rendimiento.

La longitud promedio de la raíz del cultivo de lechuga var. White Boston, al 20% de factor de secamiento, con 17.8cm, fue ligeramente superior; mientras que las parcelas al 25%, 30% y 35% de factor de secamiento, con 16.9 cm, 16.45cm, y 16.0cm respectivamente, fueron estadísticamente iguales.

Todos los aspectos antes mencionados, fueron importantes para concluir que el factor de secamiento ( $f$ ) influye en el rendimiento; estableciendo de esta manera que el valor más apropiado para el cultivo de lechuga var. White Boston es al 20 % de factor de secamiento ( $f$ ).

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental y de suma utilidad para las actividades agropecuarias. La agricultura emplea más del 70% del agua utilizada en el mundo (FAO, 2002), en un contexto de escasez de agua que se agrava por el proceso de calentamiento global, que ha generado cambios climáticos, y vienen afectando las fuentes principales de agua de riego (glaciares y lluvias en la sierra); nos lleva a la necesidad de tomar medidas preventivas para proponer soluciones y optimizar el uso del recurso hídrico.

En el Perú el 80% del agua se utiliza en el riego, sin embargo, la mayor parte (65%) se pierde debido a la práctica extensiva de riegos por gravedad o inundación que tienen una eficiencia de 30% a 45%, haciendo uso excesivo de volúmenes de agua mayores a los sistemas de riego tecnificado.

Durante los últimos años la producción de hortalizas ha experimentado un significativo progreso en cuanto a rendimiento y calidad, dentro de ello la superficie cultivada de lechuga ha ido incrementándose, debido en parte a la introducción de nuevas variedades y el aumento de su consumo.

La lechuga es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja; es ampliamente conocida por su valor nutricional, tiene un importante contenido de carbohidratos, microelementos, vitaminas, y aminoácidos esenciales. Además, se cultiva en casi todos los países del mundo.

En el Perú, la lechuga es considerada uno de los cultivos no tradicionales más importantes de la costa y sierra, se produce tanto al aire libre como bajo invernadero, presenta una gran diversidad dada principalmente por diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas, con una influencia muy importante en la dieta alimentaria.

Entre los factores que afectan el rendimiento del cultivo de lechuga está el uso ineficiente del agua de riego; la lechuga, es altamente dependiente del suministro hídrico artificial debido a los cortos ciclos de producción y a sus características morfológicas y fisiológicas.

Estimar la demanda hídrica del cultivo de lechuga, depende en gran medida del conocimiento de la cantidad de agua que consumen los cultivos a lo largo de su ciclo vegetativo y del momento oportuno para aplicarla, a través de una adecuada planificación de los recursos hídricos.

Por lo tanto, se debe brindar alternativas basadas en el conocimiento y la investigación, para mejorar el uso eficiente de agua de riego en el cultivo de lechuga, a través del estudio de una de las variables relacionadas con el riego, como es el factor secamiento ( $f$ ) o porcentaje de agotamiento de humedad, como se planteó en este trabajo de tesis titulado **“CÁLCULO DEL FACTOR DE SECAMIENTO EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L. Var. White Boston) CON EL MÉTODO DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN EL CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA - SAN JERÓNIMO - CUSCO”**, dicho trabajo tiene como objetivo establecer el factor de secamiento más apropiado para el cultivo de lechuga, en términos de rendimiento.

**LA AUTORA**

## I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN.

### 1.1. Identificación del problema objeto de investigación.

Los efectos del cambio climático como es el aumento de la temperatura, tierras poco fértiles y más importante aún la creciente escasez de agua en el mundo, se ha convertido en un factor limitante en la agricultura, por lo tanto, se debe proyectar adecuadamente el uso racional del agua en la agricultura, a través de una apropiada planificación de los recursos hídricos, en los sistemas de riego.

La lechuga es un cultivo delicado en su manipulación y manejo agronómico, muy sensible al déficit hídrico por su sistema radicular poco profundo, efecto que se hace evidente sobre la producción de materia verde, exigiendo niveles hídricos en el suelo cercanos a capacidad de campo. Esto lleva al productor a la aplicación continua de agua que en la mayoría de los casos resulta superior a sus necesidades, haciendo un uso ineficaz del agua, afectando al rendimiento del cultivo de lechuga.

El factor de secamiento ( $f$ ), representa el descenso humedad que las plantas pueden tolerar según la especie, este valor adimensional varía entre 0.2 y 0.8, para los cultivos más sensibles a la falta de agua se usa valores menores a 0.2 y mayores para los cultivos más tolerables. El factor de secamiento para el cultivo de lechuga se obtiene de estudios realizados en otros países, que no van acorde a nuestras condiciones edafológicas y climáticas de la región. Razón por la cual se planeó las siguientes preguntas:

### 1.2. Planteamiento del problema

¿Cuál es el factor de secamiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. Var. white boston) con el método de riego por microaspersión en el Centro Agronómico K'ayra?

### **1.3. Preguntas específicas**

- ¿Cómo es el diseño agronómico del riego por microaspersión para el cultivo de lechuga (var. White Boston)?
- ¿Cuál es la demanda hídrica del cultivo de lechuga (var. White Boston) con riego por microaspersión mediante el uso del Tanque Clase A?
- ¿Cuál es el rendimiento del cultivo de lechuga (var. White Boston) frente al factor de secamiento con riego por microaspersión?
- ¿Cuál es la longitud radicular del cultivo de lechuga (var. White Boston) al efecto del factor de secamiento con riego por microaspersión?

## **II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN.**

### **2.1. OBJETIVOS**

#### **2.1.1. Objetivo general**

Calcular el factor de secamiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.* var. White Boston) con el método de riego por microaspersión en el Centro Agronómico K'ayra.

#### **2.1.2. Objetivos específicos**

- a.** Elaborar el diseño agronómico del riego por microaspersión, para el cultivo de lechuga (var. White Boston).
- b.** Determinar la demanda hídrica del cultivo de lechuga (var. White Boston) con riego por microaspersión mediante el uso del Tanque Clase A.
- c.** Determinar el rendimiento del cultivo de lechuga (var. White Boston) como consecuencia del factor de secamiento, con riego por microaspersión.
- d.** Evaluar la longitud radicular del cultivo de lechuga (var. White Boston) como efecto del factor de secamiento, con riego por microaspersión.

## 2.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el cultivo de la lechuga es una de las hortalizas de gran importancia en la alimentación familiar que se cultiva bajo diferentes modalidades en nuestra región. Pero el rendimiento de este cultivo viene afectándose por el uso ineficiente del agua de riego, que es altamente dependiente del suministro hídrico artificial debido a los cortos ciclos de producción.

Para manejar con eficiencia el uso de agua en el riego, también se debe evaluar parámetros directamente relacionados a la planificación de riego, así poder destinar al cultivo de lechuga, los volúmenes de agua imprescindibles para su óptimo crecimiento y garantizar la producción y productividad del cultivo.

Destaca la importancia entonces de estudiar variables relacionadas con el riego, como es: el factor de secamiento ( $f$ ) del cultivo de lechuga, para conocer cuál es el descenso de humedad del suelo que la lechuga puede tolerar, optimizando el uso del agua para riego, sin alterar la producción de este cultivo.

- Es fundamental que en todo sistema de riego se deba elaborar un buen diseño agronómico; que en este caso dependerá del factor de secamiento ( $f$ ), para obtener adecuadamente las láminas de riego, tiempo de aplicación, frecuencia de riego, el caudal de los emisores, su distanciamiento, el alcance, la presión de trabajo, etc, para garantizar riegos eficientes.
- La producción hortícola es altamente dependiente del suministro hídrico artificial debido a los cortos ciclos de producción y a sus características morfológicas y fisiológicas de estos, por lo que resulta indispensable investigar la demanda hídrica ajustada del cultivo de lechuga sin modificar su rendimiento promedio.
- Es importante determinar el rendimiento del cultivo, para establecer el factor de secamiento más apropiado para la lechuga.
- La lechuga es un cultivo muy sensible al déficit hídrico por su sistema radicular poco profundo, por lo tanto, es necesario evaluar cómo se desarrollará la longitud radicular de la lechuga, frente a diferentes tratamientos de factor de secamiento ( $f$ ).

### III. HIPÓTESIS.

#### 3.1. Hipótesis general

Si se conoce el factor de secamiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. White Boston) con el método de riego por microaspersión en el Centro Agronómico K'ayra, se mejorará la producción de este cultivo.

#### 3.2. Hipótesis específicas

- a. Al realizar un diseño agronómico, acorde a las condiciones de la zona y al factor de secamiento de la lechuga; se determinará la cantidad y el momento adecuado de riego por microaspersión, para cada etapa fenológica.
- b. Si se determina la demanda hídrica del cultivo de lechuga, con riego por microaspersión mediante el uso del Tanque Clase A, se hará un uso eficiente del agua.
- c. El factor de secamiento influirá en el rendimiento del cultivo de lechuga (var. White Boston).
- d. El factor de secamiento influirá en el desarrollo de la longitud radicular de la lechuga (var. White Boston).



## IV. MARCO TEÓRICO.

### 4.1. RIEGO POR MICROASPERSIÓN

El riego por microaspersión consiste en aplicar agua en forma de lluvia fina mediante dispositivos (llamados microaspersores) que la distribuyen en un radio no superior a los 3 metros. Atendiendo su funcionamiento hidráulico, los dispositivos de microaspersión pueden ser de largo conducto, de orificio, de remolino o auto compensante. (**Matallana y Montero, 2001**).

El riego por microaspersión es homólogo a la aspersión, pero se diferencia de las variadas formas de aspersión convencional, debido a que el caudal y la presión de cada aspersor son bajo. (**Liotta, 2000**).

### 4.2. SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN

El sistema de riego por microaspersión es un método de riego localizado de alta frecuencia (RLAF) que tuvo su origen en Sudáfrica alrededor de 1970, desde donde se condujo a California y posteriormente al resto del mundo. Este sistema de riego consiste en la aplicación de agua asperjada como una lluvia de gotas finas a baja altura que alcanza el suelo mojando una superficie considerable (alrededor del 50% y más). (**Post, 1986**).

**Machuca (1995)**, señala que para lograr buenos resultados en el diseño de cualquier sistema RLFA se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Sistema económico.
- Un coeficiente de uniformidad que garantice una altura de aplicación uniforme en superficie.
- Cubrir las necesidades de evapotranspiración máxima de las plantas.
- Humedecer un determinado porcentaje del volumen de raíces.
- La velocidad de aplicación de agua debe ser igual o menor a la velocidad de infiltración estabilizada del suelo a regar.
- Debe ser un sistema simple de manejar.

Uno de los objetivos que se busca al implementar un sistema de riego de alta frecuencia es suministrar el agua lo más uniforme posible, de acuerdo a las necesidades del cultivo, logrando de esta forma una mayor homogeneidad del mismo, simplificando su manejo. Al hacer uniforme la descarga, se mejoraría la uniformidad, la eficiencia y probablemente otros parámetros de calidad del RLAF. (**Machuca, 1995**).

#### **4.2.1. Características del sistema de riego por microaspersión:**

- El área húmeda que cubre cada microaspersor es reducida pero bastante uniforme.
- Los componentes convencionales del sistema de riego por microaspersión son pequeños y económicos.
- La instalación del sistema de riego generalmente es fija mejorando la eficiencia de riego.
- El sistema de riego por microaspersión requiere bajos caudales para su operación.
- El sistema de riego por microaspersión es aplicable al riego de hortalizas plantas aromáticas, flores, ornamentales.
- Los costos de operación se reducen a diferencia de los sistemas de riego convencional.
- Se adapta a cualquier topografía y suelo.

El sistema de riego por microaspersión en frutales puede ser considerado como un sistema de riego localizado que facilita la aplicación de fertilizante o cualquier insecticida hidrosoluble en el agua de riego disminuyendo los costos de producción y mejorando los resultados de la aplicación. (**Osorio, 1994**).

#### **4.2.2. Caudal del riego por microaspersión.**

Los microaspersores tienen características de distribuir el agua en forma bastante uniforme esta condición permite que se disponga en el terreno sin que exista traslape dentro de sus diámetros de humedecimiento; además se pueden lograr diámetros de

humedecimiento que varían de 3 a 11 mm y eso va a depender del aumento de la presión, del aumento de la boquilla y el aumento del ángulo de emisores.

Los requisitos de caudal son variados y depende tanto del tipo de emisor como del tamaño del patrón de humedad requerida:

- Mini aspersores que tienen gasto de 100 - 300 lt/hora.
- Mini aspersores que tienen gasto de 50 - 90 lt/hora.
- Microjets que tienen gasto de 40 - 70 lt/ hora.

#### **4.2.3. Componentes de un sistema de riego por microaspersión.**

**Liotta Mario, A. (2000)**, señala que los componentes básicos de un sistema de riego por microaspersión son:

- La fuente de abastecimiento de agua
- Cabezal de riego
- Tuberías de conducción principales
- Laterales de riego
- Cabezales de campo
- Laterales de riego con emisores

##### **4.2.3.1. Fuentes de abastecimiento de agua**

El abastecimiento para el equipo puede provenir de agua almacenada en reservorios, cuyas dimensiones dependen de la superficie a regar. Su función es la de abastecer de agua en forma permanente al sistema. Por lo general, se construyen en los sectores más altos cerca de la toma de riego o en un punto medio de distribución del riego.

Figura 1. Esquema de un sistema de riego localizado.



Fuente: Liotta Mario A. (2000)

#### 4.2.3.2. Cabezal de riego

Es el conjunto de elementos que dominan toda la instalación y sirve para proveer presión y caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar fertilizantes, medir volúmenes, etc.

Los componentes principales son:

- **Equipo de bombeo**

El equipo de bombeo es el que provee el caudal y la presión suficiente para el funcionamiento del equipo. Está constituido por una o más bombas cuyo tamaño y potencia depende de la superficie a regar. El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea suficiente para vencer las diferencias de cota y las pérdidas de carga de todo el sistema. Las más usadas son de acción centrífuga abastecidas por energía eléctrica y en menor grado las accionadas con motores a explosión.

- **Sistema de filtrado**

Es una parte clave del sistema y uno de los problemas más graves que suele presentarse en las instalaciones de riego por microaspersión y goteo, por el menor diámetro de los orificios de salida. Las obstrucciones se pueden producir por:

- Partículas minerales en suspensión (arcilla, limo y arena).
- Materia orgánica

Para evitar la entrada de estos elementos al sistema se deben tomar precauciones desde el ingreso del agua al reservorio.

### **Clasificación de filtros**

Los más usados son los siguientes:

#### ➤ **Hidro ciclones**

Se utilizan para separar gravillas y arenas. Tiene la forma de un cono invertido donde el agua ingresa por un costado en forma inclinada y sale por la tapa superior.

Las arenas decantan y se depositan en un recipiente inferior, que es necesario limpiarlo frecuentemente. Se usan en aguas provenientes de perforaciones. Se consigue separar hasta un 98 % de partículas superiores a 100 micrones. La pérdida de carga es 1-2 m, según caudal y diámetro del filtro.

#### ➤ **Filtros de grava**

Son tanques metálicos o de plástico reforzado que contienen arena o grava tamizadas de un determinado tamaño. El agua se filtra al pasar por el estrato de arena/grava.

El espesor de este no debe ser inferior a 50 cm y la velocidad del agua debe ser inferior a 60 m/hora lo que equivale a un caudal de 60 m<sup>3</sup>/hora por m<sup>2</sup> de superficie filtrante. Son muy efectivos para retener substancias orgánicas y partículas, porque se emplea todo el espesor de la arena. Retienen partículas siete veces más pequeñas que el diámetro efectivo de la grava.

### ➤ Filtros de malla y anillos

El filtro de malla, es una carcasa que aloja en su interior un cartucho con malla de diferentes diámetros u orificios. La malla puede ser metálica o plástica. El tamaño del orificio se define por el número de aberturas por pulgada lineal (25,4 mm) lo cual se denomina mesh. Para riego por microaspersión se recomienda una malla 100 - 120 mesh (150 - 120 micrones).

Los filtros de anillos son similares a los de malla, pero el conjunto filtrante está constituido por una serie de discos o anillos con ranuras en ambas caras, que superpuestos forman los conductos de paso del agua. Su efecto en gran medida es la de limpieza en profundidad como las de grava. Pueden retener gran cantidad de sedimentos antes de obstruirse.

Figura 2. Filtro de anillas de 2" armado y desarmado.



*Fuente: Liotta Mario A. (2000)*

- **Unidad de fertilización**

Se emplea para inyectar al sistema de riego fertilizantes como; ácido clorhídrico, fosfórico, etc.

Consiste en dos partes:

**El depósito de almacenamiento:** Son tanques resistentes a la corrosión, de polietileno, fibra de vidrio o fibrocemento. El tamaño depende de las necesidades del sistema, por lo general son de 200 a 1000 litros.

**La inyección o fertilización:** Es realizada por distintos dispositivos para inyectar las soluciones al sistema. Los más usados son:

- Tanque de fertilización
- Venturi
- Bombas de inyección
- **Manómetros**

El manómetro es un componente importante del sistema ya que permite determinar la presión en los puntos que se desee, tanto en el cabezal como en el campo. En el cabezal es útil poseer un manómetro en forma permanente conectado a una llave de tres vías para seleccionar manualmente el punto de presión que se desee conocer.

Figura 3: Manómetro hasta 8 bares.



*Fuente: Liotta Mario A. (2000)*

- **Tuberías de conducción**

Las tuberías más empleadas son de cloruro de polivinilo (PVC) y de polietileno. El PVC se usa en diámetros superiores a 50 mm para las líneas de distribución primaria, secundaria y terciaria.

El polietileno no reconstituido y con incorporación de negro de humo es flexible y muy resistente al sol. Por eso se utiliza en los laterales de riego que están expuestos a la radiación y al deterioro por el manejo del cultivo. Es más económico que el PVC en diámetros inferiores a 30 mm.

- **Laterales de riego**

Son las tuberías que se ubican dentro del cultivo a lo largo de la hilera de plantas y a una cierta distancia en el caso de doble línea. Normalmente son de 16 y 20 mm en función del caudal a distribuir y la longitud de riego. El material es polietileno de baja densidad y soportan hasta una presión de 2 a 3 m (2 a 3 kg/cm<sup>2</sup>).

- **Cabezales de campo**

Son las válvulas que se instalan en el campo para suministrar el agua a las diferentes unidades de riego. Pueden ser simples (tipo esféricas) para operación manual o hidráulicas. En esta últimas la presión hidráulica acciona un diafragma que corta la presión y el flujo del caudal. Se pueden accionar manualmente, en el lugar de instalación o a distancia con mandos hidráulicos o eléctricos.

- **Accesorios**

Es el conjunto de piezas que se utilizan para pegar y ensamblar las tuberías y construir los cabezales de campo. Se utilizan accesorios de PVC, tales como te, codos, cuplas, mangos de reducción, etc.

Para unión de válvulas, filtros, reguladores de presión, etc, se utilizan piezas de roscar de polipropileno. En todos los casos deben tener características constructivas suficientes para soportar las altas presiones del sistema.

- **Emisores**

Son los dispositivos instalados en el lateral que controlan la salida del riego y deben reunir las siguientes características:

- Caudal uniforme y poco sensible a la variación de presión
- Poca sensibilidad a las obstrucciones



- Elevada uniformidad de fabricación
- Resistencia a productos químicos y al ambiente
- Costo reducido
- Estabilidad de la relación caudal - presión en su vida útil
- Pérdida de carga reducida en sus conexiones
- Resistencia al ataque de roedores e insectos

Si los emisores tienen mecanismos de regulación de presión se clasifican en:

- **Auto compensados:** tienen la particularidad de mantener el mismo caudal, aunque varíe la presión. El flujo es turbulento y en su interior poseen una membrana de silicona (diafragma) que se deforma por la diferencia de presión del agua antes y después de la misma, modificando el conducto de paso y manteniendo el caudal constante.
- **No auto compensados:** no tiene mecanismo de regulación de caudal y varía en función de la presión. Pueden funcionar con menor presión que los auto compensados y son más económicos. Sin embargo, para no perder uniformidad de caudal ( $\pm 10 \%$ ), la longitud de los laterales debe ser menor.

### Los Microemisores

Proyectan el agua en forma de lluvia fina y desde unos 30 cm de la superficie del suelo a través del aire a una distancia de 1 a 2,5 m. mojando una superficie de 2 a 5 metros de diámetro. Los caudales se encuentran en el orden de 25 a 120 l/h. (**Armoni, S. 1989**)

**Armoni, S. (1989)**, indica que existen fundamentalmente tres tipos de microemisores:

- **Micro jets:** Emiten el agua en forma de rayos (jets) sin rotar. Es estático (no poseen partes móviles).
- **Micro nebulizador:** Este tipo produce una niebla fina por medio de un deflector plano y boquilla de diámetro reducido. Su uso es corriente en invernaderos, tanto para reducir la temperatura ambiental como para elevar la humedad relativa.

- **Micro aspersores:** Este micro emisor tiene un deflector giratorio, llamado rotor, donde el chorro va rotando, en lugar del deflector estático.

**Armoni, S. (1989)**, señala las siguientes características de los microaspersores:

- Mayor diámetro de cobertura
- Menor tasa de precipitación
- Mayor tamaño de gota
- Mejor distribución del agua
- El rotor pequeño produce un diámetro de cobertura de 4 a 6m.
- El rotor grande cubre un diámetro de 7 a 10m.
- Se instala un rotor anti-insectos cuando existe peligro de que penetren insectos en el aspersor.
- El rotor se usa sobre microaspersores instalados "cabeza abajo". Produce un amplio diámetro de cobertura que depende de su altura sobre el nivel del terreno.
- El rotor de cuña es asimétrico, para presiones reducidas.

### **Sistema modular de los microemisores**

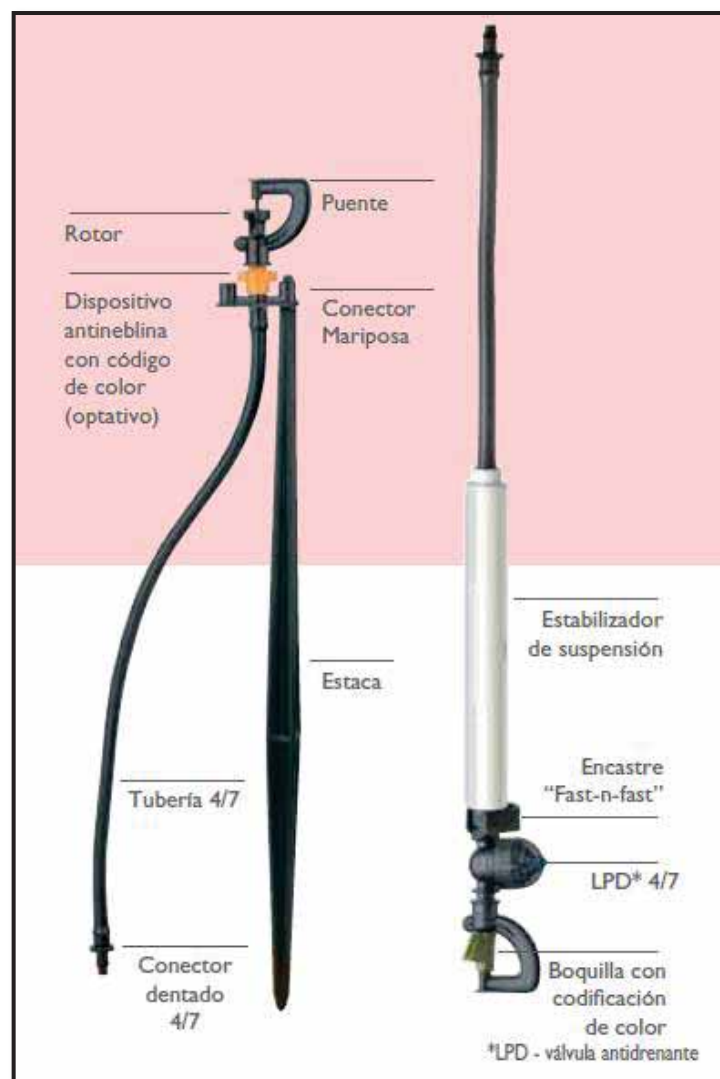
La particular característica de los microemisores es la gran versatilidad del sistema, por el cual cualquier modelo de la familia puede convertirse en otro y sus piezas correspondientes pueden intercambiarse libremente. De esta forma el sistema se adaptará a cualquier condición que pueda darse. (**Armoni, S. 1989**).

**Armoni, S. (1989)**, menciona que el sistema modular consta de siete componentes básicos, que son:

1. **La conexión dentada:** es una conexión con dos secciones dentadas, una de las cuales va insertada en el lateral y otra en el tubo de alimentación.
2. **El tubo de alimentación:** es un pequeño tubo con diámetro interior de 4mm. y diámetro exterior de 7mm.

3. **El estabilizador:** es el encargado de mantener el microemisor en posición vertical.
4. **La mariposa:** consiste en un adaptador que se encuentra entre el tubito de alimentación y el puente.
5. **El puente:** este se acomoda tanto a la boquilla como al deflector. Se coloca directamente sobre la mariposa o sobre el estabilizador de tipo estaca o conector. Confiere versatilidad y robustez al sistema.
6. **La boquilla:** encargada de controlar la descarga del microemisor.
7. **El deflector:** este componente determina el marco de distribución de agua por el microemisor. Serán estáticos si se trata de micro jets; los microaspersores están dotados de deflectores giratorios.

Figura 4: Partes de un micro aspersor marca NaanDanJain.



Fuente: Catalogo NaanDanJain Irrigation Ltd. (2014)

#### 4.2.4. Ventajas y desventajas de un sistema de riego localizado.

Liotta Mario, A. (2000), indica las siguientes ventajas y desventajas del riego localizado:

- **Ventajas:**
- Ahorro de agua
- Uniformidad de aplicación
- Aumento de la superficie bajo riego
- Menor presencia de malezas.
- Compatible con labores culturales
- Ahorro en labores culturales
- Ahorro de mano de obra
- Aprovechamiento de terrenos marginales.
- Mejoras en la producción y calidad de cultivos
- Fertirriego
- Automatización
- **Desventajas:**
- Costo elevado de adquisición e instalación
- Consumo de energía
- Dependencia de la electricidad
- Necesidad de bomba de repuesto
- Necesidad de un sistema de filtrado

- Necesidad de mantenimiento y limpieza del sistema
- Necesidad de mano de obra especializada
- Necesidad de un buen diseño

### **4.3. ASPECTOS GENERALES PARA LA PLANIFICACIÓN DE RIEGO.**

#### **4.3.1. Saturación (S)**

Un suelo está saturado cuando todos sus poros están ocupados por agua. Esta situación se presenta después de una lluvia copiosa o de un riego abundante, o cuando existe un estrato impermeable a poca profundidad. Cuando un suelo está saturado, se le deja drenar, y el agua sobrante pasa al subsuelo por acción de la gravedad. El agua eliminada de esta forma, que no es retenida por el suelo, se le llama agua libre o gravitacional. **(Fuentes, 2003)**

#### **4.3.2. Capacidad de campo (CC)**

Se define como la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje. El suelo alcanza su capacidad de campo según la textura de 24 a 72 horas después de un riego pesado. **(Calderón & Broeks, 2004)**

Cuando el suelo ya no pierde más agua por gravedad se dice que está a capacidad de campo. En esta situación el agua ocupa los poros pequeños y el aire ocupa una gran parte del espacio de los poros grandes. **(Fuentes, 2003).**

Los factores que afectan a la capacidad de campo son principalmente:

- La textura y la estructura del suelo
- El tipo de arcilla (la montmorillonita aumenta el agua retenida)
- La profundidad del frente húmedo y la humedad inicial
- La presencia de estratos de diferente textura

#### **4.3.3. Punto de marchitez permanente (PMP)**

Es la cantidad de agua que queda en el suelo cuando la vegetación manifiesta síntomas de marchitamiento irreversible, debido a la falta de flujo de agua del suelo hacia la planta; y el agua está retenida por el suelo a una tensión de 15 atmósferas. (Calderón & Broeks, 2004)

Se dice que un suelo se encuentra en el PMP, cuando retiene una mínima cantidad de agua, pero que ya no puede ser aprovechado por las raíces, lo cual ocasiona un marchitamiento inalterable de las hojas y consecuentemente la muerte de la planta. (Olarte, W. 2003)

A partir de la capacidad de campo, el agua del suelo se va perdiendo progresivamente por evaporación y absorción por parte de las plantas. Llega un momento en el que las plantas ya no pueden absorber toda el agua que necesitan y se marchitan irreversiblemente. (Fuentes, 2003)

#### **4.3.4. Agua disponible (AD)**

El agua disponible (AD), es el agua que puede ser aprovechada por las plantas y se define como la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). (Fuentes, 2003)

$$AD = CC - PMP$$

Donde:

**AD** = Agua disponible (%)

**CC** = Capacidad de campo (%)

**PMP** = Punto de marchitez permanente (%)

#### **4.4. PARÁMETROS AGRONÓMICOS DE UN SISTEMA DE RIEGO.**

Los parámetros agronómicos, consisten básicamente en determinar las necesidades hídricas de un cultivo para su normal desarrollo sin ocasionar estrés hídrico, dependiendo de los factores edafológicos, climatológicos y las características del cultivo.

El diseño agronómico tiene por finalidad garantizar el suministro de la cantidad suficiente de agua, determinando así elementos claves para la instalación de un sistema de riego, como son: demanda de agua, número y disposición de los emisores, caudal necesario, intervalos de riego y tiempo de riego, necesario para reponer diariamente la evapotranspiración del cultivo. (**Pizarro, F. 1996**)

#### **4.4.1. Lamina Neta (Ln)**

La lámina neta, llamada también tasa de riego, es la cantidad de agua aplicada a un suelo en cada riego. Por lo tanto, su unidad de medida se expresa en mm de altura de agua aplicada.

La lámina neta de agua aplicada a un suelo, depende de dos factores básicos: la cantidad retentiva de humedad del suelo, y la profundidad de riego. (**Olarte, W. 2003**)

$$Ln = Pr \times da \times \frac{CC - PMP}{100}$$

Donde:

**Ln** = Lamina neta (mm)

**Pr** = Profundidad radicular (cm)

**da** = Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

**CC** = Capacidad de campo (%)

**PMP** = Punto de marchitez permanente (%)

#### **4.4.2. Lamina Bruta (Lb)**

Cuando se aplica un riego a una parcela, se trata de que se produzca la menor cantidad de pérdidas posibles, aunque en la práctica no existe un riego totalmente eficiente. Indudablemente la eficiente depende de la habilidad, destreza y experiencia del agricultor cuando nos referimos al riego por gravedad, pero cuando aplicamos riego por aspersión u otro, depende más del clima y de la tecnología del riego propuesto. (**Olarte, W. 2003**).

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

Donde:

**Lb** = Lamina bruta (mm).

**Ln** = Lamina neta (mm).

**Ep** = Eficiencia parcelaria.

#### **4.4.3. El factor de secamiento o porcentaje de agotamiento de agua en el suelo (*f*)**

El factor de secamiento (*f*) es un porcentaje de la capacidad de retención de agua disponible (CRAD), que se establece como referencia en la programación de riegos.

Es un concepto de mucha utilidad en los riegos por aspersión y en los riegos de superficie, para decidir los intervalos de riego. En ocasiones, está relacionado con el contenido de agua del suelo, por debajo del cual puede afectar al rendimiento o a la calidad de la producción y, por lo tanto, es variable según el cultivo. Este parámetro es la base estratégica para tomar decisiones en cuanto a la programación de riegos, ya que determina la dosis (cuánto regar) y la frecuencia (cuándo regar).

En los sistemas de riego localizado, donde se puede brindar más de un riego al día, este concepto no es de mucha utilidad. El contenido de agua en el bulbo húmedo, se procura mantener cerca de la capacidad de campo. Como las necesidades de agua de los cultivos (ETc) pueden variar mucho de una semana a la otra, las necesidades de agua de riego, también. Esto obliga a modificar cada semana a los programadores y a ajustar los tiempos de riego a la capacidad de suministro de agua del sistema. **(Fuentes, 2003)**

Según la FAO, la fracción de agotamiento de la humedad en el suelo para condiciones sin estrés hídrico, para el cultivo de lechuga, es de 0.30. **(Estudio FAO y Drenaje 56, 2006)**

$$Ln = f \times Pr \times da \times \frac{CC - PMP}{100}$$



Donde:

***Ln*** = Lamina neta (mm).

***f*** = Factor de secamiento (%).

***Pr*** = Profundidad radicular (cm).

***da*** = Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>).

***CC*** = Capacidad de campo (%).

***PMP*** = Punto de marchitez permanente (%).

Cuadro 1. Factor de secamiento para el cultivo de lechuga (*f*).

Cultivo	Profundidad Radicular (Pr)	Factor de Secamiento ( <i>f</i> )
Lechuga	15 – 45 cm	0.35

Fuente: *Técnicas de riego (Fuentes, 2003)*

#### 4.4.4. Profundidad de la Raíces (Pr)

La profundidad de la capa enraíizable llamada también rizosfera, es la zona donde se desarrollan las raíces dentro del perfil del suelo. Con el riego, lo que se pretende es humedecer prioritariamente la zona donde se encuentra el mayor porcentaje de raíces. (**Olarte, W. 2003**)

Las características físicas y la textura del suelo tienen una gran influencia en la profundidad de enraizamiento, por ejemplo, los suelos de textura arenosa permiten una mayor profundización de las raíces, que los arcillosos. Si consideramos el suelo como un depósito de reserva de agua disponible para las plantas, el área de dicho depósito vendría a ser el área bajo riego, y su profundidad está relacionada con las raíces. (**Benites, C. 2001**)

La profundidad que alcanza la parte principal del sistema radicular del cultivo de lechuga en pleno desarrollo, puede variar de 15 a 45 cm. (**Hidrología Agrícola, 1982**)

Y según la FAO, los rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces de la lechuga, van de 30 a 50 cm, y se desarrollan más fácilmente, si encuentran condiciones de humedad adecuadas en el suelo. (**Estudio FAO y Drenaje 56, 2006**)

#### **4.4.5. Consumo diario (Cd)**

El consumo diario, está en función al mes de máximo consumo de un cultivo, expresada en mm/día. (**Olarte, W. 2003**)

$$Cd = \frac{ET_o}{N^\circ \text{ días}(\text{mes} - \text{critico})}$$

Dónde:

**Cd** = Consumo diario.

**ETo** = Evapotranspiración referencia del mes crítico en mm.

**N°** = Número de días del mes.

#### **4.4.6. Frecuencia de riego (Fr).**

Es el intervalo de tiempo que transcurre entre dos riegos sucesivos, en función de la demanda de agua y el consumo diario, expresado en días. (**Olarte, W. 2003**)

$$FR = \frac{Ln}{Cd}$$

Dónde:

**Ln** = Lamina neta (mm).

**Cd** = Consumo diario (mm/día).

#### **4.4.7. Tiempo de riego (Tr).**

Es el período de tiempo necesario que durará un riego. (**Olarte, W. 2003**)

Este tiempo está sujeto a factores como:

- La capacidad de asimilación del agua por el suelo (capacidad de infiltración).
- La pluviometría del aspersor.
- La lámina de agua por aplicar al suelo.

$$Tr = \frac{Lb}{Lasp}$$

Dónde:

**Lb** = Lamina bruta (mm).

**Lasp** = Descarga del aspersor o pluviometría (mm/hr).

#### 4.4.8. Módulo de riego (MR).

Viene a ser el caudal que se puede manejar adecuadamente para planificar y organizar el riego, el cual esta expresado en l/s/ha. (**Olarte, W. 2003**)

$$MR = \frac{RR(mm/mes)*1000}{N^{\circ}dias/mes * Jr * 3600}$$

Dónde:

**RR** = Requerimiento de riego (mm/mes)

**Jr** = Jornada de riego (horas)

### 4.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

#### 4.5.1. Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. (**Estudio FAO y Drenaje 56, 2006**)

#### 4.5.2. Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden

agua predominantemente a través de los estomas. (**Estudio FAO y Drenaje 56, 2006**).

#### **4.5.3. Evapotranspiración**

Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados, donde el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y la otra parte mediante la transpiración del cultivo. (**Estudio FAO y Drenaje 56, 2006**).

La evapotranspiración es la cantidad de agua perdida en forma de vapor, desde una superficie cubierta de vegetación, que es el utilizado para la medida de las necesidades de agua de las plantas. (**Castañón, G. 2000**)

#### **4.5.4. Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)**

La ET<sub>o</sub> se define como la tasa de evapotranspiración de una cubierta vegetal de referencia en óptimas condiciones de crecimiento y bajo suministro adecuado de agua. (**Estudio FAO y Drenaje 56, 2006**).

El término de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), se refiere a la pérdida de agua de una cubierta vegetal abundante, sin suelo desnudo, sin limitaciones de suministro hídrico, cuando los factores meteorológicos son los únicos que condicionan dicha evapotranspiración. (**Castañón, G. 2000**).

El principal objetivo de definir la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), es poder calcular la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>). (**Santos, P. 2010**)

#### **Determinación de la Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) con el tanque evaporímetro.**

La evaporación de una superficie libre de agua, proporciona un índice del efecto integrado de la radiación, la temperatura del aire, la humedad del aire y del viento en la evapotranspiración. Sin embargo, diferencias entre la superficie de agua y las superficies cultivadas producen diferencias significativas entre la pérdida de agua de una superficie libre de agua y una superficie cultivada.

Según la FAO, el tanque evaporímetro ha probado su valor práctico y ha sido utilizado con éxito para estimar la evapotranspiración de referencia observando la pérdida por evaporación de una superficie de agua y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ETo. (**Estudio FAO y Drenaje 56, 2006**)

- **El Tanque Evaporímetro**

La tasa evaporativa de los tanques de evaporación llenos de agua puede ser fácilmente obtenida. En ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm día<sup>-1</sup>) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese período.

Los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua.

#### **Descripción del tanque Clase A**

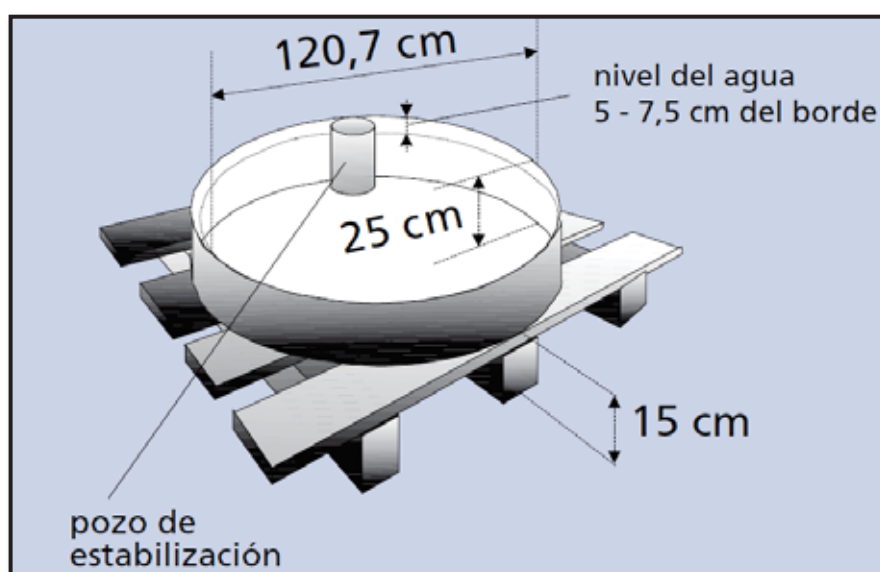
El tanque Clase A debe ser circular de 120,7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad, y estar construido de hierro galvanizado o de láminas de metal de 0,8 mm. El tanque debe estar situado sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm por encima del nivel del suelo y nivelado.

Cuando el tanque esté instalado, se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde, el 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.

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

Las lecturas del tanque se deben realizar 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 evaporímetro.

Figura 5. Modelo de Tanque Clase A.



Fuente: Estudio FAO y Drenaje 56, (2006)

A pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque para predecir la  $ETo$  para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque. (Estudio FAO y Drenaje 56, 2006)

$$ETo = Ev * Kp$$

Donde:

**$ETo$**  = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

**$Ev$**  = Evaporación del agua en el tanque (mm/día).

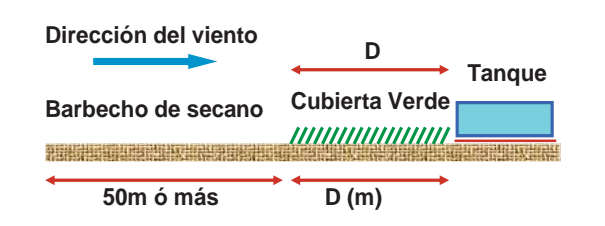
**$Kp$**  = Coeficiente del tanque.

### Coeficiente del tanque evaporímetro ( $Kp$ )

Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro dado, se debe considerar no solamente el tipo del tanque, sino también la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores, así como el viento y las condiciones generales de humedad.

Bajo estas características, dos casos se consideran comúnmente:

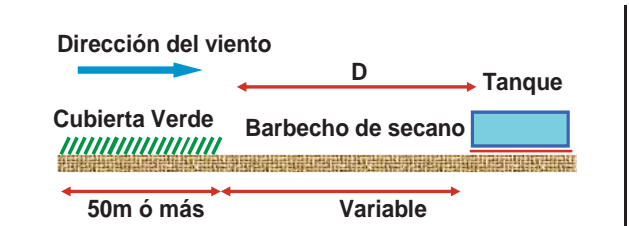
Tabla N° 1. Coeficientes del tanque evaporímetro ( $K_p$ ) en suelo con vegetación.



Distancia a Barlovento D (m)	Velocidad del viento		Humedad Relativa Media		
	( Km/día )	( m/s )	<40	40 – 70	> 70
0 a 9	< 175	< 2	0.55	0.65	0.75
	175 – 425	2 – 5	0.50	0.60	0.65
	425 – 700	5 – 8	0.45	0.50	0.60
	>700	>8	0.40	0.45	0.50
10 a 99	< 175	< 2	0.65	0.75	0.85
	175 – 425	2 – 5	0.60	0.70	0.75
	425 – 700	5 – 8	0.55	0.60	0.65
	>700	>8	0.45	0.55	0.60

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56, (2006)

Tabla N° 2. Coeficientes del tanque evaporímetro ( $K_p$ ) en suelo desnudo.



Distancia a Barlovento D (m)	Velocidad del viento		Humedad Relativa Media		
	( Km/día )	( m/s )	<40 %	40 – 70 %	> 70 %
0 a 9	< 175	< 2	0.70	0.80	0.85
	175 – 425	2 – 5	0.65	0.75	0.80
	425 – 700	5 – 8	0.60	0.65	0.70
	>700	>8	0.50	0.60	0.65
10 a 99	< 175	< 2	0.60	0.70	0.80
	175 – 425	2 – 5	0.55	0.65	0.70
	425 – 700	5 – 8	0.50	0.55	0.65
	>700	>8	0.45	0.50	0.55

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56 (2006)

#### **4.5.5. Evapotranspiración del cultivo (ETc)**

La ETc, hace referencia a la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas.

La ETc, depende de los parámetros climáticos, la disponibilidad de agua, el tipo y la variedad de cultivo, la densidad de siembra y el estado fenológico en que se encuentra la planta. El cultivo a lo largo de su ciclo fenológico, no presenta la misma sensibilidad a la disponibilidad de agua. Generalmente la prefloración o floración y la maduración del fruto son las épocas en que se ve más afectada por el estrés hídrico, nombrado como los periodos críticos. (Castañón, G. 2000)

#### **Determinación de la Evapotranspiración de Cultivo (ETc)**

A partir de los valores de ETo, que multiplicados por el Kc de cultivo se determina la evapotranspiración del cultivo (ETc).

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

**ETc** = Evapotranspiración de cultivo (mm/día).

**ETo** = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

**Kc** = Coeficiente de cultivo

#### **4.5.6. Coeficiente de cultivo (Kc)**

El valor del coeficiente del cultivo depende de las características de la planta, y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante su periodo vegetativo. Esta variación es más evidente en cultivos anuales, que cubren todo su ciclo en un periodo reducido de tiempo.

El Kc tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo que son las siguientes:



- **Fase I.** Llamado también fase inicial, corresponde a la germinación y crecimiento inicial cuando existe aproximadamente un 10% de cobertura vegetal.
- **Fase II.** Se denomina a la fase de desarrollo del cultivo, es al final de la fase inicial cuando existe aproximadamente un 70 a 80% de cobertura vegetal.
- **Fase III.** Se le denomina a la fase de mediados de temporada (periodo de maduración), en esta fase la cobertura es completa y se caracteriza por que existe decoloración y caída de hojas en la planta, viene a ser el inicio de la maduración.
- **Fase IV.** Es la fase final de temporada, que corresponde a la cosecha del cultivo y este se encuentra en plena maduración. (**Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006**)

Cuadro 2. Duración de las etapas de crecimiento para el cultivo de lechuga, para distintos periodos de siembra y regiones climáticas.

Meses	Región	Inicio (días)	Desarrollo (días)	Mitad de desarrollo	Final (días)	Total (días)
Abril	Mediterráneo	20	30	15	10	75
Febrero	Mediterráneo	30	40	25	10	105
Oct/Nov	Región Árida	25	35	30	10	100
Feb	Mediterráneo	35	50	45	10	140

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56 (2006)

### Curva del Coeficiente del Cultivo

Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo  $K_c$  expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo, los cuales afectan el cociente entre  $ET_c$  y  $ET_o$ . Esta variación del coeficiente  $K_c$  a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo y en consecuencia el valor de  $ET_c$ , para cualquier período de la temporada de crecimiento.

Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo de lechuga se necesitan solamente tres valores de  $K_c$ : los correspondientes a la etapa inicial ( $K_c$  ini) de 0.70, la etapa de mediados de temporada ( $K_c$  med) de 1.00 y la etapa final ( $K_c$  fin) 0.95. (**Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006**)

Cuadro 3. Coeficiente del cultivo (Kc) para la lechuga, con fases del periodo vegetativo en días.

LECHUGA	Fase inicial	Fase de desarrollo	Fase de media estación	Fase de última estación	Ciclo vegetativo
Días	20-30	30-50	15-45	10	75-140
Kc	0.45	0.60	1.00	0.90	-

Fuente: Fuentes Yague, J.L. (2003).

Cuadro 4. Coeficiente del cultivo (Kc) para la lechuga, con periodos de crecimiento en días.

Cultivo de Lechuga	Días desde la siembra hasta la cosecha										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Kc	0.21	0.28	0.37	0.50	0.67	0.82	0.91	0.96	0.96	0.91	0.79

Fuente: Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los andes centrales peruanos (Garay, 2009).

### Elaboración de la curva de Kc

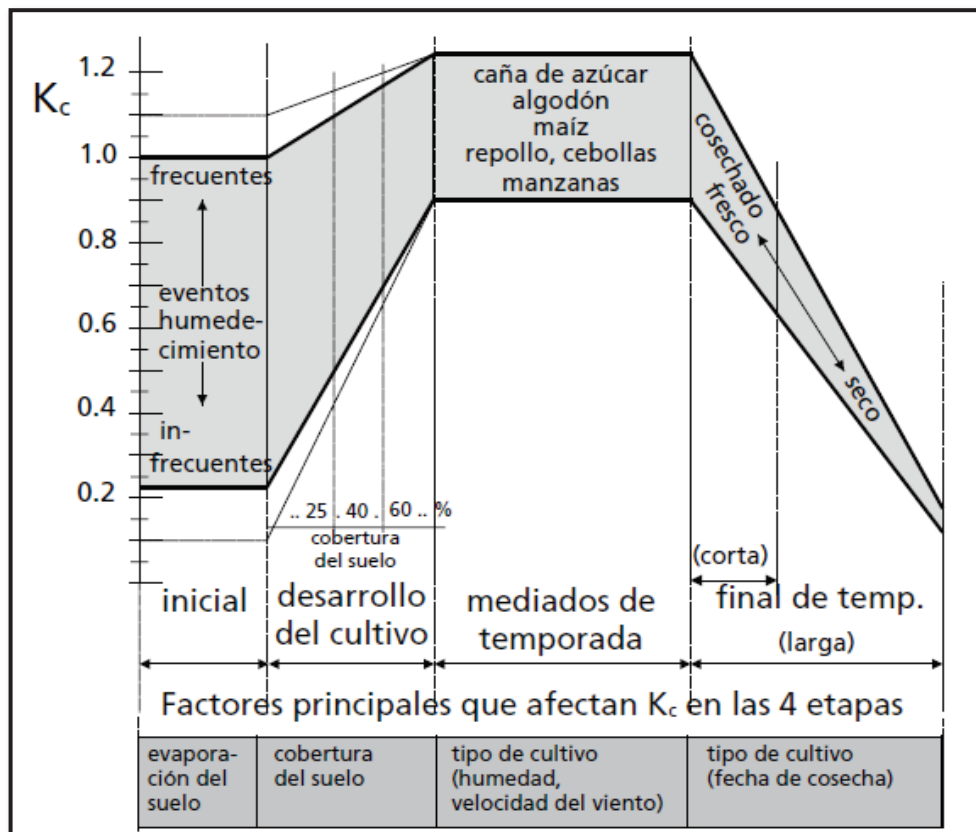
Solamente se requiere de tres valores de Kc para la descripción y elaboración de la curva del Kc. Esta curva, se construye a través de los pasos siguientes:

1. Dividir el período de crecimiento en las cuatro etapas generales que describen la fenología o desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final); determinar las duraciones de las cuatro etapas de crecimiento e identificar los tres valores de Kc que corresponden a Kc ini, Kc med y Kc fin.
2. Ajustar los valores de Kc según la frecuencia del humedecimiento o las condiciones climáticas de las etapas de crecimiento.
3. Construir una curva uniendo segmentos de línea recta a través de cada una de las etapas de crecimiento.

Se deberán trazar líneas horizontales a través de Kc ini en la etapa inicial y a través de Kc med en la etapa de mediados de temporada. Se deberán trazar líneas diagonales desde Kc ini hasta Kc med durante la etapa de desarrollo del cultivo y desde Kc med hasta Kc fin durante la etapa final.

A partir de la curva del coeficiente del cultivo se puede determinar el valor de  $K_c$  para cualquier período en forma gráfica o numérica. (Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006)

Figura 6. Rangos típicos esperados del valor de  $K_c$  para las cuatro etapas de crecimiento.



Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56 (2006)

#### 4.5.7. Factores meteorológicos que determinan la evapotranspiración del cultivo.

##### a) Humedad relativa

La humedad relativa es el cociente entre la cantidad de agua que el aire realmente contiene a una determinada temperatura y la cantidad que podría contener si estuviera saturado a la misma temperatura. Es adimensional y se expresa comúnmente como porcentaje.

Para el uso del tanque evaporímetro se requiere a humedad relativa media diaria (HR<sub>media</sub> en %), y es el promedio entre la HR<sub>max</sub> y HR<sub>min</sub>. (**Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006**)

#### **b) Velocidad del viento**

El viento se caracteriza por su dirección y su velocidad. La dirección del viento se refiere a la dirección de la cual el viento está soplando. Para el cálculo de la evapotranspiración, la velocidad del viento es una variable importante. Como la velocidad del viento en una localidad dada varía con el tiempo, es necesario expresarla como el promedio sobre un intervalo determinado de tiempo. La velocidad del viento se mide en metros por segundo (m/s) o kilómetros por día (km/día). (**Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006**)

#### **Relación del viento con la altura**

La velocidad del viento a diversas alturas sobre la superficie del suelo tiene valores diferentes. La velocidad del viento es menor cerca de la superficie y aumenta con altura.

Para el cálculo de la evapotranspiración, se requiere la velocidad del viento medida a 2 m sobre la superficie. Para ajustar los datos de velocidad del viento obtenido de instrumentos situados a elevaciones diferentes a la altura estándar de 2 m se puede usar una relación logarítmica: (**Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006**)

$$U_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67,8 z - 5.42)}$$

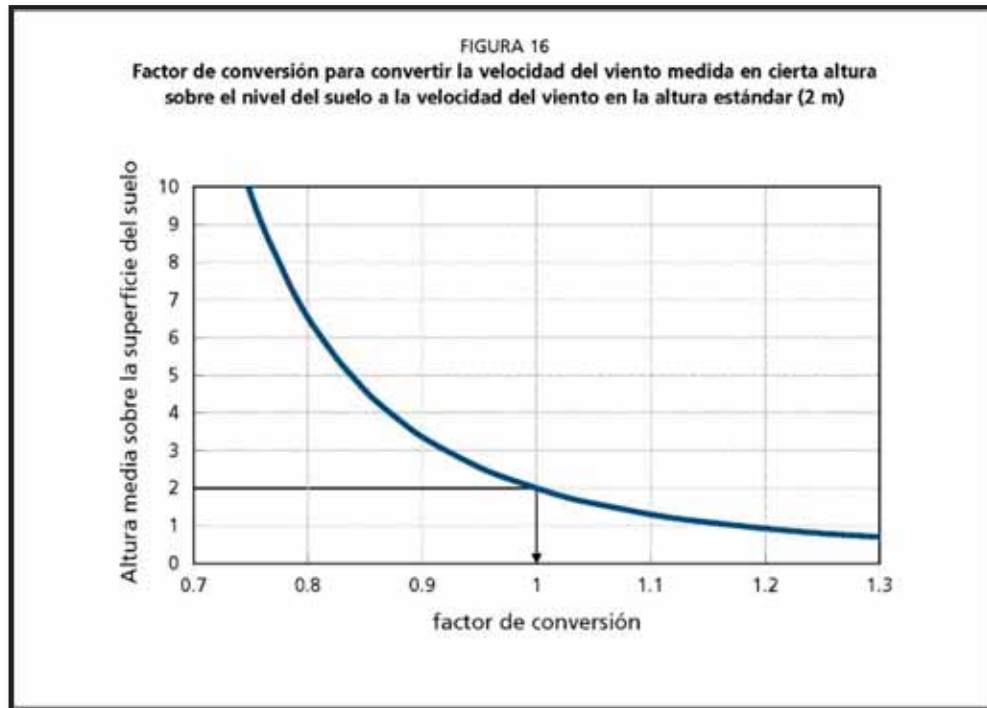
Donde:

**U<sub>2</sub>** = velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [m/s]

**U<sub>z</sub>** = velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [m/s]

**Z** = altura de medición sobre la superficie [m]

Figura 7. Factores de conversión para convertir la velocidad del viento medida en cierta altura sobre el nivel del suelo a la velocidad del viento en la altura estándar (2 m).



Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56 (2006)

## 4.6. CULTIVO DE LECHUGA

### 4.6.1. Generalidades del cultivo

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), es considerada una de las hortalizas de hoja más importantes por presentar un ciclo rápido de producción, por ser rica en vitaminas A y C y en minerales Ca, P y Fe. Contiene un alto porcentaje de agua (90-95%), provitamina A o beta-caroteno y cantidades apreciables de vitamina C, estas dos últimas con acción antioxidante, relacionadas con la prevención de enfermedades cardiovasculares. (Carranza, 2009)

El cultivo de lechuga está difundido en todo el país, ésta se caracteriza por ser perecible, motivo por el cual no puede ser trasladado a lugares alejados para su comercialización lo que da a lugar solo para el consumo en el mercado local.

Esta es una hortaliza de hoja típica de ensaladas, actualmente, aunque se puede encontrar de forma silvestre, la mayoría de las variedades de lechuga que se cultivan comercialmente son producto de la hibridación. (Maroto, 2000)

La lechuga, es una planta anual, su raíz pivotante, corta y con ramificaciones, no llega a sobrepasar los 25 cm. de profundidad. En cuanto a sus hojas cuyos limbos pueden ser lisos, ondulados o aserrados, están dispuestas en rosetas, en unos casos se desarrollan de forma suelta durante todo su desarrollo, y en otros se acogollan más tarde.

Su forma es más o menos redondeada, tamaño varía entre 20 a 30 cm. de diámetro, el peso medio de una lechuga es de unos 300 gr. En general son de color verde, aunque algunas variedades presentan hojas blanquecinas o incluso rojizas o marrones. El sabor es suave agradable y fresco. (Jackson, 2002).

#### 4.6.2. Posición taxonómica

Según de Arthur Cronquist (1986), la clasificación taxonómica del cultivo de la lechuga es de la siguiente manera:

REINO: Vegetal

SUBREINO: Embriophyta

DIVISION: Magnoliophyta

CLASE: Magnoliopsida

SUBCLASE: Asteridae

ORDEN: Asterales

FAMILIA: Asteraceae

TRIBU: Lactuceae

GENERO: *Lactuca*

ESPECIE: *Lactuca sativa* L.

VARIEDAD: *Capitata* L.



### 4.6.3. Origen

El origen de la lechuga como tal no está muy claro hoy día; sin embargo, como cultivo domesticado y cultivado por el hombre, se tiene como probable origen la costa sur y sureste del Mar Mediterráneo, desde Egipto hasta Asia menor, esta teoría se basa en la existencia en esta zona de una planta de lechuga primitiva, casi silvestre. Otra evidencia de esta teoría se basa en la existencia de pinturas en las tumbas egipcias, que datan de los 4 500 A.C. en las cuales se aprecian un tipo de planta de lechuga que se asemeja grandemente a la que actualmente se cultiva que Egipto. (Davis, 2002; Biamonte, 1984)

### 4.6.4. Características botánicas de la lechuga

- **La planta:** la lechuga cultivada es una planta anual que se consume en estado joven, que pertenece a las hortalizas de herbáceas de cabeza paniculada y de flor amarilla. (Maroto, 2000)
- **La raíz:** su sistema radicular es pivotante (25-30 cm), presenta un latex blanco, es poco ramificada, y tiene numerosas raíces laterales, la mayor parte de las raíces laterales se desarrolla en la capa superficial del suelo (en los primeros 25 cm). (Parson, 1987)
- **El tallo:** al principio posee nudos cortos, cercanos, que varían en tamaño, textura, forma y color según los cultivares, al llegar a la fase reproductiva, la planta desarrolla el tallo floral que alcanza más o menos un metro de altura y se ramifica. (Mallar, 1978)
- **Las hojas:** están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado. (Rubio, 2000)
- **La inflorescencia:** Se constituye de grupos de 15 a 30 flores, las cuales están ramificadas y son de color amarillo. La primera inflorescencia es terminal y las siguientes axilares. (Mallar, 1978)

- **El fruto:** El fruto es un aquenio de tres a cinco milímetros de largo de color blanco amarillento hasta el gris negruzco, aplastado y más ancho en el ápice. (Maroto, 2000)
- **Las semillas:** son largas (4-5 mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también hay pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que las semillas muestran en presencia del oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30 °C) para inducir la germinación. Hay aproximadamente 800 semillas por gramo en la mayoría de sus variedades de lechuga. (Maroto, 2000)

#### 4.6.5. Fenología del cultivo de lechuga

La fenología del cultivo de lechuga está dada de la siguiente forma:

- **Emergencia de hojas:** se da la aparición de la radícula y la emergencia de los cotiledones, en el transcurso de 2 semanas.
- **Desarrollo de las hojas:** se da la aparición de nuevas hojas y una disminución en la relación largo-ancho de folíolos, se produce un acortamiento de los pecíolos y finalmente la formación de una roseta con 12 a 14 hojas, la duración de esta fase varía de 10 a 12 semanas.
- **Elongación floral:** la cabeza pierde calidad, las hojas se toman un sabor amargo, se alargan y el tallo comienza a elongarse, en las 5 semanas siguientes.
- **Floración:** se da la emisión de las inflorescencias entre la semana 20 y 21.
- **Maduración de la semilla:** consta de 3 semanas.
- **Semilla madura:** culmina al pasar 6 a 7 semanas.

Haciendo un total del periodo fenológico de aproximadamente 31 semanas. (Programa Integral de Desarrollo Rural, 2014).



Figura 8. Fenología del cultivo de lechuga.

SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ETAPAS DE DESARROLLO																															
	EMERGENCIA DE HOJAS	DESARROLLO DE HOJAS										ELONGACIÓN DE TALLO FLORAL					FLORACIÓN	MADURACIÓN DE SEMILLA	SEMILLA MADURA												
LABORES	CUIDADO EN ALMÁCIGO	TRASPLANTE	RIEGO, DESHIERBES Y CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES							COSECHA	RIEGO, DESHIERBE Y CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES										COSECHA SE SEMILLA										
PLAGAS Y ENFERMEDADES																															
											MOSCA BLANCA																				
											PULGON										TRIPS										
CONTROL	UTILIZACIÓN DE JABON (2 ML/LITRO DE AGUA Y EN FORMA DE ASPERSIÓN)																														

Fuente: Programa Integral de Desarrollo Rural (2014)

#### 4.6.6. Variedades de lechuga

Según la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, menciona los siguientes grupos: (FAO-RLC, 2000).

1. ***L. sativa var. longifolia* Lam:** Son aquellas lechugas que se aprovechan por sus hojas, éstas forman un verdadero cogollo, que tiene una forma generalmente aovada u oblonga, por la adaptación a una estación determinada se pueden clasificar lechugas de invierno (Romana larga encarnada, Roja, Verde de invierno, Gorrion, Inverna) y lechugas de primer verano (Blanca de París, Corsano, Rubia de verano).
2. ***L. sativa var. inybarcea* Hort:** son aquellas que poseen hojas abiertas y sueltas, aunque en estado avanzado de madurez pueden formar un pequeño cogollo interior.
3. ***L. sativa var. augustana* Irish:** estas lechugas se caracterizan por que la parte comestible es el tallo, sus hojas son puntiagudas y lanceoladas. Este tipo solo se produce en China.
4. ***L. sativa var. capitata* Lam:** se caracteriza por formar un cogollo apretado de hojas. La forma de sus hojas suele ser ancha, orbicular (lechugas acogolladas).

Por la consistencia de las hojas se puede dividir en dos grupos:

- *Lechugas de hojas tipo crespas*: cabezas grandes y pesadas, son compactas, resistentes al transporte, hojas consistentes con nervaduras prominentes (Great lake, Imperial, Iceberg, Montemar, Batavia, Astral, etc). (**Mallar, 1978**)
- *Lechugas de hoja tipo mantequilla*: cabezas medias, poseen hojas succulentas y mantecosas, presentan nervaduras poco prominentes (Trocadero, White boston, Española, Ravel, Clarion, etc). (**Mallar, 1978**)

#### **Características de la var. White Boston:**

- Es una lechuga arrepollada de hojas blandas de cabeza sólida, hojas inferiores aceitosas de textura grasosa de tamaño mediano, de buena calidad, de color verde claro.
- Su periodo vegetativo varía de 2 a 3 meses.
- La planta crece más alta sobre el suelo y no se produce podredumbre.
- Son menos resistentes al calor que las variedades crespas, maduran en menos tiempo que estas por consiguiente tienen menos tendencia a la floración.
- Es de gran demanda en nuestra región por ser de buen gusto y pueden llegar a pesar entre 0.35 a 0.50 kg por unidad.

#### **4.6.7. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales**

Debido a las características morfológicas y fisiológicas de la lechuga, presenta los siguientes requerimientos edafoclimáticos y nutricionales:

##### **4.6.7.1. Temperatura**

La lechuga es un cultivo extremadamente delicado en relación a sus requerimientos ambientales, fundamentalmente de clima, pues las semillas empiezan a germinar a la temperatura de 2-3°C, pero la óptima es de 20-25°C. A temperaturas superiores a 25°C, las semillas de algunas variedades sobre todo si están recién recogidas, no germinan en lo absoluto.

La temperatura óptima para el crecimiento de las hojas y la formación del repollo es de 16-21°C, y para el tallo floral y los órganos generativos de alrededor de 20-22°C. El cultivo de lechuga requiere climas templados y húmedos. Las altas temperaturas son desfavorables para el acogollado y provocan una subida prematura. (Yuste, 1997)

#### **4.6.7.2. Luz y humedad del suelo**

Es muy exigente con relación a la intensidad de la luz, pues en caso de escasez de esta las hojas adelgazan y la roseta de hojas y el repollo, si se llegan a formar, son muy sueltas. También es muy exigente respecto a la humedad del suelo, y mucho más durante las fases tempranas de su desarrollo, pues el sistema de raíces está situado, principalmente en una capa del suelo que va desde 5-30 cm de profundidad, por lo que se debe mantener el suelo siempre húmedo.

#### **4.6.7.3. Suelos**

La lechuga se desarrolla bien en una amplia gama de suelos desde los más sueltos hasta los más compactos, pero el mejor producto se obtiene en los de consistencia media, fértiles y bien drenados, con 5,8 a 6,5 de pH.

### **4.6.8. Manejo agronómico del cultivo de lechuga**

#### **4.6.8.1. Preparación del terreno**

En primer lugar, se procederá a la nivelación del terreno, especialmente en caso de zonas propensas al encharcamiento, seguidamente se procederá al surcado y por último a la acaballadora, formará varios bancos, para marcar la ubicación de las plantas. (Fundación para la Innovación Agraria, 2004).

Se recomienda cultivar lechuga después de leguminosas, cereal o barbecho, no deben cultivarse como precedentes crucíferos. Se deben mantener las parcelas libres de malas hierbas y restos del cultivo anterior. No deberá utilizarse el mismo terreno para más de dos ciclos con dos cultivos a lo largo de cuatro años, salvo que se realice una sola plantación por ciclo, alternando el resto de año con barbecho, cereal o leguminosas. (García, 2013).

Como la mayoría de las siembras, la lechuga requiere buena preparación de suelo suelto con aire. Las camas levantadas son ideales para la producción de la lechuga, con distancias entre camas de 1.0 a 1.2 metros. **(Lardizábal, 2005)**

#### **4.6.8.2. Fase de semillero**

Se recomienda hacer almácigos de 50 m<sup>2</sup> distribuyendo de 200 a 300 gr de semilla para una ha., se coloca una semilla por alvéolo a 5 mm de profundidad una semilla a 5 mm de profundidad.

Una vez transcurridos 30-40 días después de la siembra, la lechuga será plantada cuando tenga 5-6 hojas verdaderas y una altura de 8 cm, desde el cuello del tallo hasta las puntas de las hojas. **(Fundación para la Innovación Agraria, 2004)**.

#### **4.6.8.3. Trasplante**

Al momento del trasplante se deben tomar algunas precauciones como: escoger plántulas fuertes de 4 a 6 hojas, evitar el daño de las raíces y la excesiva compactación del suelo, escoger el mejor momento para el trasplante y no enterrar demasiado las plantas de tal manera que el cuello quede sobre el suelo, no podar las raíces y las hojas, y mojar la tierra antes y al momento de colocar la planta. **(Caseres, E. 1990)**.

#### **4.6.8.4. Distancias y densidad de plantación**

Existe una gran variación en cuanto a la sistematización del terreno para la plantación y la densidad de plantas. Los distanciamientos de siembra y tipo de plantación dependen del clima, condiciones del suelo y de la variedad. La densidad entre plantas varía de 40.000 hasta 120.000 por hectárea.

La plantación se realiza en caballones a una altura de 25cm. para que las plantas no estén en contacto con la humedad, además de evitar los ataques producidos por los hongos. La plantación debe hacerse de forma que la parte superior del cepellón quede a nivel del suelo, para evitar podredumbres al nivel del cuello y la desecación de las raíces. **(Caseres, E. 1990)**

La plantación comercial de la lechuga también se realiza en líneas, con una densidad de plantación entre 60 000 y 70 000 plantas/ha. La distancia media entre líneas es de 1 m, 30-35 cm entre las filas de cada línea y de 25-30 cm de separación entre las plantas de cada fila. (**Rincón, 2005**)

Si se realiza siembra indirecta o de trasplante a campo abierto se recomienda la distribución de las plantas entre planta y planta de 20 a 30 cm. (**Infoagro, 2010**)

#### **4.6.8.5. Riego**

Antes de la germinación los riegos se deben efectuar 2 a 3 veces al día, si se mantiene una humedad constante y favorable las semillas germinan a los 4 a 6 días, después de germinado se debe mantener un riego frecuente que durante los primeros 20 días debe ser diario y después se van espaciando unos 2 a 4 días según el tipo de suelo hasta la cosecha. (**Yuste, 1997**).

Las lechugas necesitan bastante humedad, pero igual que la mayoría de las hortalizas se pudren si tienen agua de más. El agua que haga falta depende de las lluvias y de la humedad del ambiente; para saber que se necesita regar, se toma con la mano un puñado de tierra, se aprieta y se avienta al aire, si el terrón se desmorona en el aire, debe regar, en caso contrario, el suelo tendrá suficiente humedad. En suelos de riego, por lo general se debe regar 5 o 6 veces entre el trasplante y la cosecha, el primero se hace con el trasplante, el segundo, días después y los siguientes cada 20 días. Si hay lluvias o si el tiempo está seco y caluroso, se deben cuidar que los riegos se hagan, es por ello de la importancia de la nivelación del terreno al prepararlo, para que tenga un buen cauce. (**Méndez y Mendoza, 2009**).

Como la lechuga tiene un ritmo de crecimiento muy rápido y su órgano de consumo son las hojas, no debe sufrir sequía, ya que se afectan los rendimientos y la calidad de ésta, por ello siempre se debe regar a unos 85 a 90% de la capacidad de campo. El consumo de agua está entre 52 mm y 125 mm, dependiendo de la variedad y la época del año en que se produzca. (**Yuste, 1997**).

La demanda hídrica total del cultivo de lechuga es de 157.89 mm que significa un consumo total de agua de 1578.9 m<sup>3</sup>/ha. Este volumen de agua que debe ser aplicado para obtener rendimientos que no sean afectados por el estrés hídrico al que puede ser sometido el cultivo durante su etapa de desarrollo productivo. (Candia, M. 2013).

#### **4.6.8.6. Fertilización**

La aplicación de fertilizantes para suplir las necesidades de cualquier especie vegetal, bajo ciertas condiciones ambientales, está regida por los niveles de los elementos nutritivos disponibles en el suelo y los requerimientos del cultivo que se trate.

La cantidad de nutrientes que absorbe la lechuga depende de la cantidad de biomasa producida en los distintos órganos de la planta. De ahí que estas varíen considerablemente según la variedad, época de plantación, sistema de riego entre otros factores.

Se recomienda para la lechuga fertilizar el suelo incorporando nitrógeno en dosis de 120 kg/ha, fósforo en dosis de 50 kg/ha y potasio, 150 kg/ha. El nitrógeno en fracción: el 50% de la dosis junto con el fósforo y el potasio y los otros 50% de la dosis 30 días después del trasplante. Mientras que la aplicación de materia orgánica es de 20 tn/ha antes del trasplante. (Maroto, 2000)

#### **4.6.8.7. Control de malezas**

Durante el ciclo del cultivo la lechuga se debe remover el suelo para lograr el control oportuno de malezas y permitir que el suelo se airee. Esta labor se hace a los 30 o 35 días después de la siembra cuando las plantas tienen de 10 a 15 cm de altura. Se puede realizar en forma manual con azadón o en forma mecánica las veces que sean necesarios. (Oyarzum, 2002)

#### **4.6.8.8. Cosecha**

La planta estará lista para la cosecha cuando se ha formado la roseta de hojas o cogollo, cuando han transcurrido de 75 a 90 días que conforma el ciclo del cultivo de lechuga, o cuando el productor lo determine por la característica.

La recolección se la hace de forma manual, se separa cortando con un cuchillo bien afilado la parte comercial, del tallo y eliminando las hojas secas amarillas o enfermas. Se colocan formando mazos verticales en cajas de madera o plásticas, no debiendo permanecer más de 4 horas en el campo después de cosechadas. **(Montesdeoca, P. 2008)**

#### **4.6.8.9. Poscosecha**

La etapa post cosecha empieza con el lavado y secado. Se sumerge cada lechuga en un tanque de agua natural o clorada dentro de niveles permisibles para alimentos, eliminando así los residuos de tierra. El secado se realiza mediante escurrido natural o centrifugado, posteriormente se procede a empacar, en cajas de cartón o de plástico de polietileno. **(Carballo, 1995)**

- **Empaque:** Se introducen en fundas de polietileno, las cuales pueden estar llenadas de aire o no. Estas van a envases o gavetas de plástico para su transporte definitivo.
- **Transporte:** En bandejas de plástico de 52 x 35 x 18 cm, procurando no apiñarlas demasiado, para evitar daños y pérdida de calidad del producto.
- **Almacenamiento:** En condiciones de 90 - 95% de humedad relativa y temperatura de 0-1°C puede conservarse perfectamente esta hortaliza hasta 15 a 30 días.

#### **4.6.8.10. Rendimiento**

Los rendimientos comerciales de lechuga al aire libre oscilan entre los 10.000 y 30.000 kg/ha; bajo invernadero, entre 20.000 a 40.000 kg/ha, en función al cultivar, estado del cultivo y época del año. **(Sistemas de Producción de Cultivos Intensivos, 2014)**

El rendimiento de la lechuga var. White Boston determinado por el efecto de abonos fosfatados y nitrogenados es de 22.25 tn/ha. **(Zamalloa, M. 2015).**

El peso fresco del cogollo de la lechuga var. White Boston obtenido por el efecto de fertilización nitrogenada es de 242.96 gr/planta. **(Pimentel, M. 2017).**

#### **4.6.8.11. Comercialización**

El producto debe estar de buen tamaño, limpio, de color verde intenso, brillante, hojas de textura fuerte, sin presencia de daños físicos. **(Montesdeoca, P. 2008)**



## **V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

**5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Descriptivo y evaluativo.

### **5.2. UBICACIÓN TEMPORAL**

El presente trabajo de tesis se realizó entre los meses de septiembre y diciembre del 2015, en el Centro Agronómico K'ayra, que pertenece a la Facultad de Ciencias Agrarias, de propiedad de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

### **5.3. UBICACIÓN ESPACIAL**

#### **5.3.1. Ubicación política**

- Región : Cusco
- Provincia : Cusco
- Distrito : San Jerónimo
- Localidad : Centro Agronómico K'ayra
- Potrero : C
- Parcela : 2

#### **5.3.2. Ubicación geográfica**

- Altitud : 3219 m.s.n.m.
- Latitud Sur : 13°33'24"
- Longitud Oeste : 71° 52'30"

#### **5.3.3. Ubicación hidrográfica**

- Cuenca : Vilcanota
- Sub cuenca : Huatanay
- Micro cuenca : Huanacaure

#### **5.3.4. Ubicación ecológica**

De acuerdo a la clasificación ecológica de zonas de vida de Holdridge, al Centro Agronómico K'ayra le corresponde:

Bosque seco montano bajo-sub tropical, cuya simbología es "bs.MBS".

### **5.4. MATERIALES Y METODOLOGÍA**

#### **5.4.1. Materiales**

##### **Material genético**

- 200 gr de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L. Var. *White Boston*)

##### **Componentes para el riego por microaspersión**

- 2 m. de tubo PVC de 2"
- 2 m. de tubo PVC de 1"
- 50 m. de manguera de polietileno de 2"
- 10 m. de manguera polietileno de 1"
- 40 m. de manguera polietileno 16 mm
- 01 filtro de anillos de 120 mesh
- 01 manómetro de 8 bares
- 01 válvula PVC 1"
- 01 válvula de aire de acción continua de 2"
- 04 acometidas de polietileno 16 mm
- 01 enlace mixto 32 mm x 1"
- 04 válvulas ramales 16 mm
- 04 tapón de polietileno 16 mm
- 32 Microaspersores marca NaanDanJain
- 01 llave manual de 1"

## **Materiales de campo y herramientas**

- Saca bocado para polietileno de 16 mm
- Sierra para cortar las tuberías plásticas
- 02 unidades de cinta teflón
- Malla raschel, estacas de madera
- Wincha, cordel, yeso
- Pico, rastrillo, pala
- Llave inglesa, alicate
- Regadera manual, balde de 5lt.

## **Equipos**

- Tanque clase A
- Cronometro
- Balanza digital
- GPS (Garmin Oregón 500)
- Cámara fotográfica, Laptop, USB.

## **Paquetes de computación**

- Programa ofimático Microsoft office (Excel, Word, Power point).
- Programa estadístico SPSS.

### **5.4.2. Metodología.**

#### **Diseño experimental**

El diseño estadístico adoptado para la variable de rendimiento y longitud radicular fue la prueba estadística no paramétrica de Kruskal – Wallis (de William Kruskal y W. Allen Wallis), porque se compara más de dos muestras con el propósito de conocer si proceden de la misma población, y comparar si existen diferencias entre las medidas de tendencia central de más de dos poblaciones y no se justifica la suposición de normalidad y de igualdad de varianzas.

Para el desarrollo del trabajo de investigación, se instaló cuatro parcelas de áreas iguales con las mismas condiciones de suelo y clima, asignando a cada uno un valor diferente de factor de secamiento ( $f$ ) para la lechuga, con riego por microaspersión. A continuación, se detalla cómo se asignaron las parcelas, a las que nombre como  $f1$ ,  $f2$ ,  $f3$  y  $f4$ :

- **$f1$** : Parcela con riego al 20 % de factor de secamiento.
- **$f2$** : Parcela con riego al 25 % de factor de secamiento.
- **$f3$** : Parcela con riego al 30 % de factor de secamiento.
- **$f4$** : Parcela con riego al 35 % de factor de secamiento.

### 5.4.3. Conducción del trabajo de investigación

Antes de instalar el experimento, se realizaron las siguientes actividades:

#### 5.4.3.1. Reconocimiento del recurso hídrico

La fuente de agua se obtuvo de la bocatoma N° 04, del Proyecto de Irrigación K'ayra, que tiene un caudal de 4.5 l/s, el cual es captado y conducido hasta la cabecera del potrero "C" parcela N° 2. Con este caudal se puso en funcionamiento el sistema de riego por microaspersión conduciéndose y distribuyéndose uniformemente.

**Fotografía 1.** Bocatoma sector "Chanchería"



#### 5.4.3.2. Reconocimiento del terreno experimental

El área total de la parcela N° 2 es de 13515,142 m<sup>2</sup> con un perímetro de 462,387 metros y una pendiente de 1.33 %, esta presentaba irregularidades en su superficie, para el desarrollo del trabajo de investigación se realizó las labores de arado y rastrado en el mes de septiembre del 2015, con el fin de remover rastrojos de cosechas anteriores y uniformizar el terreno.

*Fotografía 2. Vista del terreno experimental, Parcela C-2.*



#### 5.4.3.3. Diseño del campo experimental

Del área total de la parcela N° 2, se seleccionó un área de 140 m<sup>2</sup> con una dimensión de 10x14 metros, de forma rectangular, donde se instaló el trabajo de investigación.

Con un área de 140 m<sup>2</sup> asignado, se procedió a dividir en cuatro parcelas de áreas iguales de 20 m<sup>2</sup>, de 10x2 metros cada una, separada por calles de 0.50 m, delimitado con estacas y marcada con la ayuda de cordel y yeso.

Posteriormente se midió la distancia que existe entre la fuente de agua y el lugar de trabajo, y se realizó un croquis del diseño de campo experimental para situar los puntos de la instalación del cabezal de riego, la línea de conducción principal, secundaria, lateral y los emisores.

También fue útil para establecer el diseño de la plantación y la densidad de siembra del cultivo de lechuga.

Cuadro 5. Características del diseño del campo experimental.

<b>Campo Experimental</b>	<b>Unidad</b>
Largo	14 m
Ancho	10 m
Área total a intervenir	140 m <sup>2</sup>
<b>Parcela (04)</b>	<b>Unidad</b>
Largo	10 m
Ancho	2 m
Área de cada parcela	24 m <sup>2</sup>
Distancia de calles entre parcela	0.50 m
<b>Densidad de siembra</b>	<b>Unidad</b>
Distanciamiento entre plantas	0.25 m
Distanciamiento entre surcos	0.25 m
Número de plantas por parcela	320
Número total de plantas	1280
Nº de plantas evaluadas por parcela	50
Nº total de plantas evaluadas	200
<b>Microaspersores</b>	<b>Unidad</b>
Número de microaspersores por parcela	08
Número total de microaspersores	32

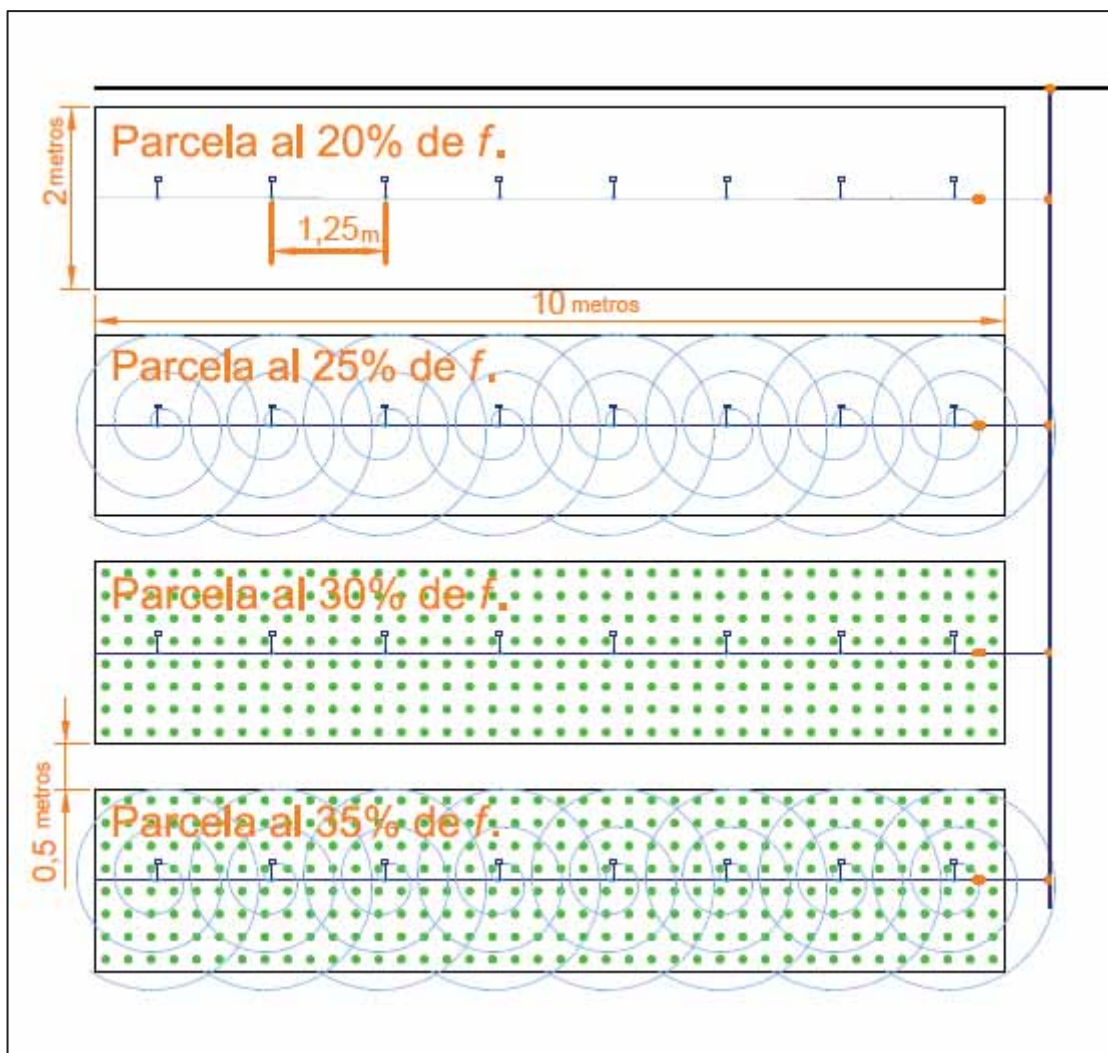
**Fotografía 3.** División del área total en cuadrantes de 10m x 10m.



**Fotografía 4.** División del área en parcelas de 2m x 10m.



**Croquis 1.** Diseño del campo experimental.



#### 5.4.3.4. Caracterización de suelos

Para determinar las características del suelo de la parcela N° 02, se tomó muestras del suelo en lugares representativos a una profundidad de 35 cm, debidamente homogeneizada y etiquetada para ser llevada al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, para su análisis y posterior obtención de resultados.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de suelo:

Cuadro 6. Análisis de fertilidad.

N°	CLAVE	mmhos/cm C.E	pH	% MO	% N. TOTAL	ppm	ppm
						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	M-1	0.20	7.8	1.14	0.06	84.3	102

Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias (2015).

Cuadro 7. Análisis de caracterización.

N°	CLAVE	meq/100 CIC	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL
1	M-1	18.90	39	46	15	FRANCO

Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias (2015).

Cuadro 8. Análisis de humedad, densidad y porosidad del suelo.

N°	CLAVE	% HE	% CC	g/cc Da	g/cc Dr	% PMP	% POROSIDAD
1	M-1	23.47	22.92	1.47	2.53	9.79	41.89

Fuente: Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias (2015).

#### 5.4.3.5. Reconocimiento de la estación meteorológica K'ayra

Para la planificación del riego por microaspersión, fue necesario conocer los datos meteorológicos de precipitación, velocidad del viento y humedad relativa (H°R) diarias, las cuales se obtuvieron de la estación MAP K'ayra.



#### 5.4.3.6. Instalación del Tanque Clase A

Para la planificación del riego por microaspersión, se instaló un Tanque Clase A, al lado del campo experimental para más precisión. Para obtener la evaporación en mm/día, se realizó lecturas diarias a las 7.00 am del tanque evaporímetro, que posteriormente se usó en la planilla de manejo de riego.

**Fotografía 5.** *Tanque Clase A instalado en campo.*



#### 5.4.4. Diseño agronómico

En cualquier sistema de riego, lo primero que se debe realizar es el diseño agronómico, que en este caso consiste básicamente en determinar los parámetros necesarios para conocer las necesidades hídricas de cualquier cultivo, según las condiciones edafológicas, en este caso del potrero "C" parcela N° 2, además para el buen funcionamiento del sistema de riego.

El diseño agronómico se realizó con el fin de regar dentro de los rangos de humedad apropiados para el cultivo de lechuga, es decir entre los valores de humedad correspondientes al factor de secamiento y la capacidad de campo del suelo.

Considerando que el objetivo principal es el estudio del factor de secamiento para el cultivo de la lechuga, fue significativo determinar cuidadosamente los siguientes parámetros agronómicos.

#### 5.4.4.1. Condiciones edafológicas

Con el análisis del suelo, se obtuvo las características físicas del suelo, importantes para el cálculo de las láminas de riego como: capacidad de campo en % (CC), punto de marchitez permanente en % (PMP), densidad aparente del suelo  $\text{gr/cm}^3$  (Da).

Asimismo, se determinó los parámetros del cultivo como: profundidad efectiva radicular ( $z$ ) en cm y el factor de secamiento ( $f$ ) adimensional siempre menor a 1.

- **Textura del suelo:** franco
- **Densidad aparente:**  $1.47 \text{ gr/cm}^3$
- **Capacidad de campo:** 22.92
- **Punto de marchitez permanente:** 9.79
- **Cultivo:** Lechuga, *Lactuca sativa* L. Var. *White Boston*
- **Profundidad radicular:** 0.25 m
- **Área del terreno:**  $140 \text{ m}^2$

Cuadro 9: Factores de secamiento ( $f$ ) en estudio.

Parcela	Factor de agotamiento ( $f$ )	Fuente
$f1$	0.20 o 20%	Factor de secamiento propuesto
$f2$	0.25 o 25%	Factor de secamiento propuesto
$f3$	0.30 o 30%	Factor de secamiento según la FAO, mencionado en Estudio FAO y Drenaje N° 56, 2006.
$f4$	0.35 o 35%	Factor de secamiento propuesto

#### 5.4.4.2. Cálculo de las láminas de riego

La lámina neta de riego es la cantidad de agua que un suelo es capaz de almacenar y que está disponible para la absorción radicular por parte de las plantas.

Para conocer la cantidad óptima de agua de riego necesario para aplicar al cultivo de lechuga, se empleó las siguientes ecuaciones:

- **Lámina neta para riego de machaco:** es la cantidad de agua que un suelo puede almacenar hasta la profundidad radicular, la lámina neta para riego de machaco se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{10} \right) * Da * z$$

$$Ln = \left( \frac{22.92\% - 9.79\%}{10} \right) * 1.47 \text{ g/cm}^3 * 25 \text{ cm}$$

$$\mathbf{Ln \text{ inicial} = 48.25 \text{ mm}}$$

Esta lamina de 48.25 mm, es el requerimiento volumétrico de agua que se incorporó al suelo, para fines de preparación del suelo y la posterior instalación del cultivo de lechuga.

Dicha lámina denominaremos como lamina inicial para fines de cálculo con la planilla de manejo de riego, en cada una de las parcelas en estudio.

- **Lámina neta para riego de mantenimiento:** adicional a la lámina neta inicial, se toma en cuenta el factor de secamiento (f) o porcentaje de agotamiento, que determina la cantidad de agua disponible que puede perder un cultivo sin afectar su desarrollo normal y su capacidad de producción.

Para este trabajo se planteó cuatro valores diferentes de factor de secamiento (f) o porcentaje de agotamiento, mencionado en el cuadro N° 9, por lo tanto, se calculó una lámina neta final para cada parcela, como se muestra a continuación:

- **Para la f1:** Parcela con riego al 20 % de factor de secamiento.

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{10} \right) * Da * z * f$$

$$Ln = \left( \frac{22.92\% - 9.79\%}{10} \right) * 1.47 \text{ g/cm}^3 * 25 \text{ cm} * 0.20$$

$$\mathbf{Ln = 9.65 \text{ mm}}$$

El descenso de humedad que puede tolerar la lechuga es de 9.65 mm, a una profundidad de 25 cm.

Entonces:

$$Ln\ fin = 48.25\ mm - 9.65\ mm$$

$$\mathbf{Ln\ fin = 38.6\ mm}$$

Para el uso de la planilla de riego, se determinó la lámina neta final de 38.6 mm, que se interpreta de la siguiente manera; que a partir de la lámina neta inicial de 48.25 mm, esta disminuirá diariamente hasta llegar a una lámina neta final de 38.6 mm, que indica el momento para regar, y debe aplicarse la lámina complementaria de la fracción de agua consumida, para retornar a la lámina neta inicial de 48.25mm.

- **Para la f2:** Parcela con riego al 25 % de factor de secamiento.

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{10} \right) * Da * z * f$$

$$Ln = \left( \frac{22.92\ \% - 9.79\ \%}{10} \right) * 1.47\ g/cm^3 * 25\ cm * 0.25$$

$$\mathbf{Ln = 12.06\ mm}$$

El descenso de humedad que puede tolerar la lechuga es de 12.06 mm.

Entonces:

$$Ln\ fin = 48.25\ mm - 12.06\ mm$$

$$\mathbf{Ln\ fin = 36.19\ mm}$$

- **Para la f3:** Parcela con riego al 30 % de factor de secamiento.

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{10} \right) * Da * z * f$$

$$Ln = \left( \frac{22.92\ \% - 9.79\ \%}{10} \right) * 1.47\ g/cm^3 * 25\ cm * 0.30$$

$$\mathbf{Ln = 14.48\ mm}$$

El descenso de humedad que puede tolerar la lechuga es de 14.48 mm.

Entonces:

$$Ln_{fin} = 48.25 \text{ mm} - 14.48 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Ln_{fin} = 33.77 \text{ mm}}$$

- **Para la f4:** Parcela con riego al 35 % de factor de secamiento.

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{10} \right) * Da * z * f$$

$$Ln = \left( \frac{22.92 \% - 9.79\%}{10} \right) * 1.47 \text{ g/cm}^3 * 25 \text{ cm} * 0.35$$

$$\mathbf{Ln = 16.89 \text{ mm}}$$

El descenso de humedad que puede tolerar la lechuga es de 16.89 mm.

Entonces:

$$Ln_{fin} = 48.25 \text{ mm} - 16.89 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Ln_{fin} = 31.36 \text{ mm}}$$

- **Lámina bruta para riego de machaco:** la lámina bruta expresa la relación de la lámina neta entre la eficiencia de riego, al sistema de riego por microaspersión le corresponde una  $Ea$  de 0.90, la lámina bruta ( $Lb$ ) se determinó con la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{48.25 \text{ mm}}{0.90}$$

$$\mathbf{Lb = 53.61 \text{ mm}}$$

- **Volumen de agua requerido:** Se calculó el volumen de agua requerido para cada parcela a partir de la lámina bruta, con las siguientes operaciones matemáticas:

Sabiendo que:  $1 \text{ mm} = \frac{1 \text{ lt}}{1 \text{ m}^2} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}} = 10000 \frac{\text{lt}}{\text{ha}}$

Entonces:  $Vn = 53.61 \text{ mm} = \mathbf{536.1 \text{ m}^3/\text{ha}}$

Si cada parcela tiene un área de 20 m<sup>2</sup>, aplicamos la siguiente relación:

$$V_n = \frac{536.1 \text{ m}^3}{10000 \text{ m}^2} * 20 \text{ m}^2$$

$$V_n = 1.072 \text{ m}^3$$

$$V_n = 1072 \text{ lt}$$

El volumen de agua requerido para regar inicialmente cada parcela de 20 m<sup>2</sup> fue de 1072 lt.

#### **5.4.4.3. Tiempo de riego:**

Se calculó el tiempo de riego requerido, sabiendo que el caudal (lt/h) de cada microaspersor es de Q=43 lt/h, y que cada parcela tiene 08 microaspersores.

Entonces:

$$Q_e = 43 \frac{\text{lt}}{\text{h}} * 8$$

$$Q_e = 344 \text{ lt/h}$$

$$t_a = \frac{1072 \text{ lt}}{344 \text{ lt/h}}$$

$$t_a = 3 \text{ horas } 7 \text{ min } 12 \text{ seg}$$

$$t_a = 3 \text{ horas } 8 \text{ min}$$

El tiempo del riego requerido para cubrir un volumen de agua de 1072 lt. fue de 3 horas 8 minutos en cada parcela.

#### **5.4.4.4. Número de riego por mes**

Esta se adquirió de la contabilización del número de riegos realizados por mes, para la parcela *f1*, *f2*, *f3* y *f4*, que se detallada en sus respectivas planillas de manejo de riego, como se detalla a continuación:

Cuadro 10. Planilla de manejo de riego.

PANILLA DE CALCULO DE MANEJO DE RIEGO N° 01														
Provincia	Cusco				Ln Inicio	48.25	Cultivo	Lechuga var. White Boston						
Distrito	San Jerónimo				Ln Fin	38.60	Fecha de trasplante	24/10/2015						
Lugar	Centro Agronómico Kayra				Factor de Secamiento (f)	0.20	Área del terreno	20 m <sup>2</sup>						
Sector	Potrero C-2				Eficiencia	0.90	Responsable	Lisset Huanca Huisa						
Parcela	f1													
FECHA	DDS	V (m/s)	HR (%)	Kp	Evaporación (mm)	Ego (mm)	Kc	ETc (mm)	Ganancia de Agua			Consumo de Agua		
									Precipitación efec. (mm)	Riego Necesario (mm)	Riego a Aplicar (mm)	Ln Inicio (mm)	Ln Fin (mm)	
29-oct	36	1.3	52.3	0.80	3.45	2.76	0.76	2.10				48.25	46.15	
30-oct	37	1.0	63.5	0.80	2.33	1.86	0.77	1.44				46.15	44.72	
31-oct	38	1.5	60.3	0.80	5.10	4.08	0.78	3.18				44.72	41.53	
01-nov	39	2.2	57.7	0.75	4.95	3.71	0.79	2.93				41.53	38.60	
02-nov	40	2.0	54.0	0.80	4.36	3.49	0.80	2.79		9.65	10.72	48.25	45.46	
03-nov	41	1.2	51.0	0.80	5.14	4.11	0.81	3.33				45.46	42.13	
04-nov	42	1.0	50.5	0.80	5.92	4.74	0.82	3.88				42.13	38.25	
05-nov	43	1.7	54.0	0.80	3.02	2.42	0.83	2.01		10.00	11.12	48.25	46.24	
06-nov	44	3.5	53.5	0.75	2.96	2.22	0.84	1.86	4.2			46.24	48.61	
07-nov	45	0.0	55.0	0.80	3.62	2.90	0.85	2.46				48.61	46.15	
08-nov	46	1.7	53.0	0.80	3.68	2.94	0.86	2.53	6.4			46.15	50.01	
09-nov	47	1.7	67.0	0.80	0.52	0.42	0.87	0.36	2.7			50.01	52.34	
10-nov	48	1.2	59.5	0.80	3.22	2.58	0.88	2.27				52.34	50.08	
11-nov	49	0.0	54.5	0.80	2.12	1.70	0.89	1.51				50.08	48.57	

En la planilla de manejo de riego mostrada anteriormente, se puede apreciar que el valor de 48.25 mm corresponde a la lámina neta del riego de machaco, que para fines de cálculo se utiliza como lámina de inicio, para las cuatro parcelas en estudio.

La lámina neta final se obtiene de la diferencia de la lámina neta de riego de machaco y la lámina neta del riego de mantenimiento, y esta es diferente para cada parcela debido a los factores de secamiento planteados en el cuadro N° 9:

- **Para la f1:** Parcela con riego al 20 % de factor de secamiento: Ln fin = 38.60 mm
- **Para la f2:** Parcela con riego al 25 % de factor de secamiento: Ln fin = 36.19 mm
- **Para la f3:** Parcela con riego al 30 % de factor de secamiento: Ln fin = 33.77 mm
- **Para la f4:** Parcela con riego al 35 % de factor de secamiento: Ln fin = 31.36 mm

### Uso de la planilla de manejo de riego

1. Para obtener la ETo, primero se determina el coeficiente del tanque (kp), para lo cual se utiliza la tabla N° 02 de coeficiente del tanque evaporímetro en suelo desnudo, con la ayuda de datos climáticos de humedad relativa (HR) y velocidad de viento diaria, obtenidas de la estación MAP K'ayra.
2. El valor del coeficiente del tanque (kp) se multiplica por la evaporación diaria (Ev), obtenida del tanque clase A, obteniendo así la ETo.
3. La ETc diaria se obtiene del producto de la ETo y el Kc diario del cultivo de lechuga elaborado y adaptado para el trabajo.

4. A partir de la lámina neta inicial se empieza a restar la ETc de forma diaria, hasta llegar a la lámina neta final, que indica el momento para proceder a regar el cultivo de lechuga.
5. La lamina de riego necesario para aplicar, corresponde a la diferencia de la lámina neta inicial y la lámina neta final, este valor se divide entre la eficiencia de riego, y obtener la lámina bruta para que finalmente se aplique dicha lámina de agua al suelo.
6. Si se presentan precipitaciones, estas se añaden a la lámina neta final.

#### **5.4.5. Demanda hídrica**

La demanda hídrica del cultivo de lechuga se calculó con la suma de las ETc diarias, que corresponde al consumo diario de agua por parte del cultivo de lechuga desde el primer riego hasta el último, registradas en la planilla de manejo de riego.

Las ETc diarias para el cultivo de lechuga se determinó con el siguiente procedimiento:

##### **5.4.5.1. Calculo de la ETo diaria**

A través de las lecturas del Tanque Clase A, se determinó la ETc diaria, lo que corresponde al consumo diario de agua por parte del cultivo de lechuga, y se desarrolló de la siguiente manera:

##### **Uso del tanque clase A.**

Para determinar la evaporación por el método del tanque evaporímetro, se requirió los siguientes datos meteorológicos y el coeficiente del tanque (Kp).

- **Humedad relativa (%)**

Se realizó lecturas diarias del higrómetro, de la estación MAP K'ayra, dos veces al día, a las 7.00 horas y 19.00 horas, obteniendo la humedad relativa máxima y la humedad relativa mínima, para determinar la humedad relativa media con la media aritmética.

$$HR_{media} = \frac{HR_{max} + HR_{min}}{2}$$



Para el día 02 de noviembre, la  $HR_{max}$  es 82 % y la  $HR_{min}$  es 26 %, entonces la media aritmética será:

$$HR_{media} = \frac{82 + 26}{2}$$

$$HR_{media} = 54 \%$$

Entonces la  $HR_{media}$  es **54 %**, de esta misma forma se aplicó a todos los datos diarios de humedad relativa.

- **Velocidad del viento (m/s)**

Las lecturas diarias de velocidad de viento se realizaron tres veces al día, a las 7.00 horas, 13.00 horas y 19.00 horas, el recorrido del viento obtenido fue en 24 horas, y para fines de estandarización se hizo la corrección de la velocidad del viento a 2 metros de altura (según indica la FAO), haciendo uso de esta ecuación, con un factor de corrección de 0.748.

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8_z - 5.42)}$$

Si la velocidad del viento para el día 02 de noviembre es 2.7 m/s, entonces la corrección se calcula así:

$$u_2 = 2.7 * 0.748$$

$$u_2 = 2.00 \text{ m/s}$$

Entonces la velocidad del viento de 2.0 m/s, corregida a 2 m de altura es **2.0 m/s**, de esa misma manera se corrigió los datos diarios de velocidad del viento durante todo el trabajo.

- **Coficiente del tanque evaporímetro (Kp)**

Según las características del campo donde se encuentra instalado el tanque evaporímetro, estamos en el caso A, además conociendo los niveles de humedad relativa y la velocidad del viento diaria, podremos hacer uso de las tablas de coeficiente del tanque evaporímetro (Kp) dadas por la FAO.

Continuando; la evaporación del día 02 de noviembre fue de 4.36 mm, y el Kp obtenido de la tabla N° 2 es 0.80, calculando la ETo de la siguiente manera:

$$ETo = Ev * Kp$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

Ev = Evaporación del agua en el tanque (mm/día).

Kp = Coeficiente del tanque.

$$ETo = 4.36 * 0.80$$

$$ETo = 3.49 \text{ mm}$$

Entonces la ETo para el día 02 de noviembre fue de 3.49 mm, de la misma manera se continuó calculando la ETo diaria en la planilla de manejo de riego.

#### **5.4.5.2. Calculo de la ETc diaria**

Según la ecuación:

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

Kc = Coeficiente de cultivo

Para determinar la ETc diaria, se requiere los valores del coeficiente del cultivo (Kc) diario del cultivo de lechuga.

Que se desarrolló de la siguiente manera:

- **Calculo del coeficiente del cultivo (Kc)**

El coeficiente del cultivo, depende de las características propias y específicas de cada planta y la variación de extraer el agua del suelo durante el periodo vegetativo.

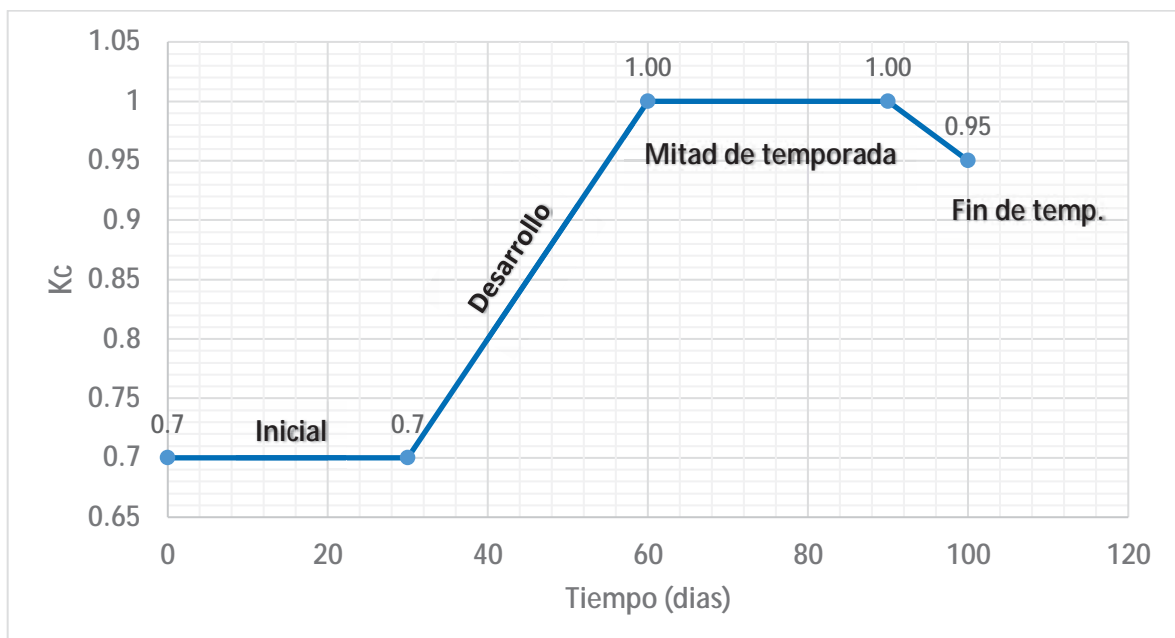
Para determinar el valor del coeficiente del cultivo diario, primero se designó las fases del periodo vegetativo para el cultivo de lechuga:

Cuadro 11. Coeficiente del cultivo (Kc) de lechuga, con fases del periodo vegetativo en días.

Fases	Kc	Días
<b>Kc Inicial</b>	0.70	0 - 30
<b>Kc Desarrollo</b>	0.70 - 1.00	30 - 60
<b>Kc Medio</b>	1.00	60 - 90
<b>Kc Final</b>	1.00 - 0.95	90 - 100

A partir del Kc asignado para cada fase, se procedió a elaborar la curva del coeficiente del cultivo, para obtener el Kc diario del cultivo de lechuga, como se muestra a continuación:

Gráfico N° 1. Curva del coeficiente del cultivo de lechuga.



Por último, teniendo la  $ET_o$  de 3.49 mm, para el día 02 de noviembre obtenida anteriormente, se continúa calculando la  $ET_c$  diaria del cultivo de lechuga, sabiendo que el  $K_c$  es 0.80 para ese día, con la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

$$ET_c = 3.49 * 0.80$$

$$ET_c = 2.79 \text{ mm}$$

La evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  fue de 2.79 mm para el día 02 de noviembre, de esta manera se continuo el cálculo la  $ET_c$  diario durante todo el periodo vegetativo de la lechuga, en la planilla de manejo de riego.

#### **5.4.5.3. Cálculo de la precipitación efectiva diaria.**

La precipitación es la lluvia que se infiltra en el suelo, sin llegar a perderse por escorrentía o por filtración profunda, y permanece a disposición de las raíces de las plantas sin ahogarlas.

Para determinación de la precipitación efectiva diaria se aplicó las siguientes ecuaciones:

- Si la lámina de precipitación fue mayor a 25 mm/día.

$$Pe = 1.27 * Pt^{0.75} - 0.806 * Pt^{1.5}$$

- Si la lámina de precipitación fue menor a 25 mm/día.

$$Pe = Pt - 0.05 * Pt^2$$

La precipitación del día 09 de noviembre fue de 3.0 mm obtenido del pluviómetro de la estación MAP K'ayra, reemplazando en la ecuación:

$$Pe = 3.0 - (0.05 * 3.0^2)$$

$$Pe = 2.7 \text{ mm}$$

Se calculó la precipitación efectiva que fue de 2.7 mm, de la misma manera se calculó para los posteriores días de lluvia, en la planilla de manejo de riego.

#### **5.4.6. Instalación del sistema de riego por microaspersión.**

Antes de instalar el sistema de riego por microaspersión, se diseñó un croquis para indicar la ubicación del cabezal de riego, distribución de las tuberías, válvulas, microtubos y microaspersores en cada área.

Conociendo la distribución de las tuberías a lo largo de las parcelas, se marcó sobre el suelo usando cordeles.

**Fotografía 6.** *Marcación para la ubicación del sistema de riego.*



#### **1. Captación:**

La fuente de agua se adquirió de la bocatoma N° 04, del Proyecto de Irrigación K'ayra, que desemboca en la cabecera del terreno denominada como potrero "C" parcela N° 2, que para su uso se habilitó un acople unión a una tubería de PVC de 2 metros de largo, designada como línea de suministro de agua.

Posteriormente se cavaron zanjas para el paso del tubo de PVC, a una profundidad aproximada de 25 cm, que dependió del diámetro del tubo.

Adicionalmente se hizo un acople unión de la tubería de PVC a una manguera de polietileno de 2" para aprovechar la flexibilidad de este, y llegar hasta el sitio donde se situó el cabezal de riego.

**Fotografía 7.** Vista del acople unión, para línea de suministro de agua.



**Fotografía 8.** Vista de la línea de suministro de agua, uniéndose a una manguera de polietileno de 2”.



## 2. Cabezal de riego

Seguidamente se instaló el cabezal de riego, con la finalidad de medir, regular y filtrar el agua; esta conecta la línea de suministro de agua con la línea de distribución principal.

El cabezal de riego estuvo conformado por:

- Un manómetro de 8 bares.
- Llave manual de 1”.
- Un filtro de anillos de 120 mesh.
- Válvula de aire de acción continua de 2”
- Inyector venturi
- Tubería de PVC de 1”
- Accesorios para en cabezal de riego.

Todo este conjunto de implementos del cabezal de riego se alojó en una arqueta, desde donde se controló el paso del agua para riego hacia las parcelas, con una llave de manual 1”.

**Fotografía 9.** *Instalación del cabezal de riego.*



**Fotografía 10.** *Vista del cabezal de riego en el campo experimental.*



### 3. La red de distribución

Esta se encargó de distribuir el agua desde el cabezal de riego hasta las parcelas de cultivo, conformado por una red tuberías de polietileno; las cuales estuvieron unidas por conectores, acoples y reductores de material de PVC a lo largo del terreno.

La tubería principal estuvo conformada por una manguera de polietileno de 2" de 30 metros de largo, unida al cabezal de riego por un codo y un acople rosca. La tubería principal denominada como la línea de distribución principal se condujo a lo largo de todo el terreno, y esta a su vez se dio lugar a la línea distribución secundaria que se apertura con un sacabocado de 1", para la colocación de una válvula de PVC de 1", y se unió a una manguera de polietileno de 1" de 12 metros de largo.

**Fotografía 11.** Colocación de la línea de conducción principal de riego.



Las tuberías terciarias sirvieron de empalme con los emisores, para tal se instaló 04 ramales de polietileno 16 mm de 10 metros de largo, dispuestas perpendicularmente a la tubería secundaria.

Para la apertura y cierre del suministro de agua de cada línea ramal (04), se le colocó una válvula ramal de polietileno de 16 mm, de esta manera se controló el riego de cada parcela independiente de la otra.



**Fotografía 12.** Apertura de orificios para la colocación de válvulas.



**Fotografía 13.** Colocación de las válvulas en la línea de conducción principal.



#### **4. Los emisores**

A partir de cada línea ramal (04) se colocó 08 microaspersores de riego, que corresponden a cada parcela, que se determinó teniendo en cuenta que los radios de alcance de 1.20 m., con traslape de forma que toda la parcela quede regada, y que exista una distribución del agua lo más uniforme posible.

Para la apertura de salida de los emisores se usó un sacabocado de p.e. 16 mm.

Lo ideal fue colocar los emisores a lo largo de la zona central, según la forma y extensión de la parcela (2m x 10m).

## Características técnicas de los microaspersores

Las características técnicas de los microaspersores, según el catálogo de la marca NanDanJain, se detallan a continuación:

- **Marca:** NanDanJain
- **Modelo:** Jardí modular
- **Espaciamiento entre emisores:** 1.20 m
- **Caudal por boquilla:** 43 lt/h
- **Diámetro de la boquilla:** 0.94 mm
- **Presión de trabajo:** 1.0 a 3.5 bares
- **Eficiencia de aplicación:** 90% de acuerdo a la ficha técnica del microaspersor de la marca NaanDanJain.

**Fotografía 14.** *Marcación del para la apertura de salida de los emisores.*



**Fotografía 15.** *Apertura de orificios para los emisores, con sacabocados.*



Para finalizar se comprueba que todo funciona correctamente y se ajustan los ángulos de riego de los microaspersores.

**Fotografía 16.** Vista de las parcelas con las líneas de conducción secundarias.



#### **5.4.6.1. Procedimiento para el funcionamiento del sistema de riego por microaspersión con cultivo.**

1. A partir del cabezal de riego, donde se apertura y cierra el agua, con una presión del trabajo de 1.5 a 4 bares se inicia el funcionamiento del riego por microaspersión.
2. Para comenzar, se aplicó un riego correspondiente a la lámina neta inicial de 48.25 mm, uniformemente en todo el campo experimental, para que el suelo llegue a la capacidad de campo, por un tiempo de 3 horas 8 minutos, calculados anteriormente.
3. Esta capacidad de campo se mantuvo, hasta el trasplante de las plantas lechuga y su posterior prendimiento al 90 %.
4. A partir de este punto, para hacer dichas comparaciones ya mencionadas anteriormente, se sometió a cada parcela diferentes tratamientos; la primera parcela con un riego al 20 % de factor de secamiento, la segunda parcela con un riego al 25 % de factor de secamiento, la tercera parcela con un riego al 30 % de factor de secamiento y la cuarta parcela con un riego al 35 % de factor de secamiento.

5. El diseño agronómico, se realizó con el fin de regar entre los valores de humedad correspondientes al factor de secamiento ( $f$ ) y la capacidad de campo, para cada tratamiento.
6. El consumo diario de agua del cultivo de lechuga, se determinó con la ETc diaria obtenida a través de las lecturas diarias del Tanque Clase A.
7. Al obtener los datos diarios de consumo de agua, se conocía en qué momento o cuando se debía regar, y con los cálculos de láminas de riego se sabía cuánto se iba a regar.
8. Así se controlaban los riegos por microaspersión en cada parcela, a penas alguna de las parcelas llegaba a la lámina neta final de 38.60 mm, 36.19 mm, 33.77 mm, 31.36 mm, se procedía a regar hasta que retome la lámina neta inicial de 48.25 mm.
9. De esta manera se efectuaron los riegos por microaspersión, hasta que las plantas de lechuga alcancen la madurez comercial para su cosecha, y las evaluaciones respectivas.

#### **5.4.7. El cultivo**

El cultivo en estudio, fue la lechuga *Lactuca sativa* L. Var. White Boston; con la finalidad de producir la germinación de las semillas con las mejores condiciones y cuidados, y puedan crecer equitativamente sin dificultad hasta obtener plántulas de lechuga listas para el trasplante, se instaló un almacigo.

#### **Almacigo:**

En una cama almaciguera de 1m<sup>2</sup> y 0.20m de altura, se rellenó un sustrato preparado a base de tierra agrícola, sobre la que se sembraron las semillas de lechuga, que fueron adquiridas de las tiendas agro veterinarias.

En el sustrato con humedad a capacidad de campo, se realizó la siembra en pequeños surcos y a chorro continuo, para luego ser cubiertas con el mismo sustrato de la almaciguera, a una profundidad de un 1 cm. Inmediatamente después se regó con regadera manual, también a fin de evitar el daño por animales y fuerte insolación, se cubrió con una malla raschel de color verde a 70% de sombra, a una altura de 0.50 cm; y cuando las plántulas emergieron en su totalidad (10 días

posteriores) esta malla fue descubierta, para que las futuras plantas de lechuga puedan desarrollarse vigorosas y adaptadas al medio ambiente.

**Fotografía 17.** *Siembra de las semillas de lechuga en una almaciguera.*



**Fotografía 18.** *Emergencia de las plántulas de lechuga en su totalidad.*



El tiempo de las plantas en almaciguera desde la siembra fue de 30 días, durante el cual se realizaron labores de riego, manteniéndolo a una humedad adecuada y el correspondiente desahije para regular la densidad de plántulas.

**Fotografía 19.** *Crecimiento de las plántulas de lechuga en almaciguera.*



### **Instalación de las plantas al campo definitivo**

Cuando las plántulas de lechuga alcanzaron entre 5 a 6 cm de altura, se realizó el trasplante a las parcelas a capacidad de campo; a una densidad de 25 cm x 25 cm de planta a planta, instalando 320 plántulas de lechuga en cada parcela, y un total de 1280 plántulas en el campo experimental.

**Fotografía 20.** *Demarcación de las parcelas de 25 cm x 25 cm para cada plántula.*



**Fotografía 21.** *Trasplante de las plántulas de lechuga a campo definitivo.*



**Fotografía 22.** *Vista de la parcela con plántulas de lechuga trasplantadas.*



Después del trasplante, a fin de asegurar el prendimiento de las plántulas, fueron inmediatamente complementadas con un riego. Los riegos fueron frecuentes, a través del sistema de riego por microaspersión ya instalado por 5 días, para mantener la humedad a capacidad de campo.

**Fotografía 23.** *Plantas de lechuga completamente prendidas.*



**Deshierbo:** se realizaron con mucha frecuencia a medida que aparecían las malezas en las parcelas y en general en todo el campo experimental.

**Fotografía 24.** *Mantenimiento de las parcelas limpias (sin malezas).*



**Cosecha:** Las lechugas fueron cosechadas el 22 de diciembre del 2015, cuando el cultivo alcanzo el estado de madurez comercial. Para proceder con sus evaluaciones correspondientes a rendimiento expresado en kg/ha y/o tn/ha, se determinó el peso promedio de cada parcela evaluada y al finalizar se llevó al mercado para su venta.



**Fotografía 25.** Vista de las lechugas en estado de madurez comercial de la f1.



**Fotografía 26.** Cosecha de las lechugas para sus evaluaciones respectivas.



#### **5.4.8. Evaluación de variables**

##### **5.4.8.1. El diseño agronómico**

Con los datos obtenidos del laboratorio de suelos y los parámetros de diseño asignados para el cultivo de lechuga, se calculó el diseño agronómico para cada parcela (factor de secamiento ( $f$ ) al 20%, 25%, 30%, y 35%), determinándose la lámina neta de machaco y de mantenimiento, la lámina bruta, el volumen de agua, el tiempo de riego, frecuencia de riego y el consumo de agua diario.

##### **5.4.8.2. Demanda hídrica**

Utilizando el método del tanque evaporímetro, se determinó la demanda hídrica del cultivo de lechuga, por de la sumatoria de las ETc diarias registradas en la planilla de manejo de riego.

##### **5.4.8.3. Rendimiento del cultivo de lechuga**

###### **Peso fresco de cogollo:**

Se cosecharon 50 lechugas por parcela, cortando el cogollo a la altura del cuello de la raíz, para luego pesarlas en una balanza, obteniendo el peso en gr/planta, kg/ha y este último expresados en tn/ha, como rendimiento de la producción final.

**Fotografía 27.** *Lechugas seleccionadas de la f1 para sus evaluaciones respectivas.*



**Fotografía 28.** Lechugas seleccionadas de la f3 y f2 para sus evaluaciones respectivas.



**Fotografía 29.** Peso fresco del cogollo de la lechuga.



Para comparar el peso fresco del cogollo por planta y la longitud de la raíz de la lechuga entre las cuatro parcelas, se determinó realizar el análisis de varianza mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, debido a que los datos obtenidos de la variable no cumplían con los requisitos de normalidad y homogeneidad de acuerdo a la prueba de Kolmogrov-Smirnov; a un nivel de significación del 0,05; utilizando el software estadístico SPSS.

#### 5.4.8.4. Longitud de la raíz del cultivo de lechuga

Las mismas plantas de lechuga fueron evaluadas para determinar la longitud de la raíz. Con una regla milimetrada se midieron las raíces de 50 plantas de lechuga por parcela, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la raíz más larga; utilizando como unidad de medida el centímetro.

*Fotografía 30. Medición de la longitud de la raíz de lechuga.*



## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Resultados del diseño agronómico

El objetivo de esta parte, fue determinar las necesidades hídricas de la lechuga, según los factores de secamiento ( $f$ ) propuestos para el desarrollo del presente trabajo.

Para el diseño agronómico, se tomó en cuenta los siguientes parámetros detallados a continuación:

Cuadro 12. Parámetros de diseño agronómico.

PARÁMETROS DE DISEÑO	Unidades	Descripción
Lugar del trabajo de investigación.		Centro Agronómico K'ayra (Parcela C-2)
Superficie	m <sup>2</sup>	140
Cultivo		Lechuga
Relieve predominante		Uniforme
Fuente de agua		Superficial
Distanciamiento entre plantas.	m.	0.25
Distanciamiento entre surcos	m.	0.25
Textura		Franco
Pendiente Promedio	%	1.33
Capacidad de campo	(%)	22.92
Punto de marchitez permanente	(%)	9.79
Densidad aparente	g/cc	1.47
Profundidad radicular efectiva	Cm	25
Consumo diario promedio	mm/día	2.48
Coefficiente del cultivo (Kc)	Adimensional	Ver el cuadro N° 13
Factor de secamiento ( $f$ )	Adimensional	Ver el cuadro N° 14

Los valores del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) diario, se determinó con la curva de  $K_c$  de la lechuga, como se muestra en el gráfico N° 01, y se resume en el siguiente cuadro:

Cuadro 13. Coeficiente del cultivo de lechuga, con fases del periodo vegetativo en días, a partir de la curva de  $K_c$ .

Cultivo de Lechuga	Días desde el trasplante hasta la cosecha										
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90
$K_c$	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fases del periodo vegetativo	Fase de desarrollo						Fase de mitad de temporada				

Los valores de factor de secamiento ( $f$ ) propuestos para fines del trabajo, se simplifica en el siguiente cuadro:

Cuadro 14: Factores de secamiento ( $f$ ) propuesto para cada parcela.

Parcela	Factor de agotamiento ( $f$ )	Fuente
$f_1$	0.20 o 20%	Factor de secamiento propuesto
$f_2$	0.25 o 25%	Factor de secamiento propuesto
$f_3$	0.30 o 30%	Factor de secamiento según la FAO, mencionado en Estudio FAO y Drenaje N° 56, 2006.
$f_4$	0.35 o 35%	Factor de secamiento propuesto

Con los parámetros de diseño agronómico antes mencionados, se determinó las siguientes láminas de riego para las parcelas  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  y  $f_4$ , como se detalla a continuación en los siguientes cuadros:

Cuadro 15. Lámina de riego calculada para la parcela *f1* (20%).

CC %	22.92	RIEGO DE MACHACO	RIEGO DE MANTENIMIENTO
PMP %	9.79	Lámina neta inicial (mm)	Lámina neta fin (mm)
Da (g/cm <sup>3</sup> )	1.47	48.25	9.65
Profundidad efectiva de enraizamiento (cm)	25	Lámina bruta (mm)	Lámina bruta (mm)
Factor de secamiento (f)	0.20	53.61	10.72
Caudal por boquilla (lt/h)	43	Tiempo de aplicación	Tiempo de aplicación
Área regable (m <sup>2</sup> )	20	3.12 horas	32 min

Para la *f1* al 0.20 de factor de secamiento: el cultivo de lechuga tolera un descenso de humedad del 20% (9.65 mm), de la lámina neta inicial de 48.25mm, para efectuar el riego por microaspersión, hasta reponer dicha lámina de agua consumida por un tiempo de 32 minutos.

Cuadro 16. Lámina de riego calculada para la parcela *f2* (25%).

CC %	22.92	RIEGO DE MACHACO	RIEGO DE MANTENIMIENTO
PMP %	9.79	Lámina neta inicial (mm)	Lámina neta fin (mm)
Da (g/cm <sup>3</sup> )	1.47	48.25	12.06
Profundidad efectiva de enraizamiento (cm)	25	Lámina bruta (mm)	Lámina bruta (mm)
Factor de secamiento (f)	0.25	53.61	13.40
Caudal por boquilla (lt/h)	43	Tiempo de aplicación	Tiempo de aplicación
Área regable (m <sup>2</sup> )	20	3.12 horas	42 min

Para la *f2* al 0.25 de factor de secamiento: el cultivo de lechuga tolera un descenso de humedad del 25% (12.06 mm), de la lámina neta inicial de 48.25mm, para efectuar el riego por microaspersión, hasta reponer dicha lámina de agua consumida por un tiempo de 42 minutos.

Cuadro 17. Lámina de riego calculada para la parcela f3 (30%).

CC %	22.92	RIEGO DE MACHACO	RIEGO DE MANTENIMIENTO
PMP %	9.79	Lámina neta inicial (mm)	Lámina neta fin (mm)
Da (g/cm <sup>3</sup> )	1.47	48.25	14.48
Profundidad efectiva de enraizamiento (cm)	25	Lámina bruta (mm)	Lámina bruta (mm)
Factor de secamiento (f)	0.30	53.61	16.08
Caudal por boquilla (lt/h)	43	Tiempo de aplicación	Tiempo de aplicación
Área regable (m <sup>2</sup> )	20	3.12 horas	52 min

Para la **f3** al 0.30 de factor de secamiento: el cultivo de lechuga tolera un descenso de humedad del 30% (14.48 mm), de la lámina neta inicial de 48.25mm, para efectuar el riego por microaspersión, hasta reponer dicha lámina de agua consumida por un tiempo de 52 minutos.

Cuadro 18. Lámina de riego calculada para la parcela f4 (35%).

CC %	22.92	RIEGO DE MACHACO	RIEGO DE MANTENIMIENTO
PMP %	9.79	Lámina neta inicial (mm)	Lámina neta fin (mm)
Da (g/cm <sup>3</sup> )	1.47	48.25	16.89
Profundidad efectiva de enraizamiento (cm)	25	Lámina bruta (mm)	Lámina bruta (mm)
Factor de secamiento (f)	0.35	53.61	18.76
Caudal por boquilla (lt/h)	43	Tiempo de aplicación	Tiempo de aplicación
Área regable (m <sup>2</sup> )	20	3.12 horas	1 hora

Para la **f4** al 0.35 de factor de secamiento: el cultivo de lechuga tolera un descenso de humedad del 35% (16.89 mm), de la lámina neta inicial de 48.25mm, para efectuar el riego por microaspersión, hasta reponer dicha lámina de agua consumida por un tiempo de 1 hora.

Claramente se puede observar que la lámina de riego neta inicial de machaco es 48.25 mm, igual para todas las parcelas, a diferencia de la lámina de neta de



mantenimiento que resulto; 9.65 mm, 12.06 mm, 14.48 mm y 16.89 mm, para las parcelas *f1*, *f2*, *f3* y *f4* respectivamente, presentando una diferencia de diseño para cada parcela, esto se debe a la influencia de los valores propuestos de factor de secamiento (*f*).

También hubo una diferencia significativa en los números de riego efectuados por microaspersión, entre las parcelas, y se resume en los siguientes cuadros:

Cuadro 19. Numero de riegos por microaspersión, para la parcela *f1*.

Mes	Número de riegos/mes	Tiempo de aplicación/parcela (min)	Frecuencia de riego promedio (días)
29 al 31 de octubre	0	0	4
01 al 30 de noviembre	5	32	
01 al 22 de diciembre	2	32	

Del cuadro 19, resultado para la *f1* al 20% de factor de secamiento que: en la parcela se efectuó 5 riegos en el mes de noviembre, y 2 riegos en el mes de diciembre, con un tiempo de aplicación de 32 minutos cada riego. Entre el trasplante y la cosecha del cultivo de lechuga, se realizó un total de 7 riegos aplicados con el sistema de riego por microaspersión, con una frecuencia de riego promedio de 4 días.

Cuadro 20. Numero de riegos por microaspersión, para la parcela *f2*.

Mes	Número de riegos/mes	Tiempo de aplicación/parcela (min)	Frecuencia de riego promedio (días)
29 al 31 de octubre	0	0	5
01 al 30 de noviembre	4	42	
01 al 22 de diciembre	2	42	

Del cuadro 20, resultado para la **f2** al 25% de factor de secamiento que: en la parcela se efectuó 4 riegos en el mes de noviembre, y 2 riegos en el mes de diciembre, con un tiempo de aplicación de 42 minutos cada riego. Entre el trasplante y la cosecha del cultivo de lechuga, se realizó un total de 6 riegos, aplicados con el sistema de riego por microaspersión, con una frecuencia de riego promedio de 5 días.

Cuadro 21. Numero de riegos por microaspersión, para la parcela f3.

Mes	Número de riegos/mes	Tiempo de aplicación/parcela (min)	Frecuencia de riego promedio (días)
29 al 31 de octubre	0	0	6
01 al 30 de noviembre	3	52	
01 al 22 de diciembre	1	52	

Del cuadro 21, resultado para la **f3** al 30% de factor de secamiento que: en la parcela se efectuó 3 riegos en el mes de noviembre, y 1 riego en el mes de diciembre, con un tiempo de aplicación de 52 minutos cada riego. Entre el trasplante y la cosecha del cultivo de lechuga, se realizó un total de 4 riegos, aplicados con el sistema de riego por microaspersión, con una frecuencia de riego promedio de 6 días.

Cuadro 22. Numero de riegos por microaspersión, para la parcela f4.

Mes	Número de riegos/mes	Tiempo de aplicación/parcela (min)	Frecuencia de riego promedio (días)
29 al 31 de octubre	0	0	6
01 al 30 de noviembre	3	60	
01 al 22 de diciembre	1	60	

Del cuadro 22, resultado para la **f4** al 35% de factor de secamiento que: en la parcela se efectuó 3 riegos en el mes de noviembre, y 1 riego en el mes de diciembre, con un tiempo de aplicación de 60 minutos cada riego. Entre el trasplante y la cosecha del cultivo de lechuga, se realizó un total de 4 riegos, aplicados con el sistema de riego por microaspersión, con una frecuencia de riego promedio de 6 días.

Como se observa en los cuadros la cantidad de riegos efectuados varia para cada parcela, que fue significativo en los resultados de rendimiento, además se ve que en el mes de diciembre se realizó escasos riegos por la presencia de lluvias.

## 6.2. Resultados de la demanda hídrica del cultivo de lechuga.

El periodo del cultivo lechuga desde el momento de trasplante hasta su cosecha, duró 60 días y abarco 03 días del mes de octubre, 30 días del mes de noviembre y 22 días del mes de Diciembre; la demanda hídrica total que se obtuvo para el cultivo de lechuga se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 23. Demanda hídrica del cultivo de lechuga.

Mes	Número de días	Consumo diario promedio (mm/día)	Demanda hídrica por mes (mm)	Demanda hídrica total (mm, m <sup>3</sup> /ha)	Precipitación efectiva (mm, m <sup>3</sup> /ha)	Riego neto aplicado por microaspersión (mm, m <sup>3</sup> /ha)
Octubre	3	2.24	6.72	143.28mm 1432.8m <sup>3</sup> /ha	74.13 mm 741.3 m <sup>3</sup> /ha	69.15 mm 691.5 m <sup>3</sup> /ha
Noviembre	30	2.75	82.62			
Diciembre	22	2.45	53.94			

Se observa que el consumo diario promedio para los meses de octubre, noviembre y diciembre fueron de 2.24, 2.75 y 2.45 mm respectivamente.

La demanda hídrica total del cultivo de lechuga desde el momento del trasplante hasta su cosecha, fue de 143.28 mm que representa el total de volumen de agua de 1432.8 m<sup>3</sup>/ha; de las cuales 691.5 m<sup>3</sup>/ha fueron aplicados con el sistema de riego por microaspersión, y lo demás por la precipitación efectiva.

### 6.3. Resultados del rendimiento del cultivo de lechuga.

Resultado del peso fresco de cogollo de 50 plantas de lechuga por parcela:

Cuadro 24. Peso de cogollo de 50 lechugas de las parcelas *f1*, *f2*, *f3* y *f4*.

N°	Peso de cogollo por planta (gr.)			
	<i>f1</i> (20%)	<i>f2</i> (25%)	<i>f3</i> (30%)	<i>f4</i> (35%)
1	389	275	260	225
2	336	295	290	250
3	350	305	290	225
4	331	288	241	182
5	339	300	299	215
6	380	270	270	205
7	400	260	291	220
8	330	301	220	205
9	429	300	233	236
10	350	299	300	220
11	400	301	231	250
12	350	308	220	230
13	429	295	290	205
14	408	300	289	200
15	390	260	250	225
16	423	300	200	245
17	418	250	296	190
18	359	268	210	219
19	380	261	290	200
20	333	265	271	195
21	355	290	290	225
22	350	280	290	225
23	400	260	241	205
24	329	270	299	200
25	329	305	270	200
26	350	309	291	220
27	325	300	250	198
28	408	315	260	236
29	390	295	300	186
30	430	245	231	190
31	327	301	220	199
32	415	308	290	192
33	359	295	289	185
34	380	270	250	187
35	320	289	200	225

36	389	295	296	250
37	327	312	210	150
38	350	295	290	220
39	339	305	270	265
40	380	288	240	230
41	359	272	300	170
42	382	310	286	250
43	358	315	290	225
44	422	296	300	200
45	415	300	270	240
46	365	265	310	195
47	382	395	210	285
48	398	255	300	220
49	392	295	212	242
50	376	350	300	255

Para procesar la variable del rendimiento de las cuatro parcelas al 20%, 25%, 30%, y 35% de factor de secamiento ( $f$ ), se realizó la prueba de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, llegando a la conclusión de usar la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 03. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra de 200 lechugas.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov			
		Peso de cogollo por planta (gr.)	Longitud de la raíz por planta (cm)
N°		200	200
Parámetros normales	Media	286,57	16,7375
	Desviación estándar	63,857	0,92173
P_valor		0,000	0,000

En la tabla N° 03, se observa al peso de cogollo (gr.) y la longitud de la raíz por planta; donde el P\_valor de ambos son 0.000, y son menores al nivel de significancia del 0.05, por lo que no cumple con la distribución normal, por consiguiente se usó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para comprobar si hay diferencia significativa entre las parcelas y determinar cuál o cuáles, evidencian mayor rendimiento, y para ello fue necesario establecer las siguientes hipótesis:

Ho: No existe diferencia del peso de cogollo (gr.) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento (*f*).

Ha: Existe diferencia del peso de cogollo (gr.) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento (*f*).

Para aceptar o rechazar la Ho, se aplicó la prueba estadística Kruskal-Wallis, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla N° 04. Resumen de contrastes de hipótesis, para el peso del cogollo.

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Peso de cogollo (Gr.) es la misma entre las categorías de Factor de secamiento del cultivo de lechuga .	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechaza la hipótesis nula.

Cuadro 25. Procedimiento de la prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis.

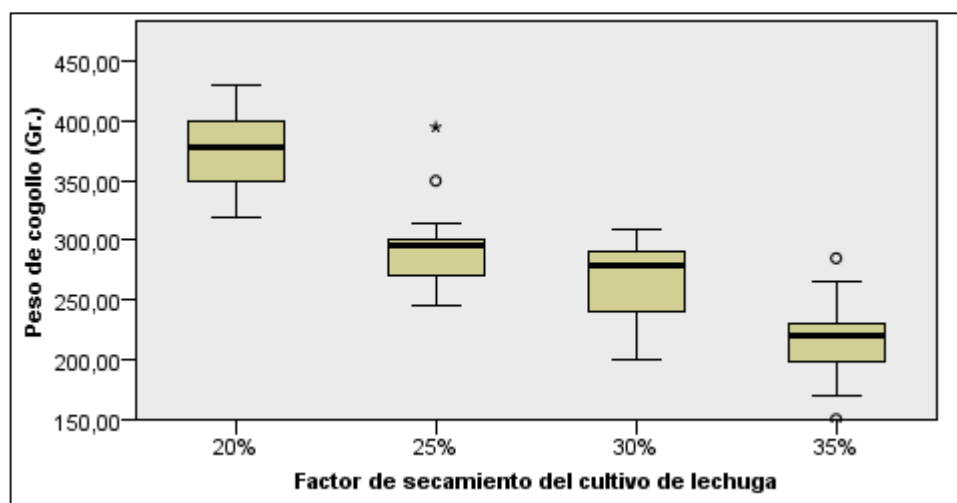
<b>Interpretación y análisis:</b>	<b>Ho:</b> No existe diferencia del peso de cogollo (gr.) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( <i>f</i> ).
Hipótesis estadísticas	<b>Ha:</b> Existe diferencia del peso de cogollo (gr.) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( <i>f</i> ).
Nivel de significación	$\alpha = 0,05 = 5\%$
Valor P calculado	$P_{valor} = 0,000 = 0\%$
<b>Conclusión</b>	Como $P_{valor} < 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula y se concluye que: Existe diferencia del peso de cogollo (gr.) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( <i>f</i> ).

\*Ho: hipótesis nula

\*Ha: hipótesis alterna

Esto significa que; a un nivel de significancia del 0.05 rechazamos Ho, por lo tanto, estadísticamente el peso de cogollo (gr.) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento (*f*) es diferente en al menos una de las parcelas evaluadas.

Gráfico N° 02. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras de peso de cogollo (gr.).



Gráficamente también se observa que hay diferencia del peso de cogollo (gr.) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).

Tabla N° 05. Resultado de las comparaciones del peso de cogollo (gr.) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).

		Estadísticos			
Peso de cogollo (gr.)		Factor de secamiento del cultivo de lechuga			
		20%	25%	30%	35%
N°	Válido	50	50	50	50
	Media	372,50	291,62	265,92	216,24
	<b>Mediana</b>	<b>378,00</b>	<b>295,00</b>	<b>278,50</b>	<b>220,00</b>
	Desviación estándar	33,052	25,375	33,356	25,858
	Varianza	1092,418	643,873	1112,647	668,635
	Mínimo	320	245	200	150
	Máximo	430	395	310	285

De acuerdo al análisis elaborado de la tabla N° 04 se desprende que el peso fresco del cogollo en gramos de la lechuga var. White Boston, al 20% de factor de secamiento ( $f$ ) con 378 gr/planta, al 25% de factor de secamiento ( $f$ ) con 295 gr/planta, fueron estadísticamente superiores y al 30% de factor de secamiento ( $f$ ) con 278.50 gr/planta, al 35% de factor de secamiento ( $f$ ) con 220 gr/planta, fueron estadísticamente inferiores, como se refleja en el grafico N° 02.

A partir del análisis de los resultados en el comparativo de peso fresco de cogollo (gr.), se determinó el rendimiento del cultivo de lechuga, sometidos a diferentes factores de secamiento ( $f$ ), con sistema de riego por microaspersión, para tal se usó el promedio de gr/planta de cada parcela, y se proyectó a kg/ha.

Cuadro 26. Rendimiento del cultivo de lechuga de cuatro parcelas.

Unidad	Rendimiento del cultivo de lechuga			
	$f1$	$f2$	$f3$	$f4$
gr/planta	378.00	295.00	278.50	220.00
Kg/ha	60 480	47 200	44 560	35 200

De acuerdo al análisis elaborado para determinar el rendimiento del cultivo de lechuga var. White Boston en kg/ha para cada parcela, se concluye que; existe una correlación inversamente proporcional; a medida que aumenta el factor de secamiento, el rendimiento del cultivo de lechuga disminuye.

La parcela al 20% de factor de secamiento ( $f$ ) con 60 480 kg/ha fue la de mayor rendimiento, seguido de la parcela al 25% de factor de secamiento ( $f$ ) con 47 200 kg/ha, tercero la parcela al 30% de factor de secamiento ( $f$ ) con 44 560 kg/ha, y por último la parcela al 35% de factor de secamiento ( $f$ ) con 35 200 kg/ha, que fue la de menor rendimiento.

Haciendo un comparativo con otros datos de rendimiento de lechuga manejados al aire libre que oscilan entre los 10.000 y 30.000 kg/ha; y bajo invernadero entre 20.000 a 40.000 kg/ha. (Sistemas de Producción de Cultivos Intensivos, 2014), frente al de mayor rendimiento de lechuga que fue al 20% de factor de secamiento ( $f$ ) con 60 480 kg/ha, demuestra mejores resultados.

Otros datos obtenidos como el peso fresco del cogollo de la lechuga var. White Boston, por el efecto de fertilización nitrogenada que es de 242.96 gr/planta, (Pimentel, M. 2017), comparado con los resultados de factor de secamiento ( $f$ ) al 20% que fue de 378 gr/planta, estos siguen siendo mayores.



El rendimiento de 60 480 kg/ha de lechuga, al 20% de factor de secamiento (*f*), puede variar en función al uso de otra variedad, a la época del año, y condiciones edafológicas diferentes a la del estudio.

#### 6.4. Resultados de la longitud radicular del cultivo de lechuga.

Resultado de la longitud de la raíz de 50 plantas de lechuga por parcela:

Cuadro 27. Longitud de raíz (cm) de 50 lechugas de las parcelas *f1*, *f2*, *f3* y *f4*.

N°	Longitud de la raíz por planta (cm)			
	<i>f1</i> (20%)	<i>f2</i> (25%)	<i>f3</i> (30%)	<i>f4</i> (35%)
1	17.0	16.9	16.8	16.7
2	17.1	16.8	17.6	16.4
3	18.1	17.1	17.5	16.0
4	16.0	16.4	16.0	15.2
5	16.2	17.8	16.9	16.7
6	18.0	17.0	16.5	16.0
7	18.9	15.8	16.6	16.3
8	17.5	17.2	16.0	16.0
9	19.0	16.9	16.2	16.6
10	17.5	16.5	17.6	16.2
11	19.0	16.7	15.9	16.7
12	18.0	17.5	16.0	16.5
13	18.8	16.1	16.2	16.0
14	18.2	17.0	16.4	16.1
15	18.0	16.0	16.0	16.5
16	18.6	17.2	16.0	16.8
17	18.7	16.5	16.9	15.1
18	16.2	16.1	16.5	16.2
19	16.4	16.5	16.6	16.0
20	18.1	16.4	16.8	15.5
21	18.2	16.0	16.9	16.3
22	17.0	16.1	17.2	16.1
23	19.2	16.0	16.0	16.0
24	18.0	16.5	17.5	15.8
25	17.8	17.9	16.3	15.9
26	18.0	18.0	16.7	15.6
27	17.2	18.0	15.8	15.2
28	19.0	18.5	16.5	16.0
29	17.1	16.9	17.0	15.0
30	19.0	16.1	16.0	15.1
31	17.8	17.0	15.9	15.4

32	18.9	17.0	16.4	15.3
33	17.5	16.8	16.8	15.0
34	18.0	16.9	16.1	15.2
35	16.9	17.1	16.0	16.0
36	17.8	16.9	17.0	16.8
37	17.3	18.1	15.8	15.4
38	16.8	17.4	17.2	16.0
39	16.1	18.0	16.8	16.7
40	17.9	17.2	16.0	16.0
41	16.3	16.2	16.0	15.0
42	17.2	16.0	15.7	16.6
43	16.1	16.1	15.6	16.5
44	18.0	15.9	16.5	15.0
45	18.0	16.3	16.5	16.5
46	16.3	16.0	16.7	15.4
47	17.2	17.0	15.9	16.9
48	17.6	16.4	17.0	16.5
49	18.0	17.2	15.5	16.5
50	17.5	18.3	16.0	16.8

Para procesar los datos de la longitud de la raíz de las cuatro parcelas al 20%, 25%, 30%, y 35% de factor de secamiento ( $f$ ), se aplicó la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis; para comprobar si hay diferencia significativa y si evidencian un mayor o menor desarrollo radicular; y para ello fue necesario establecer hipótesis:

Ho: No existe diferencia de la longitud de la raíz (cm) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).

Ha: Existe diferencia de la longitud de la raíz (cm) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).

Tabla N° 06. Resumen de contrastes de hipótesis, para la longitud de la raíz.

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Longitud de la raíz por planta (Cm) es la misma entre las categorías de Factor de secamiento del cultivo de lechuga	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechace la hipótesis nula.

Cuadro 28. Procedimiento de la prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis.

<b>Interpretación y análisis:</b>	<b>Ho:</b> No existe diferencia de la longitud de la raíz (cm) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).
Hipótesis estadísticas	<b>Ha:</b> Existe diferencia de la longitud de la raíz (cm) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).
Nivel de significación	$\alpha = 0,05 = 5\%$
Valor P calculado	$P_{valor} = 0,000 = 0\%$
<b>Conclusión</b>	Como $P_{valor} < 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula y se concluye que: Existe diferencia de la longitud de la raíz (cm) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).

\*Ho: hipótesis nula

\*Ha: hipótesis alterna

Esto significa que, a un nivel de significancia del 0.05 rechazamos Ho, por lo tanto, estadísticamente la longitud de la raíz (cm) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ) es diferente en al menos una de las parcelas evaluadas.

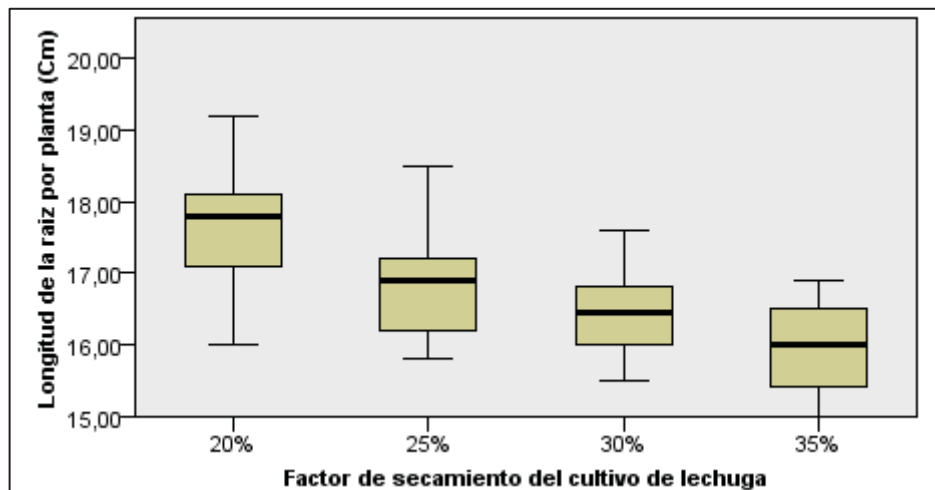
Tabla N° 07. Resultado de las comparaciones de longitud de la raíz (cm) entre las plantas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento ( $f$ ).

Estadísticos				
Longitud de la raíz por planta (Cm)				
	Factor de secamiento del cultivo de lechuga			
	20%	25%	30%	35%
N°	50	50	50	50
Media	17,6600	16,8440	16,4460	16,0000
<b>Mediana</b>	<b>17,8000</b>	<b>16,9000</b>	<b>16,4500</b>	<b>16,0000</b>
Desviación estándar	,89077	,70136	,54593	,58763
Varianza	,793	,492	,298	,345
Mínimo	16,00	15,80	15,50	15,00
Máximo	19,20	18,50	17,60	16,90

De acuerdo al análisis elaborado de la tabla N° 05 se deduce que la longitud de la raíz en centímetros, de la lechuga var. White Boston al 20% de factor de secamiento ( $f$ ) con 17.8cm, fue ligeramente superior; y al 25% de factor de secamiento ( $f$ ) con

16.9cm, al 30% de factor de secamiento ( $f$ ) con 16.45cm, y al 35% de factor de secamiento ( $f$ ) con 16.0cm, fueron estadísticamente iguales.

Gráfico N° 03. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras de longitud de la raíz (cm).



La parcela al 20% de factor de secamiento ( $f$ ) con 17.8cm, tuvo un mayor desarrollo en la longitud radicular, posiblemente porque la lechuga no tuvo que pasar por un periodo mayor a la falta de agua, comprobándose una posibilidad de dependencia entre la profundidad de riego y la profundidad radicular, determinando también que la longitud de la raíz evaluada, se asemeja a la bibliografía consultada.

Comparándolo con estudios sobre el comportamiento agrobotánico de la lechuga var. White Boston, donde se determinó que la longitud de la raíz de la lechuga fue de 23 cm, (Zamalloa, M. 2015), frente a la de mayor longitud de raíz, que fue al 20% de factor de secamiento ( $f$ ) con 17.8 cm, su desarrollo fue menor, probablemente por la diferencia en épocas de siembra, y condiciones edafológicas diferentes.

## VII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

### 7.1. Conclusiones

- a. En el diseño agronómico se obtuvo; una lámina neta inicial de 48.25 mm, una lámina neta final de 38.6 mm, 36.19 mm, 33.77 mm y 31.36 mm, para las parcelas *f1*, *f2*, *f3* y *f4*, respectivamente; y una lámina bruta de 53.61mm. El número total de riegos aplicados para la parcela *f1*, fue de 7 riegos, con un tiempo de aplicación de 32 minutos cada uno y una frecuencia promedio de 4 días; para la parcela *f2*; se aplicó 6 riegos, con un tiempo de aplicación de 42 minutos cada uno y una frecuencia promedio de 5 días; para la parcela *f3*, se aplicó 4 riegos, con un tiempo de aplicación de 52 minutos cada uno y una frecuencia promedio de 6 días; para la parcela *f4*, se aplicó 4 riegos, con un tiempo de aplicación de 60 minutos cada uno y una frecuencia promedio de 6 días.
- b. Con la ayuda del Tanque Clase A y la planilla de manejo de riego se determinó que la demanda hídrica del cultivo de lechuga, fue de 1432.8m<sup>3</sup>/ha, que es el total de volumen de agua que se aplicó entre el trasplante y la cosecha, para obtener los mejores rendimientos, en el presente trabajo.
- c. La prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis indico que hay diferencias estadísticas en el rendimiento del cultivo de lechuga var. White Boston, entre las parcelas al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento (*f*), a un nivel de significancia del 0.05.  
Determinando así que; la parcela *f1* al 25% de factor de secamiento, con 60,480 kg/ha, fue la de mayor rendimiento, respecto de las parcelas; *f2* al 25% de factor de secamiento, con 47,200 kg/ha, seguido de la parcela *f3* al 30% de factor de secamiento, con 44,560 kg/ha, y por último la parcela *f4* al 35% de factor de secamiento, con 35,200 kg/ha, que fue la de menor rendimiento.
- d. La prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis indico que hay diferencias estadísticas en la longitud de raíz de la lechuga, en al menos una de las parcelas, al 20%, 25%, 30% y 35% de factor de secamiento (*f*), a un

nivel de significancia del 0.05. La longitud promedio de la raíz del cultivo de lechuga var. White Boston, al 20% de factor de secamiento, con 17.8cm, fue ligeramente superior; a las parcelas al 25%, 30% y 35% de factor de secamiento, con 16.9 cm, 16.45cm, y 16.0cm respectivamente, que fueron estadísticamente iguales.

## **7.2. Sugerencias**

- Para similares trabajos comparar con otros valores de factor de secamiento, a los propuestos en el presente trabajo de tesis.
- Se recomienda realizar trabajos de investigación con el factor de secamiento en otros cultivos de mayor profundidad radicular.
- Plasmar estos trabajos de investigación en otras épocas de siembra, condiciones climatológicas y edafológicas, e incluso en otras regiones.
- Adicionalmente se puede evaluar las ventajas y desventajas económicas que tiene un sistema de riego localizado.
- Para futuros trabajos de tesis en hortalizas, se recomienda hacer la siembra en bandejas de propagación para luego trasplantar plántulas garantizadas libre de enfermedades.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. **ARMONI SHLOMO. 1989.** Riego por microaspersión. Prensa XXII S.A. Barcelona, España.
2. **BACA GARCÍA, CARLOS J. 2013.** Manual técnico de riego presurizado. GRC.
3. **BIAMONTE, P.; ESCOTO, A.; JIMÉNEZ, R.; STERLING, F.; SUBIROS, F. 1984.** Olericultura. Editorial UNED. San Jose, Costa Rica.
4. **BROEKS, V. ALFONS; CALDERON, F. 1996.** Manual de riego por aspersión. Diseño y operación para el sistema de riego presurizado por gravedad. IMA - convenio Perú-Holanda. Cusco, Perú.
5. **CANDIA ARMUTO, M.; LOVÓN YAHUIRA W. 2013.** Riego semi-automatizado por surcos con caudal continuamente reducido en el cultivo de lechuga. Tesis Ing. Agr. UNSAAC, Facultad de Ciencias Agrarias. Cusco, Perú.
6. **CARBALLO, S. (1995).** Manejo poscosecha en lechuga. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria INIA.
7. **CARRANZA CARLOS; OCTAVIO LANCHERO; DIEGO MIRANDA; BERNARDO CHAVES. 2009.** Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) "batavia" cultivada en un suelo salino de la sabana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.
8. **CÁSSERES, E. 1980.** Producción de hortalizas. 3 ed. San Jose, Costa Rica.
9. **CASTAÑÓN G. 2000.** Ingeniería del riego, utilización racional del agua. Thomson Editores Spain Paraninfo S.A. Madrid, España.
10. **CISNEROS ALMAZAN, RODOLFO. 2003.** Apuntes de la materia riego y drenaje.
11. **CRONQUIST, ARTHUR. 1986.** Introducción a la Botánica. Compañía Editorial S.A. VIII Edición. México.
12. **DAVIS, R.M.; SUBBARAO, K.V.; RAID, R.R. Y KURTZ E.A. 2002.** Plagas y enfermedades de la lechuga. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España.
13. **FAO - RLC. 2000.** Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Cuadernos de hidroponía escolar.
14. **FAO. 2006.** Estudio FAO riego y drenaje N° 56. Roma, Italia.

15. **FUENTES YAGÜE JOSÉ LUÍS. 2003.** Técnicas de Riego. Editorial Mundi Prensa. 4ta Edición. España.
16. **FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA. 2004.** Estrategia para desarrollar la producción limpia y las buenas prácticas agrícolas. Boletín de hortalizas.
17. **GALLEGOS FARFAN, JULIO. 2010.** Efecto de tres abonos orgánicos foliares en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* var. White Boston). Tesis Ing. Agr. UNSAAC, Facultad de Ciencias Agrarias. Cusco, Perú.
18. **GARAY CANALES, OSCAR. 2009.** Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los andes centrales peruanos.
19. **GARCÍA ZUMEL, M. 2013.** El cultivo de la lechuga. Cultivos herbáceos intensivos. Universidad de Valladolid. España.
20. **JACKSON, L.; MAYBERRY, K.; LAEMMLEN, F.; KOIKE, S.; SCHULBACH, K.; CHANEY, W. 2002.** Producción de lechuga en California.
21. **LARDIZÁBAL, R. 2005.** Manual de Producción #1 de lechuga. Programa de Recuperación de Negocio de Jamaica.
22. **LIOTTA MARIO A. 2000.** Superficie cultivada con riego tradicional y presurizado en la provincia de San Juan. INTA. San Juan.
23. **LÓPEZ, G.; MAGAÑA, N.; VÁZQUEZ, C. 2014.** Carta Tecnológica del Cultivo de Lechuga. Programa integral de desarrollo rural. México.
24. **MACHUCA L. 1995.** Determinación de los patrones de mojamiento de Microaspersores con y sin el uso de pulsadores. Tesis Ing. Agr. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.
25. **MALLAR. A. 1978.** La lechuga. Editorial Hemisferio Sur S.A. Primera Edición. Buenos Aires.
26. **MAROTO, J.; MIGUEL, A.; BAIXAULI, C. 2000,** La lechuga y la escarola. Editorial Mundi Prensa. Valencia, España.
27. **MATALLANA, A.; MONTERO, J. I. 2001.** Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España.
28. **MÉNDEZ CASTILLO, H.; MENDOZA GARCÍA, M. 2009.** Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y fertilización química en Santa Rosa. Tesis Ing. Agr. UMSNH. Uruapan Michoacán, México.



29. **MONTESDEOCA PACHECO, N. (2008).** Caracterización física, química y funcional de la lechuga rizada, para la creación de una norma técnica ecuatoriana, por parte del instituto ecuatoriano de normalización. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
30. **NAANDANJAIN IRRIGATION. 2014.** Catálogo de Microaspersores. Israel.
31. **OLARTE HURTADO, WALTER. 2003.** Manual Diseño y Gestión de Sistema de Riego Por Aspersión en Laderas. Proyecto MASAL. Editorial Dannys Graff. Cusco, Perú.
32. **OSORIO, M. 1994.** Control climático en invernaderos. Servicio de publicaciones. Universidad de Almería. Colombia.
33. **OYARZUM, P.; CHAMORRO, F.; CÓRDOVA, J. 2002.** Manejo integrado de enfermedades. INIAP-CIP. Quito, Ecuador.
34. **PARSON, D. 1987.** Manuales para educación agropecuaria; cucurbitácea. Trillas. México.
35. **POST, S.; PECK, D.; BRENDLER, R.; SAKOVICH, N.; WADDLE, L. 1986.** Evaluation of low-flow sprinklers. California Agriculture.
36. **RINCÓN SÁNCHEZ, LF. 2008.** La fertirrigación de la lechuga. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentación (IMIDA), Ediciones Mundi Prensa. España.
37. **RUBIO, A. 2002.** Fundamentos de fisiología vegetal. Editorial Mc Graw. Barcelona, España.
38. **SANTOS PEREIRA, LUIS. 2010.** El riego y sus tecnologías. UCLM.
39. **ZAMALLOA MARMANILLO, S. 2015.** Efecto de abonos fosfatados y nitrogenados en la producción de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Tesis Ing. Agr. UNSAAC, Facultad de Ciencias Agrarias. Cusco, Perú.

## ANEXOS

### Anexo 1. Planilla de manejo de riego para el factor de secamiento al 0.20.

PANILLA DE CALCULO DE MANEJO DE RIEGO N° 01													
Provincia	Cusco				Ln Inicio	48.25	Cultivo	Lechuga var. White Boston					
Distrito	San Jerónimo				Ln Fin	38.60	Fecha de trasplante	24/10/2015					
Lugar	Centro Agronómico Kayra				Factor de Secamiento ( <i>f</i> )	0.20	Área del terreno	20 m2					
Sector	Potrero C-2				Eficiencia	0.90	Responsable	Lisset Huanca Huisa					
Parcela	<i>f1</i>												
FECHA	DDS	V (m/s)	HR (%)	Kp	Evaporación (mm)	Ego (mm)	Kc	ETc (mm)	Ganancia de Agua			Consumo de Agua	
									Precipitación efec. (mm)	Riego Necesario (mm)	Riego a Aplicar (mm)	Ln Inicio (mm)	Ln Fin (mm)
29-oct	36	1.3	52.3	0.80	3.45	2.76	0.76	2.10				48.25	46.15
30-oct	37	1.0	63.5	0.80	2.33	1.86	0.77	1.44				46.15	44.72
31-oct	38	1.5	60.3	0.80	5.10	4.08	0.78	3.18				44.72	41.53
01-nov	39	2.2	57.7	0.75	4.95	3.71	0.79	2.93				41.53	38.60
02-nov	40	2.0	54.0	0.80	4.36	3.49	0.80	2.79		9.65	10.72	48.25	45.46
03-nov	41	1.2	51.0	0.80	5.14	4.11	0.81	3.33				45.46	42.13
04-nov	42	1.0	50.5	0.80	5.92	4.74	0.82	3.88				42.13	38.25
05-nov	43	1.7	54.0	0.80	3.02	2.42	0.83	2.01		10.00	11.12	48.25	46.24
06-nov	44	3.5	53.5	0.75	2.96	2.22	0.84	1.86	4.2			46.24	48.61
07-nov	45	0.0	55.0	0.80	3.62	2.90	0.85	2.46				48.61	46.15
08-nov	46	1.7	53.0	0.80	3.68	2.94	0.86	2.53	6.4			46.15	50.01
09-nov	47	1.7	67.0	0.80	0.52	0.42	0.87	0.36	2.7			50.01	52.34
10-nov	48	1.2	59.5	0.80	3.22	2.58	0.88	2.27				52.34	50.08
11-nov	49	0.0	54.5	0.80	2.12	1.70	0.89	1.51				50.08	48.57

12-nov	50	0.7	56.0	0.80	1.48	1.18	0.90	1.07				48.57	47.50
13-nov	51	2.2	55.5	0.75	4.08	3.06	0.91	2.78				47.50	44.72
14-nov	52	0.7	56.0	0.80	2.48	1.98	0.92	1.83	14.9			44.72	57.74
15-nov	53	2.5	55.0	0.75	3.70	2.78	0.93	2.58				57.74	55.16
16-nov	54	2.2	55.0	0.75	1.94	1.46	0.94	1.37	5.0			55.16	58.74
17-nov	55	2.7	53.0	0.75	6.44	4.83	0.95	4.59				58.74	54.16
18-nov	56	2.2	49.5	0.75	5.94	4.46	0.96	4.28				54.16	49.88
19-nov	57	1.7	48.5	0.80	5.96	4.77	0.97	4.62				49.88	45.25
20-nov	58	4.0	50.5	0.75	5.78	4.34	0.98	4.25				45.25	41.01
21-nov	59	1.7	41.5	0.80	3.80	3.04	0.99	3.01				41.01	38.00
22-nov	60	5.0	50.5	0.75	5.08	3.81	1.00	3.81		10.25	11.39	48.25	44.44
23-nov	61	3.0	51.5	0.75	2.46	1.85	1.00	1.85				44.44	42.60
24-nov	62	3.0	51.0	0.75	6.94	5.21	1.00	5.21				42.60	37.39
25-nov	63	4.0	50.5	0.75	3.78	2.84	1.00	2.84		10.86	12.07	48.25	45.42
26-nov	64	3.0	51.0	0.75	4.08	3.06	1.00	3.06				45.42	42.36
27-nov	65	2.5	49.5	0.75	4.40	3.30	1.00	3.30				42.36	39.06
28-nov	66	0.5	54.5	0.80	4.04	3.23	1.00	3.23		9.19	10.22	48.25	45.02
29-nov	67	2.0	53.5	0.80	2.34	1.87	1.00	1.87	8.7			45.02	51.88
30-nov	68	0.7	62.0	0.80	1.44	1.15	1.00	1.15				51.88	50.72
01-dic	69	1.0	59.0	0.80	1.32	1.06	1.00	1.06				50.72	49.67
02-dic	70	2.5	55.5	0.75	2.40	1.80	1.00	1.80				49.67	47.87
03-dic	71	0.5	54.5	0.80	2.22	1.78	1.00	1.78	5.8			47.87	51.89
04-dic	72	1.7	53.0	0.80	4.16	3.33	1.00	3.33				51.89	48.56
05-dic	73	2.0	51.5	0.80	5.06	4.05	1.00	4.05				48.56	44.52
06-dic	74	2.5	50.5	0.75	5.02	3.77	1.00	3.77				44.52	40.75
07-dic	75	0.0	51.5	0.80	3.28	2.62	1.00	2.62	1.1			40.75	39.21
08-dic	76	2.5	55.0	0.75	1.40	1.05	1.00	1.05	0.7	9.04	10.05	48.25	47.90
09-dic	77	0.0	57.5	0.80	2.40	1.92	1.00	1.92	1.0			47.90	46.97

10-dic	78	0.0	59.5	0.80	1.22	0.98	1.00	0.98	2.8			46.97	48.78
11-dic	79	1.7	55.0	0.80	2.76	2.21	1.00	2.21	2.4			48.78	49.01
12-dic	80	1.5	55.5	0.80	4.20	3.36	1.00	3.36	1.1			49.01	46.73
13-dic	81	1.2	51.5	0.80	4.76	3.81	1.00	3.81				46.73	42.92
14-dic	82	3.0	50.5	0.75	4.44	3.33	1.00	3.33	1.4			42.92	40.94
15-dic	83	2.2	52.5	0.75	3.78	2.84	1.00	2.84				40.94	38.10
16-dic	84	2.7	47.5	0.75	3.80	2.85	1.00	2.85	9.4	10.15	11.27	48.25	54.76
17-dic	85	1.5	55.5	0.80	1.36	1.09	1.00	1.09	1.4			54.76	55.11
18-dic	86	0.0	57.5	0.80	4.54	3.63	1.00	3.63	5.9			55.11	57.38
19-dic	87	2.7	59.5	0.75	3.48	2.61	1.00	2.61	5.0			57.38	59.72
20-dic	88	3.2	55.5	0.75	2.98	2.23	1.00	2.23	4.1			59.72	61.63
21-dic	89	4.2	56.5	0.75	3.66	2.75	1.00	2.75	3.3			61.63	62.21
22-dic	90	2.7	55.0	0.75	1.20	0.90	1.00	0.90				62.21	61.31
<b>Demanda hidrica (mm)</b>								<b>143.28</b>					

**Anexo 2. Planilla de manejo de riego para el factor de secamiento al 0.25.**

PANILLA DE CALCULO DE MANEJO DE RIEGO N° 02													
Provincia	Cusco				Ln Inicio	48.25	Cultivo	Lechuga var. White Boston					
Distrito	San Jerónimo				Ln Fin	36.19	Fecha de trasplante	24/10/2015					
Lugar	Centro Agronómico Kayra				Factor de Secamiento ( <i>f</i> )	0.25	Área del terreno	20 m <sup>2</sup>					
Sector	Potrero C-2				Eficiencia	0.90	Responsable	Lisset Huanca Huisa					
Parcela	<i>f</i> <sup>2</sup>												
FECHA	DDS	V (m/s)	HR (%)	Kp	Evaporación (mm)	Eto (mm)	Kc	ETc (mm)	Ganancia de Agua			Consumo de Agua	
									Precipitación efec. (mm)	Riego Necesario (mm)	Riego a Aplicar (mm)	Ln Inicio (mm)	Ln Fin (mm)
29-oct	36	1.3	52.3	0.80	3.45	2.76	0.76	2.10				48.25	46.15
30-oct	37	1.0	63.5	0.80	2.33	1.86	0.77	1.44				46.15	44.72
31-oct	38	1.5	60.3	0.80	5.10	4.08	0.78	3.18				44.72	41.53
01-nov	39	2.2	57.7	0.75	4.95	3.71	0.79	2.93				41.53	38.60
02-nov	40	2.0	54.0	0.80	4.36	3.49	0.80	2.79				38.60	35.81
03-nov	41	1.2	51.0	0.80	5.14	4.11	0.81	3.33		12.44	13.82	48.25	44.92
04-nov	42	1.0	50.5	0.80	5.92	4.74	0.82	3.88				44.92	41.04
05-nov	43	1.7	54.0	0.80	3.02	2.42	0.83	2.01				41.04	39.03
06-nov	44	3.5	53.5	0.75	2.96	2.22	0.84	1.86	4.2			39.03	41.40
07-nov	45	0.0	55.0	0.80	3.62	2.90	0.85	2.46				41.40	38.93
08-nov	46	1.7	53.0	0.80	3.68	2.94	0.86	2.53	6.4			38.93	42.79
09-nov	47	1.7	67.0	0.80	0.52	0.42	0.87	0.36	2.7			42.79	45.13
10-nov	48	1.2	59.5	0.80	3.22	2.58	0.88	2.27				45.13	42.86
11-nov	49	0.0	54.5	0.80	2.12	1.70	0.89	1.51				42.86	41.35
12-nov	50	0.7	56.0	0.80	1.48	1.18	0.90	1.07				41.35	40.29
13-nov	51	2.2	55.5	0.75	4.08	3.06	0.91	2.78				40.29	37.50

14-nov	52	0.7	56.0	0.80	2.48	1.98	0.92	1.83	14.9	10.75	11.94	48.25	61.27
15-nov	53	2.5	55.0	0.75	3.70	2.78	0.93	2.58				61.27	58.69
16-nov	54	2.2	55.0	0.75	1.94	1.46	0.94	1.37	5.0			58.69	62.28
17-nov	55	2.7	53.0	0.75	6.44	4.83	0.95	4.59				62.28	57.69
18-nov	56	2.2	49.5	0.75	5.94	4.46	0.96	4.28				57.69	53.41
19-nov	57	1.7	48.5	0.80	5.96	4.77	0.97	4.62				53.41	48.79
20-nov	58	4.0	50.5	0.75	5.78	4.34	0.98	4.25				48.79	44.54
21-nov	59	1.7	41.5	0.80	3.80	3.04	0.99	3.01				44.54	41.53
22-nov	60	5.0	50.5	0.75	5.08	3.81	1.00	3.81				41.53	37.72
23-nov	61	3.0	51.5	0.75	2.46	1.85	1.00	1.85		10.53	11.70	48.25	46.41
24-nov	62	3.0	51.0	0.75	6.94	5.21	1.00	5.21				46.41	41.20
25-nov	63	4.0	50.5	0.75	3.78	2.84	1.00	2.84				41.20	38.37
26-nov	64	3.0	51.0	0.75	4.08	3.06	1.00	3.06				38.37	35.31
27-nov	65	2.5	49.5	0.75	4.40	3.30	1.00	3.30		12.95	14.38	48.25	44.95
28-nov	66	0.5	54.5	0.80	4.04	3.23	1.00	3.23				44.95	41.72
29-nov	67	2.0	53.5	0.80	2.34	1.87	1.00	1.87	8.7			41.72	48.58
30-nov	68	0.7	62.0	0.80	1.44	1.15	1.00	1.15				48.58	47.42
01-dic	69	1.0	59.0	0.80	1.32	1.06	1.00	1.06				47.42	46.37
02-dic	70	2.5	55.5	0.75	2.40	1.80	1.00	1.80				46.37	44.57
03-dic	71	0.5	54.5	0.80	2.22	1.78	1.00	1.78	5.8			44.57	48.59
04-dic	72	1.7	53.0	0.80	4.16	3.33	1.00	3.33				48.59	45.26
05-dic	73	2.0	51.5	0.80	5.06	4.05	1.00	4.05				45.26	41.22
06-dic	74	2.5	50.5	0.75	5.02	3.77	1.00	3.77				41.22	37.45
07-dic	75	0.0	51.5	0.80	3.28	2.62	1.00	2.62	1.1	10.80	12.00	48.25	46.71
08-dic	76	2.5	55.0	0.75	1.40	1.05	1.00	1.05	0.7			46.71	46.36
09-dic	77	0.0	57.5	0.80	2.40	1.92	1.00	1.92	1.0			46.36	45.43
10-dic	78	0.0	59.5	0.80	1.22	0.98	1.00	0.98	2.8			45.43	47.24
11-dic	79	1.7	55.0	0.80	2.76	2.21	1.00	2.21	2.4			47.24	47.46

12-dic	80	1.5	55.5	0.80	4.20	3.36	1.00	3.36	1.1			47.46	45.18
13-dic	81	1.2	51.5	0.80	4.76	3.81	1.00	3.81				45.18	41.37
14-dic	82	3.0	50.5	0.75	4.44	3.33	1.00	3.33	1.4			41.37	39.39
15-dic	83	2.2	52.5	0.75	3.78	2.84	1.00	2.84				39.39	36.56
16-dic	84	2.7	47.5	0.75	3.80	2.85	1.00	2.85	9.4	11.69	12.99	48.25	54.76
17-dic	85	1.5	55.5	0.80	1.36	1.09	1.00	1.09	1.4			54.76	55.11
18-dic	86	0.0	57.5	0.80	4.54	3.63	1.00	3.63	5.9			55.11	57.38
19-dic	87	2.7	59.5	0.75	3.48	2.61	1.00	2.61	5.0			57.38	59.72
20-dic	88	3.2	55.5	0.75	2.98	2.23	1.00	2.23	4.1			59.72	61.63
21-dic	89	4.2	56.5	0.75	3.66	2.75	1.00	2.75	3.3			61.63	62.21
22-dic	90	2.7	55.0	0.75	1.20	0.90	1.00	0.90				62.21	61.31
<b>Demanda hidrica (mm)</b>								<b>143.28</b>					

**Anexo 3. Planilla de manejo de riego para el factor de secamiento al 0.30.**

PANILLA DE CALCULO DE MANEJO DE RIEGO N° 03													
Provincia	Cusco				Ln Inicio	48.25	Cultivo	Lechuga var. White Boston					
Distrito	San Jerónimo				Ln Fin	33.77	Fecha de trasplante	24/10/2015					
Lugar	Centro Agronómico Kayra				Factor de Secamiento ( <i>f</i> )	0.30	Área del terreno	20 m2					
Sector	Potrero C-2				Eficiencia	0.90	Responsable	Lisset Huanca Huisa					
Parcela	<i>f3</i>												
FECHA	DDS	V (m/s)	HR (%)	Kp	Evaporación (mm)	Eto (mm)	Kc	ETc (mm)	Ganancia de Agua			Consumo de Agua	
									Precipitación efec. (mm)	Riego Necesario (mm)	Riego a Aplicar (mm)	Ln Inicio (mm)	Ln Fin (mm)
29-oct	36	1.3	52.3	0.80	3.45	2.76	0.76	2.10				48.25	46.15
30-oct	37	1.0	63.5	0.80	2.33	1.86	0.77	1.44				46.15	44.72
31-oct	38	1.5	60.3	0.80	5.10	4.08	0.78	3.18				44.72	41.53
01-nov	39	2.2	57.7	0.75	4.95	3.71	0.79	2.93				41.53	38.60
02-nov	40	2.0	54.0	0.80	4.36	3.49	0.80	2.79				38.60	35.81
03-nov	41	1.2	51.0	0.80	5.14	4.11	0.81	3.33				35.81	32.48
04-nov	42	1.0	50.5	0.80	5.92	4.74	0.82	3.88		15.77	17.52	48.25	44.37
05-nov	43	1.7	54.0	0.80	3.02	2.42	0.83	2.01				44.37	42.36
06-nov	44	3.5	53.5	0.75	2.96	2.22	0.84	1.86	4.2			42.36	44.73
07-nov	45	0.0	55.0	0.80	3.62	2.90	0.85	2.46				44.73	42.26
08-nov	46	1.7	53.0	0.80	3.68	2.94	0.86	2.53	6.4			42.26	46.12
09-nov	47	1.7	67.0	0.80	0.52	0.42	0.87	0.36	2.7			46.12	48.46
10-nov	48	1.2	59.5	0.80	3.22	2.58	0.88	2.27				48.46	46.19
11-nov	49	0.0	54.5	0.80	2.12	1.70	0.89	1.51				46.19	44.68
12-nov	50	0.7	56.0	0.80	1.48	1.18	0.90	1.07				44.68	43.62
13-nov	51	2.2	55.5	0.75	4.08	3.06	0.91	2.78				43.62	40.83



14-nov	52	0.7	56.0	0.80	2.48	1.98	0.92	1.83	14.9			40.83	53.86
15-nov	53	2.5	55.0	0.75	3.70	2.78	0.93	2.58				53.86	51.28
16-nov	54	2.2	55.0	0.75	1.94	1.46	0.94	1.37	5.0			51.28	54.86
17-nov	55	2.7	53.0	0.75	6.44	4.83	0.95	4.59				54.86	50.27
18-nov	56	2.2	49.5	0.75	5.94	4.46	0.96	4.28				50.27	46.00
19-nov	57	1.7	48.5	0.80	5.96	4.77	0.97	4.62				46.00	41.37
20-nov	58	4.0	50.5	0.75	5.78	4.34	0.98	4.25				41.37	37.12
21-nov	59	1.7	41.5	0.80	3.80	3.04	0.99	3.01				37.12	34.11
22-nov	60	5.0	50.5	0.75	5.08	3.81	1.00	3.81		14.14	15.71	48.25	44.44
23-nov	61	3.0	51.5	0.75	2.46	1.85	1.00	1.85				44.44	42.60
24-nov	62	3.0	51.0	0.75	6.94	5.21	1.00	5.21				42.60	37.39
25-nov	63	4.0	50.5	0.75	3.78	2.84	1.00	2.84				37.39	34.56
26-nov	64	3.0	51.0	0.75	4.08	3.06	1.00	3.06		13.70	15.22	48.25	45.19
27-nov	65	2.5	49.5	0.75	4.40	3.30	1.00	3.30				45.19	41.89
28-nov	66	0.5	54.5	0.80	4.04	3.23	1.00	3.23				41.89	38.66
29-nov	67	2.0	53.5	0.80	2.34	1.87	1.00	1.87	8.7			38.66	45.52
30-nov	68	0.7	62.0	0.80	1.44	1.15	1.00	1.15				45.52	44.36
01-dic	69	1.0	59.0	0.80	1.32	1.06	1.00	1.06				44.36	43.31
02-dic	70	2.5	55.5	0.75	2.40	1.80	1.00	1.80				43.31	41.51
03-dic	71	0.5	54.5	0.80	2.22	1.78	1.00	1.78	5.8			41.51	45.53
04-dic	72	1.7	53.0	0.80	4.16	3.33	1.00	3.33				45.53	42.20
05-dic	73	2.0	51.5	0.80	5.06	4.05	1.00	4.05				42.20	38.16
06-dic	74	2.5	50.5	0.75	5.02	3.77	1.00	3.77				38.16	34.39
07-dic	75	0.0	51.5	0.80	3.28	2.62	1.00	2.62	1.1	13.86	15.40	48.25	46.71
08-dic	76	2.5	55.0	0.75	1.40	1.05	1.00	1.05	0.7			46.71	46.36
09-dic	77	0.0	57.5	0.80	2.40	1.92	1.00	1.92	1.0			46.36	45.43
10-dic	78	0.0	59.5	0.80	1.22	0.98	1.00	0.98	2.8			45.43	47.24
11-dic	79	1.7	55.0	0.80	2.76	2.21	1.00	2.21	2.4			47.24	47.46

12-dic	80	1.5	55.5	0.80	4.20	3.36	1.00	3.36	1.1			47.46	45.18
13-dic	81	1.2	51.5	0.80	4.76	3.81	1.00	3.81				45.18	41.37
14-dic	82	3.0	50.5	0.75	4.44	3.33	1.00	3.33	1.4			41.37	39.39
15-dic	83	2.2	52.5	0.75	3.78	2.84	1.00	2.84				39.39	36.56
16-dic	84	2.7	47.5	0.75	3.80	2.85	1.00	2.85	9.4			36.56	43.07
17-dic	85	1.5	55.5	0.80	1.36	1.09	1.00	1.09	1.4			43.07	43.42
18-dic	86	0.0	57.5	0.80	4.54	3.63	1.00	3.63	5.9			43.42	45.69
19-dic	87	2.7	59.5	0.75	3.48	2.61	1.00	2.61	5.0			45.69	48.03
20-dic	88	3.2	55.5	0.75	2.98	2.23	1.00	2.23	4.1			48.03	49.93
21-dic	89	4.2	56.5	0.75	3.66	2.75	1.00	2.75	3.3			49.93	50.52
22-dic	90	2.7	55.0	0.75	1.20	0.90	1.00	0.90				50.52	49.62
<b>Demanda hidrica (mm)</b>								<b>143.28</b>					

**Anexo 4. Planilla de manejo de riego para el factor de secamiento al 0.35.**

PANILLA DE CALCULO DE MANEJO DE RIEGO N° 04													
Provincia	Cusco				Ln Inicio	48.25	Cultivo	Lechuga var. White Boston					
Distrito	San Jerónimo				Ln Fin	31.36	Fecha de trasplante	24/10/2015					
Lugar	Centro Agronómico Kayra				Factor de Secamiento ( <i>f</i> )	0.35	Área del Terreno	20 m <sup>2</sup>					
Sector	Potrero C-2				Eficiencia	0.90	Responsable	Lisset Huanca Huisa					
Parcela	<i>f4</i>												
FECHA	DDS	V (m/s)	HR (%)	Kp	Evaporación (mm)	Eto (mm)	Kc	ETc (mm)	Ganancia de Agua			Consumo de Agua	
									Precipitación efec. (mm)	Riego Necesario (mm)	Riego a Aplicar (mm)	Ln Inicio (mm)	Ln Fin (mm)
29-oct	36	1.3	52.3	0.80	3.45	2.76	0.76	2.10				48.25	46.15
30-oct	37	1.0	63.5	0.80	2.33	1.86	0.77	1.44				46.15	44.72
31-oct	38	1.5	60.3	0.80	5.10	4.08	0.78	3.18				44.72	41.53
01-nov	39	2.2	57.7	0.75	4.95	3.71	0.79	2.93				41.53	38.60
02-nov	40	2.0	54.0	0.80	4.36	3.49	0.80	2.79				38.60	35.81
03-nov	41	1.2	51.0	0.80	5.14	4.11	0.81	3.33				35.81	32.48
04-nov	42	1.0	50.5	0.80	5.92	4.74	0.82	3.88		15.77	17.52	48.25	44.37
05-nov	43	1.7	54.0	0.80	3.02	2.42	0.83	2.01				44.37	42.36
06-nov	44	3.5	53.5	0.75	2.96	2.22	0.84	1.86	4.2			42.36	44.73
07-nov	45	0.0	55.0	0.80	3.62	2.90	0.85	2.46				44.73	42.26
08-nov	46	1.7	53.0	0.80	3.68	2.94	0.86	2.53	6.4			42.26	46.12
09-nov	47	1.7	67.0	0.80	0.52	0.42	0.87	0.36	2.7			46.12	48.46
10-nov	48	1.2	59.5	0.80	3.22	2.58	0.88	2.27				48.46	46.19
11-nov	49	0.0	54.5	0.80	2.12	1.70	0.89	1.51				46.19	44.68
12-nov	50	0.7	56.0	0.80	1.48	1.18	0.90	1.07				44.68	43.62
13-nov	51	2.2	55.5	0.75	4.08	3.06	0.91	2.78				43.62	40.83

14-nov	52	0.7	56.0	0.80	2.48	1.98	0.92	1.83	14.9			40.83	53.86
15-nov	53	2.5	55.0	0.75	3.70	2.78	0.93	2.58				53.86	51.28
16-nov	54	2.2	55.0	0.75	1.94	1.46	0.94	1.37	5.0			51.28	54.86
17-nov	55	2.7	53.0	0.75	6.44	4.83	0.95	4.59				54.86	50.27
18-nov	56	2.2	49.5	0.75	5.94	4.46	0.96	4.28				50.27	46.00
19-nov	57	1.7	48.5	0.80	5.96	4.77	0.97	4.62				46.00	41.37
20-nov	58	4.0	50.5	0.75	5.78	4.34	0.98	4.25				41.37	37.12
21-nov	59	1.7	41.5	0.80	3.80	3.04	0.99	3.01				37.12	34.11
22-nov	60	5.0	50.5	0.75	5.08	3.81	1.00	3.81				34.11	30.30
23-nov	61	3.0	51.5	0.75	2.46	1.85	1.00	1.85		17.95	19.94	48.25	46.41
24-nov	62	3.0	51.0	0.75	6.94	5.21	1.00	5.21				46.41	41.20
25-nov	63	4.0	50.5	0.75	3.78	2.84	1.00	2.84				41.20	38.37
26-nov	64	3.0	51.0	0.75	4.08	3.06	1.00	3.06				38.37	35.31
27-nov	65	2.5	49.5	0.75	4.40	3.30	1.00	3.30				35.31	32.01
28-nov	66	0.5	54.5	0.80	4.04	3.23	1.00	3.23		16.25	18.05	48.25	45.02
29-nov	67	2.0	53.5	0.80	2.34	1.87	1.00	1.87	8.7			45.02	51.88
30-nov	68	0.7	62.0	0.80	1.44	1.15	1.00	1.15				51.88	50.72
01-dic	69	1.0	59.0	0.80	1.32	1.06	1.00	1.06				50.72	49.67
02-dic	70	2.5	55.5	0.75	2.40	1.80	1.00	1.80				49.67	47.87
03-dic	71	0.5	54.5	0.80	2.22	1.78	1.00	1.78	5.8			47.87	51.89
04-dic	72	1.7	53.0	0.80	4.16	3.33	1.00	3.33				51.89	48.56
05-dic	73	2.0	51.5	0.80	5.06	4.05	1.00	4.05				48.56	44.52
06-dic	74	2.5	50.5	0.75	5.02	3.77	1.00	3.77				44.52	40.75
07-dic	75	0.0	51.5	0.80	3.28	2.62	1.00	2.62	1.1			40.75	39.21
08-dic	76	2.5	55.0	0.75	1.40	1.05	1.00	1.05	0.7			39.21	38.86
09-dic	77	0.0	57.5	0.80	2.40	1.92	1.00	1.92	1.0			38.86	37.93
10-dic	78	0.0	59.5	0.80	1.22	0.98	1.00	0.98	2.8			37.93	39.74
11-dic	79	1.7	55.0	0.80	2.76	2.21	1.00	2.21	2.4			39.74	39.96

12-dic	80	1.5	55.5	0.80	4.20	3.36	1.00	3.36	1.1			39.96	37.68
13-dic	81	1.2	51.5	0.80	4.76	3.81	1.00	3.81				37.68	33.88
14-dic	82	3.0	50.5	0.75	4.44	3.33	1.00	3.33	1.4			33.88	31.90
15-dic	83	2.2	52.5	0.75	3.78	2.84	1.00	2.84		16.36	18.17	48.25	45.42
16-dic	84	2.7	47.5	0.75	3.80	2.85	1.00	2.85	9.4			45.42	51.93
17-dic	85	1.5	55.5	0.80	1.36	1.09	1.00	1.09	1.4			51.93	52.28
18-dic	86	0.0	57.5	0.80	4.54	3.63	1.00	3.63	5.9			52.28	54.55
19-dic	87	2.7	59.5	0.75	3.48	2.61	1.00	2.61	5.0			54.55	56.89
20-dic	88	3.2	55.5	0.75	2.98	2.23	1.00	2.23	4.1			56.89	58.79
21-dic	89	4.2	56.5	0.75	3.66	2.75	1.00	2.75	3.3			58.79	59.38
22-dic	90	2.7	55.0	0.75	1.20	0.90	1.00	0.90				59.38	58.48
<b>Demanda hidrica (mm)</b>								<b>143.28</b>					

## Anexo 5. Resultados de análisis de suelo.

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• APARTADO POSTAL<br/>N° 921 - Cusco - Perú</li> <li>• FAX: 238156 - 238173 - 222512</li> <li>• RECTORADO<br/>Calle Tigre N° 127<br/>Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CIUDAD UNIVERSITARIA<br/>Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226</li> <li>• CENTRAL TELEFÓNICA: 232398 - 252210<br/>243835 - 243836 - 243837 - 243838</li> <li>• LOCAL CENTRAL<br/>Plaza de Armas s/n<br/>Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• MUSEO INKA<br/>Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380</li> <li>• CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA<br/>San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246</li> <li>• COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"<br/>Av. De la Cultura N° 721<br/>"Estado Universitario" - Teléfono: 227192</li> </ul> |
|---|--|--|

**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y ABONOS (CISA)  
LABORATORIO ANALISIS DE SUELOS**

**TIPO DE ANALISIS** : FERTILIDAD Y MECANICO  
**PROCEDENCIA** : POTRERO C-5 – C.A. K'AYRA - SAN JERONIMO-CUSCO  
**INSTITUCION SOLICITANTE** : LISSET HUANCA HUISA

**ANALISIS DE FERTILIDAD:**

Nº	CLAVE	mmhos/cm C.E.	pH	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ppm K <sub>2</sub> O
01	M-1	0.20	7.80	1.14	0.06	84.3	102

**ANALISIS MECANICO:**

Nº	CLAVE	meq/100 C.I.C.	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE- TEXTURAL
01	M-1	18.90	39	46	15	FRANCO

**OTROS ANALISIS:**

Nº	CLAVE	% H.E.	% C.C.	gr/cm <sup>3</sup> D.a.	gr/cm <sup>3</sup> D.r.	% PMP	% POROSIDAD
01	M-1	23.47	22.92	1.47	2.53	9.79	41.89

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA  
Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA) - K'ayra

*[Firma]*  
Ing. Agr. Aracelio Calderón Choquechambi

Cusco, 05 de Octubre del 2015.

*[Firma]*  
**FAUSTO YAPURA CONDORI**  
ANALISTA EN SUELOS, AGUAS Y PLANTAS

**Anexo 6. Datos meteorológicos de humedad relativa diaria en %.**

MES	Días	Humedad Atmosférica % (Higrógrafo)		
		HR Max	HR Min	Prom.
OCTUBRE	29	80	50	65.0
	30	79	38	58.5
	31	81	39	60.0
NOVIEMBRE	1	78	34	56.0
	2	82	26	54.0
	3	78	24	51.0
	4	81	20	50.5
	5	72	36	54.0
	6	76	31	53.5
	7	80	30	55.0
	8	72	34	53.0
	9	83	51	67.0
	10	87	32	59.5
	11	79	30	54.5
	12	75	37	56.0
	13	83	28	55.5
	14	85	27	56.0
	15	81	29	55.0
	16	84	26	55.0
	17	85	21	53.0
	18	80	19	49.5
	19	81	16	48.5
	20	80	21	50.5
	21	60	23	41.5
	22	79	22	50.5
	23	80	23	51.5
	24	84	18	51.0
	25	80	21	50.5
	26	84	18	51.0
	27	69	30	49.5
	28	85	24	54.5
	29	72	35	53.5
	30	81	43	62.0
DICIEMBRE	1	80	38	59.0
	2	83	28	55.5
	3	85	24	54.5
	4	80	26	53.0
	5	85	18	51.5
	6	79	22	50.5
	7	74	29	51.5
	8	80	30	55.0

	9	80	35	57.5
	10	81	38	59.5
	11	85	25	55.0
	12	85	26	55.5
	13	85	18	51.5
	14	82	19	50.5
	15	84	21	52.5
	16	71	24	47.5
	17	81	30	55.5
	18	81	34	57.5
	19	82	37	59.5
	20	80	31	55.5
	21	80	33	56.5
	22	80	30	55.0

*Fuente: Estación MAP K'ayra, 2015.*



**Anexo 7. Datos meteorológicos de velocidad del viento diario ajustado a 2m.**

MES	Días	Velocidad del Viento (m/seg.)	Factor de conversión	Velocidad de viento ajustado a 2m (m/seg)
OCTUBRE	29	1.7	0.748	1.3
	30	1.3	0.748	1.0
	31	2.0	0.748	1.5
NOVIEMBRE	1	3.0	0.748	2.2
	2	2.7	0.748	2.0
	3	1.7	0.748	1.2
	4	1.3	0.748	1.0
	5	2.3	0.748	1.7
	6	4.7	0.748	3.5
	7	1.5	0.748	1.1
	8	2.3	0.748	1.7
	9	2.3	0.748	1.7
	10	1.7	0.748	1.2
	11	1.0	0.748	0.7
	12	1.0	0.748	0.7
	13	3.0	0.748	2.2
	14	1.0	0.748	0.7
	15	3.3	0.748	2.5
	16	3.0	0.748	2.2
	17	3.7	0.748	2.7
	18	3.0	0.748	2.2
	19	2.3	0.748	1.7
	20	5.3	0.748	4.0
	21	2.3	0.748	1.7
	22	6.7	0.748	5.0
	23	4.0	0.748	3.0
	24	4.0	0.748	3.0
	25	5.3	0.748	4.0
	26	4.0	0.748	3.0
	27	3.3	0.748	2.5
	28	0.7	0.748	0.5
	29	2.7	0.748	2.0
	30	1.0	0.748	0.7
DICIEMBRE	1	1.3	0.748	1.0
	2	3.3	0.748	2.5
	3	0.7	0.748	0.5
	4	2.3	0.748	1.7
	5	2.7	0.748	2.0
	6	3.3	0.748	2.5
	7	1.5	0.748	1.1

	8	3.3	0.748	2.5
	9	1.0	0.748	0.7
	10	1.0	0.748	0.7
	11	2.3	0.748	1.7
	12	2.0	0.748	1.5
	13	1.7	0.748	1.2
	14	4.0	0.748	3.0
	15	3.0	0.748	2.2
	16	3.7	0.748	2.7
	17	2.0	0.748	1.5
	18	1.0	0.748	0.7
	19	3.7	0.748	2.7
	20	4.3	0.748	3.2
	21	5.7	0.748	4.2
	22	3.7	0.748	2.7

*Fuente: Estación MAP K'ayra, 2015.*

**Anexo 8. Datos meteorológicos de precipitación diaria en mm.**

MES	Días	Precipitación mm/día	Precipitación efectiva mm/día
OCTUBRE	29	0.0	0.0
	30	0.0	0.0
	31	0.0	0.0
NOVIEMBRE	1	0.0	0.0
	2	0.0	0.0
	3	0.0	0.0
	4	0.0	0.0
	5	0.0	0.0
	6	4.7	4.2
	7	0.0	0.0
	8	7.1	6.4
	9	3.0	2.7
	10	0.0	0.0
	11	0.0	0.0
	12	0.0	0.0
	13	0.0	0.0
	14	16.5	14.9
	15	0.0	0.0
	16	5.5	5.0
	17	0.0	0.0
	18	0.0	0.0
	19	0.0	0.0
	20	0.0	0.0
	21	0.0	0.0
	22	0.0	0.0
	23	0.0	0.0
	24	0.0	0.0
	25	0.0	0.0
	26	0.0	0.0
	27	0.0	0.0
	28	0.0	0.0
	29	9.7	8.7
	30	0.0	0.0
DICIEMBRE	1	0.0	0.0
	2	0.0	0.0
	3	22.9	5.8
	4	0.0	0.0
	5	0.0	0.0
	6	0.0	0.0
	7	1.2	1.1

	8	0.8	0.7
	9	1.1	1.0
	10	3.1	2.8
	11	2.7	2.4
	12	1.2	1.1
	13	0.0	0.0
	14	1.5	1.4
	15	0.0	0.0
	16	10.4	9.4
	17	1.6	1.4
	18	23.1	5.9
	19	5.5	5.0
	20	4.6	4.1
	21	3.7	3.3
	22	0.0	0.0

*Fuente: Estación MAP K'ayra, 2015.*