



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**“DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS HIDRICOS EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A Y FORMULAS EMPIRICAS (FAO) EN MACAJI, CANTON RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**LEON TERAN JUAN EDUARDO**

**RIOBAMBA -ECUADOR**

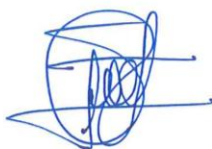
**2018**

---

## HOJA DE CERTIFICACIÓN

El suscrito TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN, CERTIFICA QUE: el trabajo de investigación titulado: “DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS HIDRICOS EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A Y FORMULAS EMPIRICAS (FAO) EN MACAJI CANTON RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”. De responsabilidad del Sr. Egresado Juan Eduardo León Terán ha sido prolijamente revisada quedando autorizada su presentación.

### TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



---

Ing. Juan Eduardo León Ruiz Ph. D.

**DIRECTOR**



Ing. Víctor Alberto Lindao Cordova Ph. D.

**MIEMBRO**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Juan Eduardo León Terán declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académico de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 03 de Marzo del 2018

-----

Juan Eduardo León Terán

0603739210

## DEDICATORIA

En primer lugar dar las gracias a Dios por darme la sabiduría, salud, esperanza, capacidad, humildad y perseverancia para terminar sin novedad este importante paso en mi vida.

Con gran emoción y motivación dedico este escalón en mi vida profesional al principal pilar en mi vida, mi FAMILIA.

A mis madre, Carmita Lucia quien con su amor y valores me ayuda a tener una motivación diaria y no desistir de mis metas e ideales, que a lo largo de la vida se me han presentado.

A mi padre, Juan Eduardo por su ejemplo de superación, perseverancia y constancia que lo caracterizan supo guiarme de manera oportuna y responsable durante todos estos años de vida estudiantil.

A mis hermanas Gisselle y Domenica que con sus ocurrencias y locuras han sabido sacarme una sonrisa pese a las adversidades.

A mis amigas Thalia y Susan , pese a las dificultades que la vida nos pone me supieron con su poder de aliento encaminar y ayudar de manera diaria .

## AGRADECIMIENTO

Como no agradecer a la Familia Politécnica, que fue mi segundo hogar, el cual me formo de manera integral, a la Escuela de Ingeniería Agronómica la cual conjuntamente con sus Catedráticos me guiaron en este camino para ser un profesional.

Agradezco muy especialmente, a mi; PADRE, Tutor y Director de Tesis: Ing. Juan Eduardo León Ruiz Ph.D, por su acertada y oportuna orientación siempre que lo he necesitado; El fue el soporte más fuerte en mi vida estudiantil, lo cual me permitió con sus grandes conocimientos y consejos, salir adelante y dar un buen fruto al trabajo de Investigación realizado, el cual llegó a un exitoso término. He podido contar con un Director de Tesis que ha sabido transmitirme su experiencia en el Recurso Hídrico, lo cual me ha ayudado de manera absoluta a sentar buenos cimientos en mi formación académica y además dar complemento y ayuda técnica también a mi Empresa: “Casa del Riego”.

Al Ing. Víctor Lindao Ph. D. asesor de tesis, le agradezco por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera y así poder culminar con éxito mi proyecto de tesis.

A los amigos y miembros del Centro Experimental de Riego: Juan Diego, Paul, Daniel, Pedro, quienes me dieron su apoyo durante mi proyecto.

Al personal Administrativo de la Facultad y de la ESPOCH.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mi recuerdo y en mi corazón, sin importar donde estén quiero darles gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

**JUAN EDUARDO (Jr)**

## TABLAS DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiv

## CONTENIDO

CAP.	CAPÍTULOS	PÁGINAS
<b>I.</b>	<b>“DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS HIDRICOS EN EL CULTIVO DE LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i>) var. Winterhaven EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A Y FORMULAS EMPIRICAS (FAO) EN MACAJI CANTON RIOBAMBA ,PROVINCIA DE CHIMBORAZO”</b> .....	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
A.	JUSTIFICACION .....	2
B.	OBJETIVOS .....	3
<b>III.</b>	<b>REVISION BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>4</b>
A.	REQUERIMIENTO DE RIEGO EN LOS CULTIVOS.....	4
B.	CAPACIDAD DE CAMPO (CC).....	4
C.	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP).....	4
D.	EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN .....	5
E.	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA .....	5
F.	EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET <sub>c</sub> ) .....	7
G.	COEFICIENTE DE CULTIVO (K <sub>c</sub> ) .....	7
H.	DETERMINACION DEL AGUA ÚTIL PARA EL RIEGO .....	10
I.	LÁMINA NETA DE RIEGO (L <sub>n</sub> ). .....	10
J.	FRECUENCIA DE RIEGO .....	11
K.	LÁMINA BRUTA DE RIEGO (L <sub>b</sub> ). .....	11
L.	VOLUMEN DE RIEGO .....	12
M.	TIEMPO DE RIEGO .....	12
N.	PRECIPITACIÓN .....	12
O.	RIEGO POR GOTEO .....	13

P.	METODOS PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS .....	13
Q.	CULTIVO DE LECHUGA.....	17
<b>IV.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
A.	AREA DE ESTUDIO .....	21
1.	Material vegetativo .....	22
2.	Materiales de campo .....	22
3.	Material de oficina .....	22
E.	MÉTODOS .....	22
2.	Tratamientos.....	27
a.	Especificaciones de la parcela experimental.....	27
b.	Tratamientos .....	28
H.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	28
1.	Tipo de diseño.....	28
4.	VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN .....	29
1.	Fenología de la planta .....	29
2.	Determinación de los parámetros biométricos de la planta .....	30
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>33</b>
A.	IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CICLO DEL CULTIVO.....	33
B.	COEFICIENTE DEL CULTIVO ( $K_c$ ) AJUSTADO PARA LA LECHUGA. ...	40
D.	ALTURA DE LA PLANTA.....	45
E.	CONTENIDO DE CLOROFILA .....	51
F.	CONTENIDO RELATIVO DE AGUA EN HOJAS (WRC) .....	53
G.	DIÁMETRO DEL REPOLLO.....	54
2.	Peso planta total en seco (g).....	60
3.	Peso hojas bajas húmedo (g).....	61
4.	Peso hojas bajas seco (g).....	61
5.	Peso repollo húmedo (g) .....	63
8.	Peso raíz seco (g) .....	65
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>VIII.</b>	<b>RESUMEN.....</b>	<b>76</b>
<b>IX.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>77</b>

<b>X. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>78</b>
<b>XI. ANEXOS.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo 1. Ubicación del ensayo.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo 2. Distribución de tratamientos en campo.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo 3. Costo del ensayo para la determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de la lechuga <i>Lactuca sativa</i> var Winterhaven. ....</b>	<b>83</b>



## LISTA DE CUADROS

Nº	DESCRIPCIÓN	PÁG.
	CUADRO 1. COEFICIENTES DEL TANQUE EVAPORÍMETRO (KP) PARA EL TANQUE CLASE A SITUADO EN UNA SUPERFICIE CULTIVADA PARA DIVERSAS LOCALIDADES Y AMBIENTES CON VARIOS VALORES DE VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO Y DE HUMEDAD RELATIVA.....	15
	CUADRO 2. DATOS DE UBICACIÓN Y CONDICIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
	CUADRO 3. CONTENIDO DE HUMEDAD EN PORCENTAJE DE ACUERDO AL TIPO DE SUELO.....	26
	CUADRO 4. ESQUEMA DE ANÁLISIS DE VARIANZA (ADEVA).....	29
	CUADRO 5. DURACIÓN DE LA ETAPA INICIAL DEL CULTIVO DE LECHUGA .....	33
	CUADRO 6. DURACIÓN DE LA ETAPA DE DESARROLLO DE LECHUGA.....	34
	CUADRO 7. DURACIÓN DE LA ETAPA INTERMEDIA DE LECHUGA.....	36
	CUADRO 8. DURACIÓN DE LA ETAPA FINAL DE LECHUGA.....	37
	CUADRO 9. DURACIÓN DEL CICLO DE LECHUGA .....	38
	CUADRO 10. DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE LECHUGA EN LOS TRATAMIENTOS.....	39

CUADRO 11. VOLUMEN TOTAL DE AGUA APLICADA (LTS/ M <sup>2</sup> ) EN LECHUGA.....	43
CUADRO 12. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PORCENTAJE DE PRENDIMIENTO.....	45
CUADRO 13. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 20 DDT. ....	46
CUADRO 14. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 35 DDT. ....	46
CUADRO 15. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LOS 35 DDT.....	47
CUADRO 16. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 50 DDT.....	48
CUADRO 17. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LOS 50 DDT.....	48
CUADRO 18. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 65 DDT.....	49
CUADRO 19. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LOS 65 DDT.....	49
CUADRO 20. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LA COSECHA. ....	50
CUADRO 21. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LA COSECHA .....	51

CUADRO 22. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE CLOROFILA (SPAD) APICAL .....	52
CUADRO 23. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE CLOROFILA (SPAD) MEDIA .....	52
CUADRO 24. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE CLOROFILA (SPAD) BASAL .....	53
CUADRO 25. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (%), .....	54
CUADRO 26. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO POLAR (MM) A LA COSECHA.....	54
CUADRO 27. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL DIÁMETRO POLAR A LA COSECHA .....	55
CUADRO 28. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO ECUATORIAL (MM) A LA COSECHA. ....	56
CUADRO 29. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL DIÁMETRO ECUATORIAL A LA COSECHA.....	56
CUADRO 30. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS (GR) A LA COSECHA.....	57
CUADRO 31. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS A LA COSECHA.....	58
CUADRO 32. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS (GR) EN HÚMEDO.....	60

CUADRO 33. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS (GR) EN SECO .....	60
CUADRO 34. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE HOJAS BAJERAS EN HÚMEDO (GR).....	61
CUADRO 35. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE HOJAS BAJERAS EN SECO (GR).....	62
CUADRO 36. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA PARA EL PESO DE HOJAS BAJERAS EN SECO.....	62
CUADRO 37. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DEL REPOLLO EN HÚMEDO (GR).....	63
CUADRO 38. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DEL REPOLLO EN SECO (GR) .....	63
CUADRO 39. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE LA RAÍZ (GR) A LA COSECHA .....	64
CUADRO 40. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS A LA COSECHA.....	64
CUADRO 41. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE LA RAÍZ EN SECO (GR).....	65
CUADRO 42. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO PROMEDIO POR PLANTA (GR).....	66
CUADRO 43. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO PROMEDIO POR PLANTA A LA COSECHA. ....	66

CUADRO 44. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO PROMEDIO POR PLANTA (KG/PLANTA).....	67
CUADRO 45. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS A LA COSECHA. ....	68
CUADRO 46. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO PROMEDIO POR PLANTA (KG/HA).....	69
CUADRO 47. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS A LA COSECHA. ....	69
CUADRO 48. RENTABILIDAD DE LOS TRATAMIENTOS.....	71

## LISTA DE FIGURAS

<b>Nº.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁG.</b>
Figura 1.	Curva generalizada del coeficiente de cultivo Kc.....	9
Figura 2.	Duración de la etapa inicial del cultivo de lechuga .....	34
Figura 3.	Duración de la etapa de desarrollo en lechuga.....	35
Figura 4.	Duración de la etapa intermedia en lechuga .....	36
Figura 5.	Duración de la etapa final en el ciclo de lechuga.....	37
Figura 6.	Duración del ciclo total de la lechuga.....	38
Figura 7.	Etapas fenológicas de la lechuga en cada uno de sus tratamientos.....	39
Figura 8.	Coeficiente del cultivo (kc) mediante el método de lisimetría. ....	40
Figura 9.	Coeficiente del cultivo (kc) mediante el método del tanque clase a.....	41
Figura 10.	Coeficiente del cultivo (kc) mediante fórmulas fao.....	42
Figura 11.	Volumen de agua aplicado por fase lts/m <sup>2</sup> en lechuga .....	43
Figura 12.	Volumen de agua aplicado (lts/m <sup>2</sup> ) en lechuga.....	44
Figura 13.	Altura de la planta a los 35 DDT .....	47
Figura 14.	Altura de la planta de lechuga a los 50 DDT .....	48

Figura 15. Altura de la planta a los 65 DDT en lechuga .....	50
Figura 16. Altura de la planta de lechuga a la cosecha .....	51
Figura 17. Diámetro polar del repollo en lechuga.....	55
Figura 18. Diámetro ecuatorial del repollo en el cultivo de lechuga. ....	57
Figura 19. Peso de la planta a la cosecha en el cultivo de lechuga .....	58
Figura 20. Rendimiento del repollo en el cultivo de lechuga en Kg/ha .....	59
Figura 21. Peso de hojas bajas en seco (gr).....	62
Figura 22. Peso de la raíz en húmedo en el cultivo de lechuga.....	65
Figura 23. Peso promedio por planta en el cultivo de lechuga.....	67
Figura 24. Peso promedio por planta kg/ planta en el cultivo de lechuga.....	68
Figura 25. Peso promedio por planta kg/ ha en el cultivo de lechuga.....	69
Figura 26. Porcentaje de la materia seca a la cosecha en el cultivo de lechuga.....	70
Figura 27. Huella hídrica lts/ kg en el cultivo de lechuga.....	70

# **I. “DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS HIDRICOS EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A Y FORMULAS EMPIRICAS (FAO) EN MACAJI CANTON RIOBAMBA ,PROVINCIA DE CHIMBORAZO”.**

## **II. INTRODUCCIÓN**

Entre los principales problemas que limitan el incremento de la producción y la productividad de los cultivos es la disponibilidad y el alto costo del agua de riego, además del uso y manejo ineficiente de este recurso. (López, et al., 2009)

Milthorpe & Moorby (1982 ), señalan que tanto en los cultivos, como en la cubierta que forma la vegetación natural de un lugar, se mueven desde el suelo hasta la atmósfera volúmenes muy grandes de agua. La mayor parte circula a través de las plantas en su camino desde el suelo a la atmósfera: ésta es absorbida por la raíz, luego fluye por el xilema, se evapora en los espacios intercelulares del mesófilo, y finalmente difunde como vapor de agua a la atmósfera, especialmente a través de los poros estomáticos que en alto número perforan la epidermis.

Una adecuada comprensión del balance hídrico de las plantas y los cultivos requiere cierto conocimiento de los procesos de absorción, movimiento y pérdida (transpiración) de agua, de las vías de movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera, de los mecanismos y fuerzas motrices involucrados en el movimiento del agua en cada porción de ese sistema, de los factores ambientales y de la planta que modulan los flujos de agua, y del manejo de marcos de referencia conceptuales que permiten una utilización apropiada de toda esta información. (Evans, 1983)

La popularidad del cultivo de lechuga ha aumentado en forma progresiva, por tratarse de un producto de sabor agradable, nutricional, medicinal y de bajo contenido calórico. La lechuga se produce en cualquier época del año y como el resto de las hortalizas, es un buen abastecedor de vitaminas, minerales y sales; indispensables para el organismo. La conciencia que existe por mantener la salud ha incrementado el consumo de frutas y hortalizas, en el que se incluyen los diferentes tipos de lechuga.



## **A. JUSTIFICACION**

En Ecuador los estudios de requerimientos hídricos en cultivos hortícolas son escasos. Es urgente un estudio para poder saber cuándo, cómo y cuánto de agua consume el cultivo de lechuga, en su estimación interviene en el cálculo del requerimiento del agua de los cultivos, en la planificación del riego y los estudios hidrológicos.

La producción hortícola en cultivos protegidos es altamente dependiente del suministro hídrico artificial debido a los cortos ciclos de producción y a características morfológicas y fisiológicas de estos cultivos, por lo que resulta indispensable conocer los requerimientos hídricos de los mismos. (Smaldoni et al., 2002)

La estimación de la demanda de agua, a través de cualquier método, depende en gran medida del conocimiento de la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el objetivo de no perjudicar su rendimiento. La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la retienen (la que usan para crecimiento y fotosíntesis). En una parcela, es difícil separar la evaporación y la transpiración, cuando se habla de las necesidades de agua en los cultivos, por lo que la suma de ambos procesos se le ha denominado como evapotranspiración. (Fernández Demetrio, et al, 2009)

Por lo tanto, el agua evapotranspirada debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta por estrés hídrico. Diversas metodologías se han propuesto para su determinación, debiendo considerarse siempre que la evapotranspiración depende, entre otros aspectos, de las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo, así como de la disponibilidad de agua del suelo.

Por lo anterior, se busca un complemento a las opciones existentes, utilizando riego tecnificado en este caso riego por goteo, con ayuda de métodos para definir la cantidad de agua para la reposición de riego como son los lisímetros de drenaje, tanque de evaporación clase A y las formulas empíricas mencionadas por la FAO.

## **B. OBJETIVOS**

### **1. General**

Determinar los requerimientos hídricos del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var Winterhaven en base a lisímetros de drenaje, tanque de evaporación tipo A y fórmulas empíricas (FAO) en Macaji cantón Riobamba Provincia de Chimborazo.

### **2. Específicos**

- a. Determinar las etapas fenológicas del cultivo de lechuga
- b. Determinar la influencia de la lámina y frecuencia de Riego en las etapas de desarrollo del cultivo.
- c. Ajustar el  $K_c$  para el cultivo de lechuga, para cada tratamiento
- d. Determinar la huella hídrica para el cultivo de lechuga para cada tratamiento.
- e. Realizar análisis económico de los tratamientos

## **C. HIPOTESIS**

### **1. Nula (H1)**

Las diferentes láminas y frecuencias de riego aplicadas no influyen en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven

### **2. Alternante(H1)**

Al menos una lámina y frecuencia de riego aplicada en el cultivo de lechuga permite obtener un mejor rendimiento en el cultivo.

### **III. REVISION BIBLIOGRAFICA**

#### **A. REQUERIMIENTO DE RIEGO EN LOS CULTIVOS**

Los requerimientos de riego varían de acuerdo al uso consuntivo, la precipitación, la capacidad de almacenamiento de agua y otros factores, para cualquier periodo la diferencia entre el uso consuntivo y la precipitación efectiva se determina la lámina neta de riego que debe ser aplicada al suelo, por la precipitación que existe en nuestro país la cantidad de agua proporcionada por la lluvia varía entre 0 y 100% del uso consuntivo. Las plantas absorben el agua desde el suelo mediante sus raíces. Ambos suelo y planta, están sometidos a los efectos de la lluvia, el sol y viento, que generan un mayor o menor grado de evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas. Este proceso se le conoce como evapotranspiración. (Calvache, 1993)

La evapotranspiración de los cultivos es mayor en climas cálidos, ventosos, secos que en los fríos. Esto se refleja claramente con los valores de Kc que se presentan con relación a las diferentes condiciones climáticas. (FAO, 2014)

#### **B. CAPACIDAD DE CAMPO (CC)**

Hurtado (2002), manifiesta que CC es la máxima cantidad de agua retenida por un suelo con buen drenaje, los poros pequeños (micro poros) retienen el agua contra la fuerza de gravedad, pero con una energía que es fácilmente superada por la fuerza de succión de las raíces. La capacidad de campo se alcanza cuando la tensión del agua en el suelo es de aproximadamente 0.3 bars (30 centibares ó 3 m de columna de agua) en suelos arcillosos o de 0.1 bares en suelos de textura media. (Hidalgo, 2008)

#### **C. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP)**

Vásquez e Iglesias (2000), explican que el PMP es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades de transpiración, manifestándose síntomas de marchitamiento, caída de hojas . Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 20 bares. (Enciso, 2005)

La Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente permiten establecer la cantidad de agua del suelo aprovechable para las plantas, la cual depende básicamente de dos factores: La capacidad de retención del agua por unidad de volumen del suelo, la profundidad de suelo que alcancen las raíces de las plantas. (Hurtado, 2002)

El Agua útil, Fuente (2006), manifiesta que agua útil es la cantidad de agua comprendida entre los valores de capacidad de campo (0.33 bares) y punto de marchitez permanente (15 bares) y comprende la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos.

#### **D. EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN**

La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua pasa del estado líquido a vapor. La evaporación constituye una de las fases del ciclo hidrológico, y está influenciada por diversos factores. Entre los cuales, se tienen al: viento, temperatura, humedad relativa, radiación, composición y color del suelo.

En el caso de los cultivos, cuando se habla de evaporación, nos estamos refiriendo a la evaporación del agua que se encuentra en el suelo. (Vásquez, 2017)

Los cultivos necesitan agua para diferentes procesos. La transpiración es el proceso por el cual el vapor del agua se desprende del interior de las plantas a través de las hojas y del tallo y pasa a la atmósfera.

La transferencia de agua hacia el aire desde el terreno, de la superficie del agua o de las hojas mojadas, se llama evaporación. (Fierro, 2008)

#### **E. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA**

Anteriormente se ha utilizado la denominación de ET<sub>p</sub>, evapotranspiración potencial, determinada según el mismo método y su valor se puede considerar equivalente a la ET<sub>o</sub>. Se la denomina como la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas. (Sánchez, 2001)

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que usan para su crecimiento y fotosíntesis. La transpiración puede considerarse, por tanto, como el

consumo de agua de la planta. Además, se debe tener en cuenta que hay pérdidas por evaporación del agua desde la superficie del suelo. (Calvache, 1993)

Por lo tanto, se considera que las necesidades de agua de los cultivos están dadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo más la transpiración de la plantas, que es lo que comúnmente se conoce como evapotranspiración y es una cantidad que varía según el clima y el cultivo. (Calvache, 1993)

La Evapotranspiración de un cultivo depende de muchos factores entre los principales tenemos:

1. **Clima.-** en días calurosos y despejados, los cultivos necesitan más agua que en días nublados y fríos. El clima tiene influencia sobre la duración del ciclo del cultivo así como sobre la de sus diferentes fases de desarrollo. En un clima frío, un determinado cultivo crecerá más lentamente que en un clima cálido. A parte de la luz solar y la temperatura hay otros factores climáticos que también influyen en las necesidades de agua. Dichos factores son la humedad del aire y la velocidad del viento. (Alvear, 2000)
2. **Cultivo.-** ciertos tipos de cultivos requieren de más agua que otros, por ejemplo el cultivo de papa necesita más agua que el chocho. (Alvear, 2000)
3. **Fase y ciclo vegetativo.-** los cultivos ya crecidos necesitan más agua que los recién plantados. Un determinado cultivo que crece en un clima cálido y donde predominan los cielos despejados, necesitará más agua por día que el mismo cultivo en una localidad cuyo clima es más frío y donde predominan los cielos nubosos.(Cañar, 2006)

Otros cultivos, cuyo ciclo vegetativo es más permanente son los cultivos perennes. Dichos cultivos pueden permanecer en el terreno durante años, como por ejemplo los frutales. El requerimiento hídrico para todo su ciclo vegetativo es mayor en unos cultivos que en otros. (Cañar, 2006)

La evapotranspiración tiene lugar principalmente durante el día. Se expresa usualmente en unidades de lámina por tiempo; es decir en mm, sea por día, mes o estación. La lámina de 1 mm de agua, se la traduce a volumen por superficie; de la manera siguiente: 1 mm = 10 m<sup>3</sup> /ha. (Alvear, 2000)

## **F. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET<sub>c</sub>)**

Es la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar. Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo en condiciones óptimas . (FAO, 2008)

Cuando la evapotranspiración se produce sin ninguna restricción de agua en el suelo se conoce como evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) y corresponde a la cantidad de agua que debe ser aportada al suelo estacionalmente mediante lluvia y/o riego. (León, 2017)

**Según León (2017) , La evapotranspiración del cultivo se calcula mediante la siguiente ecuación:**

$$E_{tc} = E_{to} \times K_c$$

Donde:

**ET<sub>c</sub>**= Evapotranspiración del cultivo en mm.día

**ET<sub>o</sub>**= Evapotranspiración de referencia en mm.día

**K<sub>c</sub>** = Coeficiente de cultivo (a dimensional)

## **G. COEFICIENTE DE CULTIVO (K<sub>c</sub>)**

El K<sub>c</sub> representa las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia.

A medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación, como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Este período de crecimiento puede ser dividido en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada. (FAO, 2008)

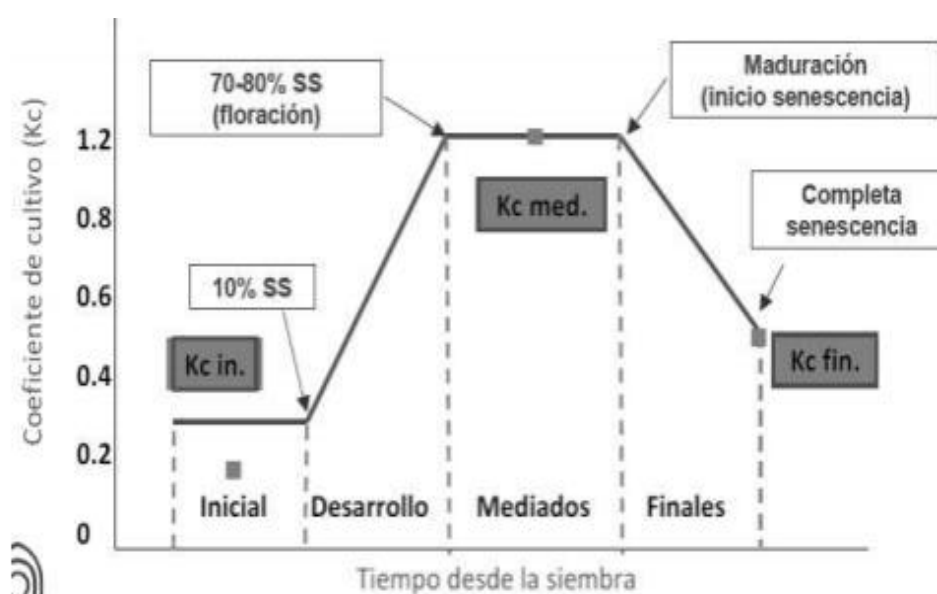
El coeficiente de cultivo  $K_c$ , describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha. (Calvache, 1993)

Se define también como el cociente entre la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar y la evapotranspiración de referencia: Este coeficiente refleja las diferencias entre el cultivo y la superficie de referencia. Describe además, cómo las características de un cultivo cambian con las distintas fases de crecimiento. Los valores del coeficiente de cultivo describen una curva a lo largo del ciclo de cultivo cuya forma refleja los cambios en la vegetación y en la cobertura vegetal debido al crecimiento y maduración en el ciclo del cultivo. (Belmonte et al, 2006)

El  $K_c$  se estima para cada cultivo de acuerdo con la metodología propuesta por FAO, estableciendo 4 etapas básicas y haciendo la extrapolación de los valores intermedios.

- 1. Etapa inicial.** Es un período después de siembra o transplante, en que las plantas crecen lentamente, cubriendo hasta un 10 % de la superficie. Para cultivos anuales, la ET en esta etapa corresponde exclusivamente a la evaporación directa del suelo, por lo que el valor del  $K_c$  está determinado por la frecuencia de riego o lluvia. Con riego frecuente (por ejemplo, hortalizas de transplante con riego por goteo) el  $K_c$  es elevado, mientras que con riego poco frecuente (ejemplo, siembra directa con riego de pre-siembra profundo) el  $K_c$  es bajo. (León, 2017)
- 2. Etapa de Desarrollo:** desde el 10 % de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta, hasta la emisión de la primera flor. Durante esta etapa, el  $K_c$  cambia rápidamente hasta alcanzar el valor máximo. Se estiman los  $K_c$  por interpolación entre los  $K_c$  de las etapas anterior y posterior. (León, 2017)
- 3. Etapa media:** entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70- 80 % de cobertura máxima de cada cultivo y  $K_c$ . (León, 2017)
- 4. Etapa Final:** etapa de maduración y decadencia. En esta etapa el  $K_c$  vuelve a bajar. En la Figura 1 se observa la curva generalizada del coeficiente de cultivo de acuerdo

a cada fase de desarrollo; la misma indica los cambios que se producen en el desarrollo de la plantación y el nivel de cobertura del suelo durante la fase de desarrollo y maduración, las que afectan el cociente entre  $ET_c$  y  $ET_o$ . A partir de esta curva se puede tabular el valor del coeficiente  $K_c$  y el valor de  $ET_c$ , en cualquiera de las cuatro fases. (León, 2017)



**Figura 1. Curva generalizada del coeficiente de cultivo  $K_c$**

Fuente: Alcobendas (2005)

Los valores máximos de  $K_c$  se alcanzan en la floración manteniéndose durante la fase media, finalmente decrece durante la fase de maduración; entonces, el  $K_c$  depende del clima, tipo de cultivo y del estado de desarrollo del mismo, representado en la absorción de la luz, la impedancia de su follaje, su fisiología y el nivel de humedad de su superficie. El uso de coeficiente de cultivo para establecer la planificación y programación de riego es de suma importancia, nos permite utilizar el recurso hídrico de manera más eficiente, debido a que toma en cuenta el proceso de evapotranspiración en condiciones climáticas reales tanto del suelo como el cultivo, y de este modo se puede determinar los niveles de agua que consume el cultivo en todo su ciclo de desarrollo. (León, 2017)



## H. DETERMINACION DEL AGUA ÚTIL PARA EL RIEGO

Se emplea la siguiente fórmula: (León, 2008)

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z$$

**Donde:**

**AU**= Agua útil o lamina total de agua, disponible para las plantas, en la zona radicular (mm)

**Z**= Profundidad de la zona radicular (**mm**)

**CC**= Contenido de humedad a capacidad de campo (  $m^3 / m^3$  )

**PMP**= Contenido de humedad a punto de marchitez permanente (  $m^3 / m^3$  )

**Da**= Densidad aparente del suelo (  $g / m^3$  )

Aunque el cultivo puede extraer agua hasta el punto de marchitez permanente, a medida que el suelo se seca las plantas comienzan a emplear significativas cantidades de energía para extraer el agua, lo que se traduce en situaciones de estrés, imposibilidad de satisfacer la demanda evapotranspiratoria, y posible reducción de productividad.

Estas condiciones de estrés hídrico se manifiestan a partir de un contenido de humedad intermedio o umbral entre capacidad de campo y punto de marchitez. (León, 2008)

## I. LÁMINA NETA DE RIEGO ( $L_n$ ).

La lámina neta de riego corresponde a la humedad de déficit. Es la cantidad de agua que debe quedar en la zona de raíces de las plantas, para llevar el suelo a capacidad de campo después de un riego, y que a su vez, corresponderá a la cantidad de agua que puede consumir el cultivo entre dos riegos consecutivos. Para determinar la lámina neta de riego, es necesario conocer la humedad aprovechable del suelo, el umbral de riego y la profundidad de raíces que se van a mojar. (León, 2002)

La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$Ln = UR (\%) * AU$$

Dónde:

**Ln**= Lamina de riego neta

**UR** = Umbral de riego (Fracción )

**AU** = agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm).

El umbral depende de la sensibilidad del cultivo a la reducción de agua disponible en el suelo, factores climáticos y factores económicos. En cultivos menos delicados los valores se reducen al 50 %. (León, 2012)

## **J. FRECUENCIA DE RIEGO**

Conocida la lámina de agua que el suelo puede retener y definido el umbral de riego según el tipo de cultivo, se procede a calcular la frecuencia de riego máxima, a través de la siguiente ecuación: (León ,2008)

$$FR_{max} = \frac{Ln}{ETc}$$

**Donde:**

**FR max** =Frecuencia de riego máxima (días)

**Ln**= Lamina neta (mm)

**ETc**= Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

El valor de FR max representa el intervalo máximo entre riegos que permite satisfacer la demanda evapotranspiratoria del cultivo, en función del tipo de suelo y el umbral de riego adoptado. En la práctica se puede aplicar el riego utilizando cualquier intervalo de tiempo menor o igual al calculado a través de la ecuación. (León, 2008)

## **K. LÁMINA BRUTA DE RIEGO (Lb).**

La lámina de riego a aplicar se calcula a través de la siguiente ecuación: (León, 2012)

$$Lb = (Etc * Fr)/Ef$$

Dónde:

**Lb**= Lámina bruta de riego (mm),

**Etc** = evapotranspiración del cultivo (mm/día),

**Fr** = frecuencia de riego (días),

**Ef** = Eficiencia de aplicación de agua .

## L. VOLUMEN DE RIEGO

El volumen de riego a aplicar se determina como: (León, 2012)

$$V = Lb * Area$$

**V**= Volumen de riego a aplicar (litros),

**Lb**= Lámina bruta de riego (mm),

**Área** cultivada (m<sup>2</sup>) .

## M. TIEMPO DE RIEGO

El tiempo de riego se determina con la siguiente formula:. (León, 2012)

$$Tr = Vr/Q$$

Donde:

**T**= Tiempo de riego (horas),

**Vr**= Volumen de riego (Litros)

**Q** = caudal (L/hora)

## N. PRECIPITACIÓN

El agua que cae sobre la superficie del terreno, es interceptada por la vegetación (intercepción foliar), parte se infiltra y se incorpora a la capa radical, otra se percola bajo las raíces de cultivo y la última se escurre sobre la superficie del terreno. (Sevillano, 2005)

La proporción de agua retenida en la capa radical con relación a la lluvia, depende de las características del terreno para recibir agua (condiciones físicas, grado de humedad, cobertura, y pendiente) y de las características de la lluvia (altura, intensidad, duración y frecuencia). En el Ecuador se conoce que las lluvias varían en intensidad y duración, así como también en su periodicidad, tamaño; densidad y fuerza de caída. Sin embargo no existe prácticamente información disponible que describa tales características. (FAO, 2018)

## **O. RIEGO POR GOTEO**

Romero (2005), expresa que es un método de riego localizado donde el agua es aplicada en forma de gotas que humedecen el área cercana a la planta, es decir, en el área de mayor concentración de las raíces. Este sistema consta de filtros, reguladores de presión, tubos conductores, laterales para bajar la presión y emisores comúnmente denominados “goteros”.

La descarga de los emisores fluctúa en el rango de 2 a 4 litros por hora por cada gotero. Este método, garantiza una mínima pérdida de agua por evaporación o filtración, y es válido para casi todo tipo de cultivos, es así que su nivel de eficiencia alcanza un 90%-95 % . (Will, 2012)

## **P. METODOS PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS**

### **1. Tanque evaporímetro tipo A**

La evapotranspiración potencial del cultivo (Eto) se puede medir empleando el tanque de evapotranspiración clase “A” en el que se anotan periódicamente las diferencias de nivel de agua. 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) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese período. (FAO, 2008)

Según la FAO (2006), 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. Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada. La reflexión de la radiación solar del agua en el tanque puede ser diferente del 23% asumido para el cultivo de referencia. El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. También se distinguen diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies. La transferencia de calor a través de las paredes del tanque también afecta el balance energético.

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  $E_{To}$  para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente. (FAO, 2006)

FAO (2006), expresa que la evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque, así:

$$E_{To} = K_p * E_{vap}$$

**Dónde:**

**$E_{To}$ :** evapotranspiración de referencia [mm/día],

**$K_p$ :** coeficiente del tanque evaporímetro [adimensional],

**$E_{vap}$ :** evaporación del tanque evaporímetro [mm/día]

**CUADRO 1.** COEFICIENTES DEL TANQUE EVAPORÍMETRO ( $K_p$ ) PARA EL TANQUE CLASE A SITUADO EN UNA SUPERFICIE CULTIVADA PARA DIVERSAS LOCALIDADES Y AMBIENTES CON VARIOS VALORES DE VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO Y DE HUMEDAD RELATIVA.

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en un suelo cultivada			Caso B: Tanque situado en suelo desnudo				
		Baja < 40	Media 40– 70	Alta > 70		Baja < 40	Media 40– 70	Alta > 70
HR media								
Velocidad viento (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del cultivo a barlovento (m)			
Baja <2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
Moderada 2 – 5	1	1	0,5	0,6	1	0,65	0,75	0,8
	10	10	0,6	0,7	10	0,55	0,65	0,7
	100	100	0,65	0,75	100	0,5	0,6	0,65
	1000	1000	0,7	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
Alta 5 – 8	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55
Muy alta >8	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1000	0,55	0,6	0,65	1000	0,35	0,4	0,45

Fuente: FAO, (2006)

## 2. Lisimetria

El contenido en humedad de un suelo medido de forma correcta debería ser una vez se haya drenado el sobrante de forma natural. Con esto conseguimos saber el contenido en agua que queda retenida, y que las plantas van a utilizar en sus procesos. Este contenido en humedad se puede medir fácilmente por un tensiómetro o sonda de humedad que nos puede dar mediciones puntuales en el tiempo con la frecuencia que se estime; sin embargo, el lisímetro es mucho más complejo en los datos que ofrece.

El agua en un suelo sufre cambios y procesos físicos de todo tipo, el lisímetro, gracias a su principio de funcionamiento puede registrar las salidas de agua en el suelo. Como entradas de agua principalmente en una parcela agrícola podemos tener 2; las precipitaciones y el riego. Esto lo medimos fácilmente con pluviómetros, caudalímetros etc. Como salidas de agua figuran el drenaje, la evapotranspiración (si hay cubierta vegetal) y el agua que se queda en el suelo. Con un tensiómetro conseguimos conocer la humedad del suelo en un momento dado que en teoría debe ser cuando el agua de drenaje ya ha pasado. Lo que no es fácil es determinar en qué momento ocurre aquello en el suelo. El lisímetro consigue medir la cantidad que se pierde por evapotranspiración y drenaje, por tanto, también podemos conocer el volumen de agua que queda en el suelo. (Agromatica, 2015)

### **3. Formulas Empíricas FAO**

Según (Vásquez A. et al., 2017) las fórmulas empíricas están consideradas como métodos indirectos y consisten en fórmulas o ecuaciones deducidas por diversos investigadores. Están basadas en la aplicación de variables meteorológicas como factores que afectan la tasa de la evapotranspiración potencial. Además, han sido desarrolladas para zonas con características propias. Las fórmulas o métodos empíricos más conocidos y de mayor aplicación son:

- a. Método de Hargreaves
- b. Método de Penman Modificado
- c. Método de Blaney – Criddle
- d. Método de Radiación
- e. Método de Christiansen
- f. Método de Jensen – Haise

## Q. CULTIVO DE LECHUGA

### 1. Generalidades

#### a. Origen

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque algunos autores afirman que procede de la India. Un seguro antecesor de la lechuga es la especie *Lactuca scariola L.*, que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas siendo las variedades cultivadas actualmente una hibridación entre especies distintas (Mallar, 1978). De acuerdo con InfoAgro (2017), el cultivo de lechuga se remonta a una antigüedad de 2.500 años, habiendo sido conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas fueron conocidas en Europa en el siglo XVI.

#### b. Clasificación botánica

Mallar (1978), propone la siguiente clasificación taxonómica para la lechuga:

**Reino:** Vegetal

**División:** Spermatophyta

**Clase:** Dicotiledónea

**Orden:** Sinandrales

**Familia:** Compositaceae

**Género:** Lactucae

**Especie:** sativa

**Nombre científico:** *Lactuca sativa* .

**Nombre vulgar:** Lechuga



## **2. Morfología**

La lechuga es una planta anual y autógama, perteneciente a la familia Compositae y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* . (InfoAgro, 2017)

### **a. Raíz**

La raíz, que no llega nunca a sobrepasar los 30 cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997; Alzate & Loaiza, 2008)

### **c. Hojas**

Suelen poseer hojas lanceoladas, oblongadas y redondas, con bordes lisos, ondulados, aserrados y dentados. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar. (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997; Alzate & Loaiza, 2008)

### **d. Variedad**

Winter Haven, es una planta de estructura vigorosa. Su cabeza se presenta compacta, grande y uniforme. Además presenta un buen color, y tolerancia al frío. Su altura promedio: 21 cm; diámetro promedio: 19 cm; peso promedio planta: 900 gramos, días para cosecha: 56-62. (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997; Alzate & Loaiza, 2008)

### **e. Tipo de suelo**

Tierra fina y bien preparada. Suelo recomendado de textura franco-arcilloso o franco-arenoso

### **f. Forma de siembra**

En semillero a 0.5 cm de profundidad. Trasplantar en un suelo bien preparado a

Una distancia de 30 x 40cm entre plantas.

**g. Tiempo a la cosecha**

Entre 60 y 90 días después del trasplante.

**S. MANEJO AGRONÓMICO DEL ENSAYO**

**1. Preparación del suelo**

Se realizó dos pases de rastra, y arado a una profundidad de 25 y 30 cm. A la vez se pasó el tiller.

**2. Trazado de la parcela**

Se realizó con la ayuda de estacas y piolas, siguiendo las especificaciones del campo experimental.

**3. Hoyado**

Se procedió a hoyar, siguiendo una matriz específica en cada una de las repeticiones y tratamientos a una profundidad de 0,30 m.

**4. Labores culturales**

**a. Trasplante**

El trasplante se realizó a una distancia de 0,15 m entre plantas y 0,40 m entre hileras.

**b. Fertilización edáfica**

Se realizó la fertilización base con muriato de potasio, colocando los fertilizantes en el interior del hoyo, en base a las necesidades nutricionales del cultivo de lechuga

**c. Riego**

A través del sistema de riego a goteo se dotó de agua al cultivo. Esto se realizó, de acuerdo a los tratamientos establecidos y comportamiento climático. Para tal efecto se determinó las ofertas y demandas del cultivo en tiempo real valiéndonos de la información de la estación meteorológica, lisímetros y formulas empíricas al desarrollo del cultivo.

**d. Control de malezas**

De un inicio se aplicó al suelo herbicida y periódicamente de acuerdo a la emergencia de malezas se realizó de forma manual el deshierbe evitando siempre la competencia con el cultivo.

**e. Controles fitosanitarios**

Se realizó aplicaciones fitosanitarias utilizando productos preventivos (de contacto) o curativas (sistémicos) al haberse evidenciado los primeros síntomas de plagas y enfermedades.

**f. Recolección.**

La madurez está basada en la compactación de la cabeza. Una cabeza compacta es la que requiere de una fuerza manual moderada para ser comprimida, al ocurrir esto, la lechuga es considerada apta para ser cosechada. Las cabezas inmaduras y maduras tienen mucho mejor sabor que las sobremaduras y también tienen menos problemas en post-cosecha. (InfoAgro, 2007)

#### IV. MATERIALES Y MÉTODOS

##### A. AREA DE ESTUDIO

##### B. Ubicación Geográfica<sup>1</sup>

El presente trabajo investigativo se desarrolló dentro de los predios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el Centro Experimental del Riego, localizado en el “Campus Macají”. Provincia de Chimborazo, perteneciente a la Facultad de Recursos Naturales.

#### CUADRO 2. DATOS DE UBICACIÓN Y CONDICIONES DE LA INVESTIGACIÓN

<b>Ubicación geográfica</b>	
Altitud	2.821 m.s.n.m.
Latitud	1°39'18,82" S
Longitud	78°40'39.99"
<b>Condiciones climáticas</b>	
Temperatura Media mensual	13,5 °C
Precipitación Media Anual	510 mm/año
Humedad relativa media mensual	62.06 %

Fuente: Estación Meteorológica, (2017)

1 dato proporcionado por Estación Meteorológica, (2017)

##### C. Clasificación Ecológica

Según Holdrige (1982), la localidad de la ESPOCH se encuentra en el rango de estepa espinosa montano bajo (eeMB).

## **D. MATERIALES**

### **1. Material vegetativo**

Plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*) var Winterhaven.

### **2. Materiales de campo**

Lisímetros de drenaje (tanques plásticos de forma cilíndrica diámetro 0,58 m largo =0,8m volumen =0,26 m<sup>3</sup>), recipientes plásticos de 20 lt, tanque de evaporación tipo A, anemómetro, pluviógrafo, pluviómetro, sistema de riego a goteo no autocompensado (streamline + 16080 1.60l/h 0.15M 2200 m), azadones, fertilizantes, fungicidas, insecticidas, herramientas de labranza, bomba de mochila, balanza, flexómetro, cámara fotográfica, estacas, piola, letreros, etiquetas, fundas, barrenos.

### **3. Material de oficina**

Cuaderno de campo, computador y calculadora.

## **E. MÉTODOS**

### **1. Recolección de datos de la estación meteorológica.**

Se recolectaron datos desde el transplante hasta la cosecha los cuales fueron: velocidad del viento, evaporación, humedad relativa en la estación meteorológica. Información que se utilizó para determinar  $K_p$  en el cálculo de la evapotranspiración de referencia.

### **2. Instalación de lisímetros de drenaje**

Para instalación y operación del lisímetro se consideró los siguientes puntos:

El borde del lisímetro se sobrepasó el nivel del suelo en 5cm para evitar el ingreso de agua superficial por precipitaciones.

Las capas de suelo dentro del lisímetro tuvieron la misma secuencia y resistencia a la rotura que el suelo del exterior del lisímetro determinado mediante la utilización de un presionómetro; simulando así las mismas condiciones edáficas. (León ,2016)

Una vez instalado el lisímetro, se empleó la siguiente relación matemática dada por (Garay, O. 2009) , para determinar el volumen de agua a aplicar dentro del lisímetro. Para la primera reposición de agua de riego al cultivo

$$Va = (Eto \times ND \times Al)c$$

Dónde:

**Va** = Volumen a aplicar

**Eto** = Evapotranspiración de referencia cultivo (mm/día)

**Al** = Area del lisímetro(m<sup>2</sup>)

**c** = Coeficiente de seguridad para efectuar drenaje

Inicialmente para el primer riego se utilizó la ecuación, que considera la Eto de la estación meteorológica, posteriormente fue remplazada por el valor de la Etc determinada por el lisímetro para los posteriores riegos en pasto y cultivo respectivamente.(León , 2017 )

La lectura y registro de drenaje de los lisímetros se realizó en periodos de 24 horas.

### 3. Empleo de fórmulas para determinar evapotranspiración con lisimetria

$$Etc = R - D$$

Dónde:

**Etc** = Evapotranspiración del cultivo mm día

**R** = Agua agregada por riegos o precipitaciones (mm)

**D** =Agua drenada durante el periodo de análisis.

#### 4. Empleo de fórmulas para determinar $K_c$ con lisimetria

$$K_c = E_{tc}/E_{to} \text{ (León, 2017)}$$

Dónde:

$K_c$ = Coeficiente del cultivo (adimensional)

$E_{tc}$  =Evapotranspiración del cultivo (mm día)

$E_{to}$  =Evapotranspiración de referencia (mm día)

#### 5. Empleo de fórmulas para determinar evapotranspiración con el tanque de evaporación

$$E_{to} = E_v * K_p$$

Dónde:

$E_{to}$  = evapotranspiración de cultivo de referencia (mm/día)

$E_v$  = Evaporación acumulada (mm)

$K_p$  = datos climáticos: humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), barlovento.

#### 6. Instalación del riego a goteo.

Se utilizó cinta de goteo no auto compensada (Streamline + 16080 1.60l/h 0.15M 2200 m) en cada lomo se utilizó doble línea de manguera de goteo de acuerdo a la longitud de la parcela para así tener un caudal homogéneo dentro de la parcela y un menor tiempo de riego.

#### 7. Determinación del contenido de humedad inicial del suelo.

Se realizó a través de muestreo de suelo con un barreno a una profundidad de 30 cm en los lomos donde se encontraba transplantada la plántula de lechuga. Este muestreo se realizó al azar en cada uno de los tratamientos. Se consideró en relación a la profundidad radicular que el cultivo de lechuga presenta. Las muestras fueron llevadas a una estufa

para comparar pesos húmedos y secos, para de esta manera poder determinar el contenido de humedad encontrado en cada una de ellas.

### **8. Aplicación de láminas de agua hasta llegar a capacidad de campo en cada tratamiento**

Las láminas de riego que fueron determinadas por cada tratamiento estuvieron dadas a partir de la puesta a capacidad de campo durante todo el ensayo; y se hicieron en base a un muestreo en el área a ser transplanteda la lechuga. Todo esto dependió del clima. La disponibilidad de agua en el suelo fue determinada mediante el siguiente método:

### **9. Riego inicial para llegar a Capacidad de Campo (Método gravimétrico)**

El primer riego se realizó a CC para lo cual se determinó el contenido de humedad con el método volumétrico.

Según (León, 2012) ,se logró determinar el porcentaje de humedad inicial que contiene el suelo, tomando una muestra de cada uno de los tratamientos, a una profundidad de 30 cm aplicando la fórmula citada por:

$$\%H = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100$$

Donde:

**%H** = Porcentaje de humedad por peso

**PSH** = Peso del suelo húmedo

**PSS** = Peso del suelo seco

El peso seco fue obtenido luego de haber colocado la muestra a la estufa a una temperatura constante de 105<sup>0</sup> C por 24 horas.



**CUADRO 3. CONTENIDO DE HUMEDAD EN PORCENTAJE DE ACUERDO AL TIPO DE SUELO**

<b>TEXTURA</b>	<b>CC (%)</b>	<b>PMP (%)</b>	<b>HD (%)</b>
<b>Arenoso</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>7</b>
<b>Franco arenoso</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
<b>Franco</b>	<b>34</b>	<b>12</b>	<b>22</b>
<b>Arcilloso</b>	<b>38</b>	<b>34</b>	<b>14</b>

Fuente: Giardini, (2014)

## **10. Trasplante y aplicación de tratamientos**

Luego de las labores agrícolas correspondientes se procedió al trasplante de las plántulas de lechuga.

El ancho del ensayo como parcela neta fue de 30 m por 30 m de largo, dando una totalidad 900 m<sup>2</sup> con 4514 plantas en ensayo. Se utilizó una densidad de trasplante de 0.15 m entre planta y a 0.40 m entre hilera, con una sola hilera por lomo.

Para la aplicación de tratamientos de láminas y frecuencias de riego en los tratamientos 2 y 3 se realizó cuando el 25% del agua útil se ha consumido, por lo que la unidad de medida fue con el método gravimétrico. Mientras que para el T1 (lisímetro) se realizó cuando termino de drenar.

## **F. MANEJO DE ENSAYO**

### **1. Determinación de etapas fenológicas**

Se determinó las etapas fenológicas en días dependiendo del desarrollo del cultivo en las 4 fases (inicial, desarrollo, intermedia y final), para lo cual se consideró el número de plantas en la parcela neta como se detalla a continuación.

Número de plantas por parcela bruta total    4158

Número de plantas por parcela neta:            1440

## 2. Tratamientos

Los tratamientos aplicados fueron:

El T1 aplicación de la lámina de riego en base a la información del lisímetro de drenaje, cuando deja de drenar el lisímetro.

El T2 aplicación de la lámina de riego en base a la información del tanque de evaporación tipo A, cuando ha consumido el agua útil en el suelo del 25%

El T3 aplicación de la lámina de riego en base a la información utilizando las fórmulas empíricas (FAO), cuando ha cumplido el agua útil en el suelo del 25%.

## G. ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

### a. Especificaciones de la parcela experimental

Número de tratamientos:	3
Número de repeticiones:	3
Número de unidades experimentales:	9
Número de unidades experimentales:	9
Forma del ensayo:	Cuadrada
Ancho total del ensayo:	38 m
Largo total del ensayo:	38 m
Área total del ensayo:	1444 m <sup>2</sup>
Área bruta del ensayo:	900 m <sup>2</sup>
Área neta del ensayo :	576 m <sup>2</sup>
Distancia de trasplante	
Entre plantas	0,15 m
Entre hileras:	0,40 m
Densidad poblacional:	4158 plantas

## **b. Tratamientos**

Ancho de cada parcela bruta:	10 m
Largo de cada parcela bruta:	10 m
Área de cada parcela bruta:	100 m <sup>2</sup>
Número de hileras parcela bruta:	14
Número de plantas por hilera parcela bruta:	33
Ancho de la parcela neta:	6 m
Largo de cada parcela bruta	6 m
Área de cada parcela bruta:	36 m <sup>2</sup>
Numero de hileras parcela neta	8
Número de plantas/parcela neta:	160
Número de plantas a evaluar:	10
Distancia entre parcelas:	2 m
Efecto borde:	2 m

## **H. DISEÑO EXPERIMENTAL**

### **1. Tipo de diseño**

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar (DBCA), con tres tratamientos y tres repeticiones.

### **2. Análisis funcional**

Se realizó pruebas de TUKEY al 5% además el análisis económico beneficio /costo.

### **3. Esquema del análisis de varianza**

El esquema del análisis de varianza fue el siguiente.

**CUADRO 4. ESQUEMA DE ANÁLISIS DE VARIANZA (ADEVA)**

<b>F. de V</b>	<b>Formula</b>	<b>GL</b>
<b>Bloques</b>	b-1	2
<b>Tratamientos</b>	t-1	2
<b>Error</b>	(b-1)(t-1)	4
<b>Total</b>	(t*b)-1	8

Fuente: León, J (2017).

#### **4. VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN**

##### **1. Fenología de la planta**

###### **a. Número de plantas prendidas (fase inicial)**

Del total de plantas de la parcela neta se evaluó el número de plantas prendidas a los 15 días después del trasplante.

###### **b. Días transcurridos desde el trasplante, a la fase de roseta (fase de desarrollo)**

Del total de plantas de la parcela neta se evaluó la formación de la roseta tomada en consideración cuando el 70% de las plantas de parcela neta llegan a este estado fenológico, este parámetro se lo tomo en forma visual.

###### **c. Días transcurridos hasta la formación del repollo (fase intermedia)**

Del total de plantas de la parcela neta se evaluó la formación del repollo tomando en consideración cuando el 70% de las plantas de parcela neta llegan a este estado fenológico, este parámetro se lo tomo en forma visual.

###### **d. Días transcurridos hasta la cosecha (fase final )**

Del total de plantas de la parcela neta se evaluó la formación del repollo tomando en

consideración cuando el 70% de las plantas de parcela neta llegan a este estado fenológico, este parámetro se lo tomo en forma visual.

## **2. Determinación de los parámetros biométricos de la planta**

### **a. Altura de la planta**

De 10 plantas seleccionadas al azar de la parcela neta se evaluó la altura de las plantas en centímetros, a los 20, 35, 50 , 65 días y a la cosecha, respectivamente se procedió a la medición desde la base del cuello de la planta hasta la parte apical , en cada uno de los tratamientos. Las 10 plantas seleccionadas fueron etiquetadas por medio de banderines, numerados y señaladas en su base al trasplante para realizar el registro de datos hasta el final del ciclo del cultivo en la misma planta.

### **b. Diámetro polar y ecuatorial del repollo**

De 10 plantas seleccionadas al azar de la parcela neta se evaluó el diámetro polar y Ecuatorial del repollo en cm. Esta medición se hizo luego de la cosecha para ello se utilizó un calibrador o pie de rey.

### **c. Contenido de clorofila**

De 10 plantas seleccionadas al azar de la parcela neta, a la cosecha se evaluó el contenido de clorofila en la parte apical, media y basal mediante el equipo medidor de clorofila en unidades Spad .

### **d. Contenido relativo de agua (WRC)**

De 10 plantas seleccionadas al azar de la parcela neta a la cosecha se determinó el contenido relativo de agua (WRC) en hojas, para esta evaluación se tomó una submuestra del repollo mediante un saca bocado , los anillos de materia verde se determinó el peso fresco de la submuestra, luego esta se sometio a una inmersión prolongada de 24 horas en

agua destilada, posterior a ello se obtuvo el peso turgente mediante la balanza analítica digital , para determinar el peso seco se colocó la submuestra al horno por 48 Horas a 80 grados centígrados , hasta alcanzar un peso constante y se determinó el peso seco, por lo que después se procedió a aplicar la formula . (Smart y Bingham, 1974)

$$WRC(\%) = \frac{Pf - Ps}{Pt - Ps} * 100$$

Donde:

**Pf**= Peso fresco de la muestra de hojas

**Pt**= Peso turgente de la muestra de hojas

**Ps**= Peso seco de la muestra de hojas

#### e. **Contenido de materia seca en planta y repollo**

De cada uno de los tratamientos se seleccionó una planta entera para determinar la materia seca, se separó raíz , tallo y hojas ,se procedió a determinar el peso fresco de cada órgano de la planta , los pesos dan el total de la planta (PFT), también se determinó el peso fresco de cada órgano (PFM), posteriormente se colocó en una estufa a 100<sup>0</sup> C por 24 horas para obtener el peso seco de la muestra (PSM).Para calcular el peso total se aplicó la formula indicada por .(Bonierbale et al., 2010)

$$PST = \frac{(PFT * PSM)}{PFM} \times 100$$

Dónde:

**PST** = Peso seco total

**PFT** = Peso fresco total

**PSM** = Peso seco de la muestra

**PFM** = Peso fresco de la muestra

Para la valoración de la materia seca de la planta entera, se aplicó la ecuación citada por Bonierbale et al. (2010).

$$\%Materia\ Seca = \frac{Peso\ materia\ seca}{Peso\ materia\ húmeda} \times 100$$

**f. Peso del repollo a la cosecha**

De 10 plantas seleccionadas al azar de la parcela neta, se pesaron los repollos, de cada tratamiento y repetición, mediante una balanza analítica digital estos valores fueron expresados en gr.

**g. Rendimiento repollo/parcela neta en kg**

Los repollos pesados en cada parcela se expresaron en kg/parcela.

**h. Rendimiento en kg/ha**

El peso en kg del repollo que conformo la parcela neta se consideró para relacionarlos en kg/Ha para cada tratamiento.

**i. Huella Hídrica**

Para determinar este parámetro se contabilizo los volúmenes de agua de riego aplicados en cada uno de los tratamientos durante el ciclo de transplante a cosecha sumado la precipitación efectiva, dicho volumen aplicado se correlaciono con los rendimientos expresados en lts/kg para cada uno de los tratamientos .

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### A. IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CICLO DEL CULTIVO.

Durante el ciclo de cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa.*) var. **Winterhaven** se determinaron cuatro estados fenológicos: prendimiento (fase inicial), roseta (fase de desarrollo), formación de la cabeza (fase intermedia) , cosecha (fase final). En cada etapa se evidenciaron cambios en cada una de las variables estudiadas desde el momento del trasplante hasta la cosecha.

Las etapas fenológicas del ciclo del cultivo de la lechuga fueron identificadas, mediante una visualización directa al cultivo en estudio, en base al desarrollo y crecimiento del mismo.

#### 1. Etapa inicial (plantas prendidas)

Esta etapa se inició desde el día del trasplante hasta cuando el 30% de las plantas de la parcela neta emitieron nuevas hojas, teniendo esta etapa una duración de 15 días en los tres tratamientos. Tal como se expresan en el Cuadro 5.

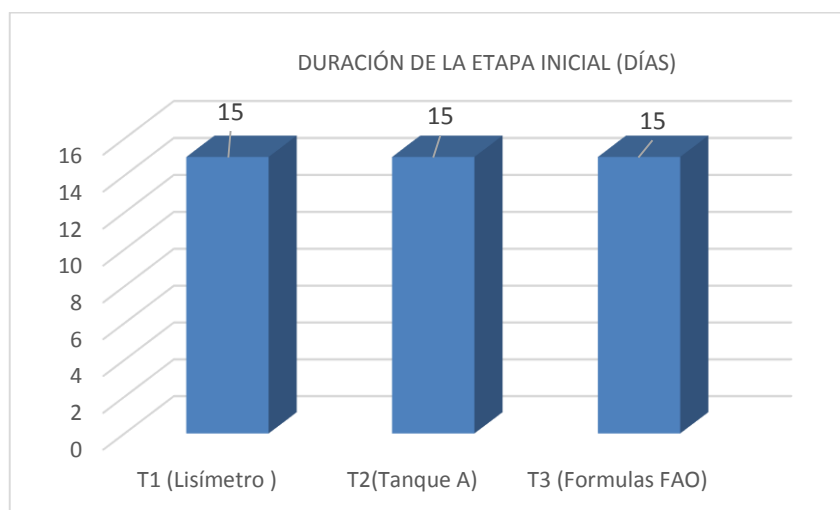
**CUADRO 5. DURACIÓN DE LA ETAPA INICIAL DEL CULTIVO DE LECHUGA**

<b>Tratamientos</b>	<b>Duración de la etapa (días)</b>
T1 (Lisímetro )	15
T2(Tanque A)	15
T3 (Formulas FAO)	15

Fuente: León, J (2017)



En el cuadro 5 y en la figura 2 podemos apreciar la primera etapa del ciclo del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var Winterhaven tuvo una duración de 15 DDT para los tres tratamientos, resultados que se acercan a lo señalado por Galván, *et al*, (2008) donde se manifiesta que la etapa inicial tiene una duración de 15 días. En esta investigación en la que no existió diferencias entre tratamientos en estudio.



**Figura 2. Duración de la etapa inicial del cultivo de lechuga**

## 2. Etapa de desarrollo (fase de roseta)

La etapa de desarrollo empieza al culminar la etapa inicial, y se llevó a cabo hasta que el 30% de la de plantas de la parcela neta iniciaron a formar roseta. Tal como se expresan en el Cuadro 6

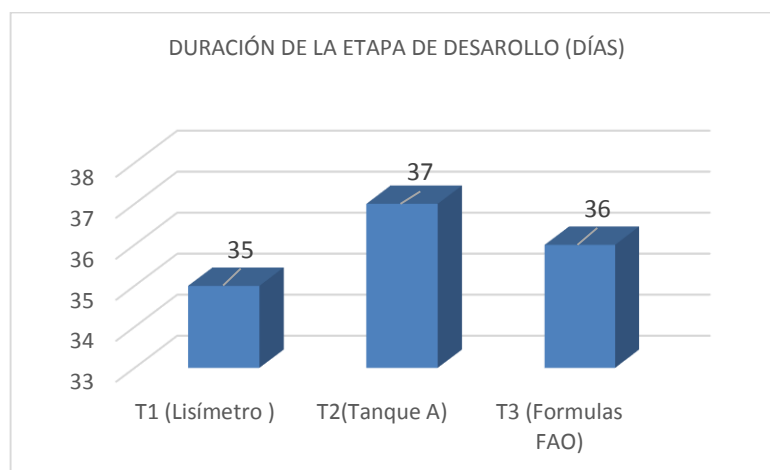
**CUADRO 6. DURACIÓN DE LA ETAPA DE DESARROLLO DE LECHUGA.**

Tratamientos	Duración de la etapa (días)
T1 (Lisímetro )	<b>35</b>
T2(Tanque A)	<b>37</b>
T3 (Formulas FAO)	<b>36</b>

Fuente: León, J (2017)

En el Cuadro 6, y en la Figura 3 se puede apreciar que la segunda etapa (desarrollo) del ciclo del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var Winterhaven tuvo una duración de T1 (35), T2 (37), T3(36) días respectivamente, resultados que se acercan con lo expuesto por Galván, *et al*, (2008), donde se menciona que la etapa de desarrollo tiene una duración aproximada de 30 días, los parámetros edafoclimáticos de la zona en estudio pudieron ser los causantes de la posible diferencia existente con la presente investigación.

Existe muy poca diferencia entre cada uno de los tratamientos debido a que en esta etapa del cultivo todavía existe mayor evaporación que en el proceso de transpiración. Esto pudo darse debido a que el follaje del cultivo durante los primeros días, no cubre la superficie total del suelo.



**Figura 3. Duración de la etapa de desarrollo en lechuga**

### 3. Etapa intermedia (formación del repollo)

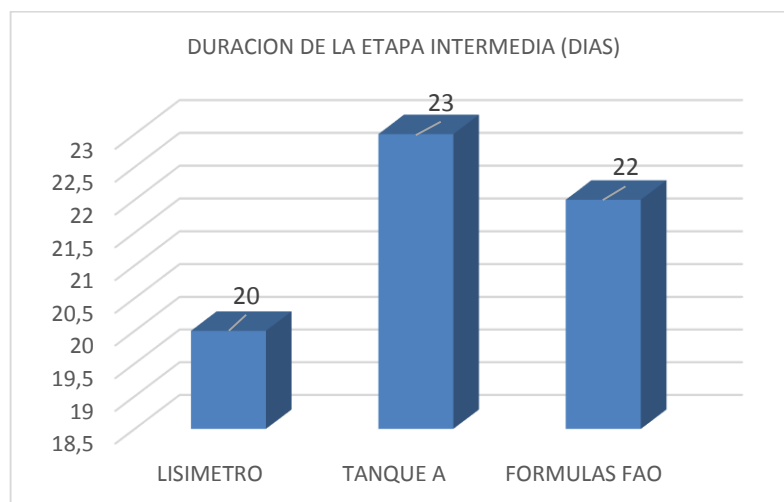
Se produjo una vez culminada la etapa de desarrollo, hasta cuando el 30% de las plantas de la parcela neta comenzaron a formar su repollo. Tal como se expresa en el Cuadro 3.

**CUADRO 7. DURACIÓN DE LA ETAPA INTERMEDIA DE LECHUGA**

Tratamientos	Duración de la etapa (días)
T1 (Lisímetro )	20
T2(Tanque A)	23
T3 (Formulas FAO)	22

Fuente: León, J (2017)

Como se puede ver en la Cuadro 7, y en la Figura 4, la etapa intermedia del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven tuvo una duración en T1 (20), T2 (23), T3 (22) días respectivamente. Galván, et al, (2008) indica que esta etapa del cultivo tiene una duración de 21 días. Las hojas son más anchas que largas y curvadas por el eje de la nervadura central en posición erecta, como consecuencia de tal posición, las nuevas hojas quedan envueltas por las hojas formadas anteriormente. Este proceso dura de 2 a 3 semanas. Los resultados de la presente investigación concuerdan con lo propuesto por Galván, et al, (2008), ya que en promedio el tiempo fue de 21 días.



**Figura 4. Duración de la etapa intermedia en lechuga**

#### 4. Etapa final (a la cosecha)

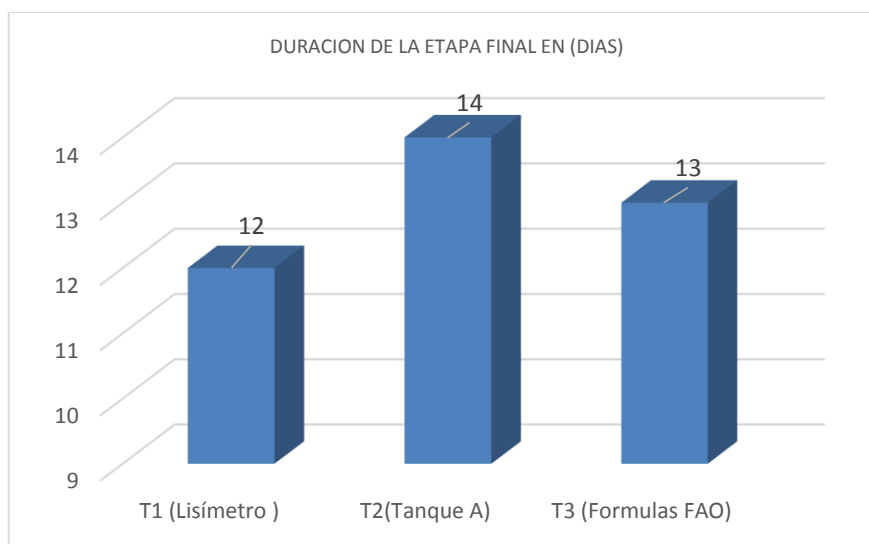
Esta etapa inició cuando culminó la etapa intermedia, hasta cuando las plantas de la parcela neta presentaron el 75% del repollo, tal como se expresa en el Cuadro 8.

**CUADRO 8. DURACIÓN DE LA ETAPA FINAL DE LECHUGA**

Tratamientos	Duración de la etapa (días)
T1 (Lisímetro )	12
T2(Tanque A)	14
T3 (Formulas FAO)	13

Fuente: León, J (2017)

En el Cuadro 8, y Figura 5 se observa la etapa final del ciclo del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa.*) var .Winterhaven, el cual tuvo una duración para T1, T2,T3 con 12,14,13 días respectivamente, lo que corrobora por la FAO (2006), donde además se afirma que el clima, la genética y el manejo de la planta presentan una incidencia directa en la duración de las etapas fenológicas del cultivo.



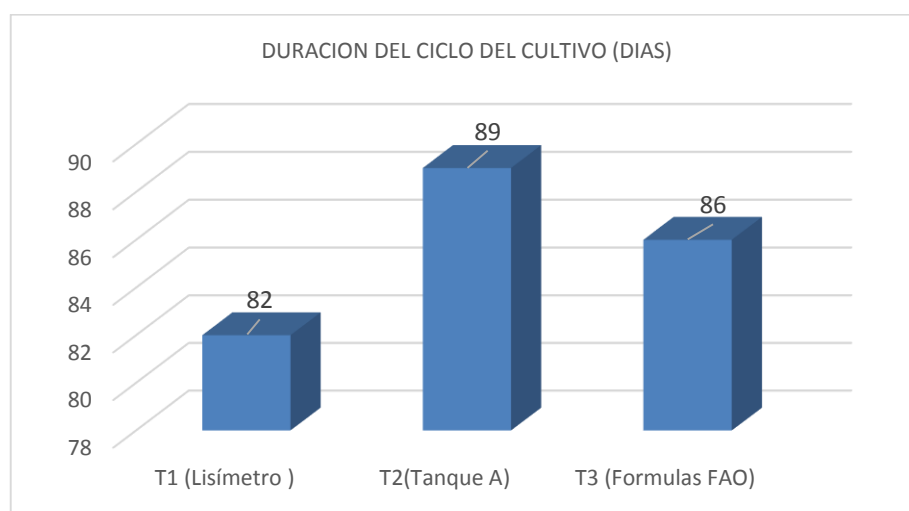
**Figura 5. Duración de la etapa final en el ciclo de lechuga**

## 5. Duración total del ciclo del cultivo

**CUADRO 9. DURACIÓN DEL CICLO DE LECHUGA**

Tratamientos	Duración del ciclo (días)
T1 (lisímetro )	82
T2(Tanque A)	89
T3 (formulas FAO)	86

Fuente: León, J (2017)



**Figura 6. Duración del ciclo total de la lechuga**

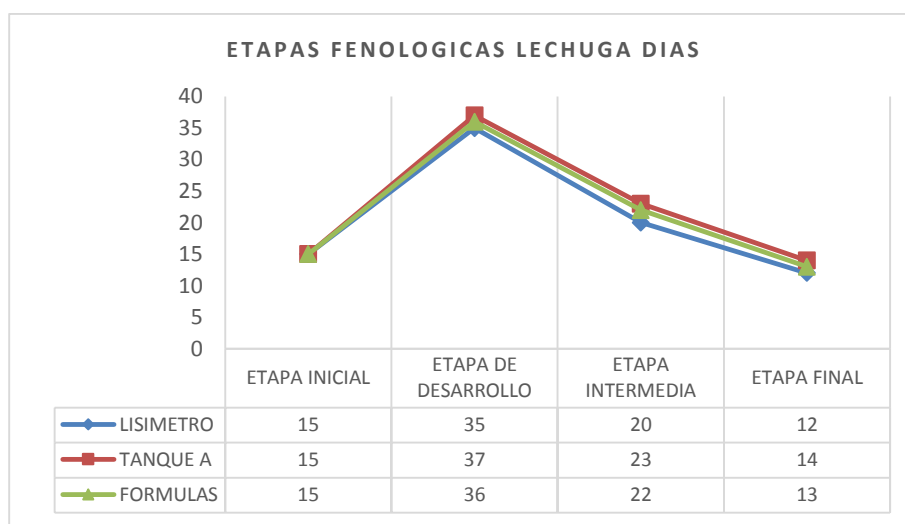
En el Cuadro 9, Figura 6 se puede observar el ciclo total del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven, para el Tratamiento 1 de 82 DDT, para el tratamiento 2 de 89 DDT y para el Tratamiento 3 de 86 DDT.

## 6. Etapas fenológicas del cultivo de lechuga.

**CUADRO 10. DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLOGICAS DEL CULTIVO DE LECHUGA EN LOS TRATAMIENTOS**

TRATAMIENTOS	ETAPA INICIAL	ETAPA DE DESARROLLO	ETAPA INTERMEDIA	ETAPA FINAL	TOTAL
LISIMETROS	15	35	20	12	82
TANQUE TIPO A	15	37	23	14	89
FORMULAS (FAO)	15	36	22	13	86

Fuente: León, J (2017)



**Figura 7. Etapas fenológicas de la lechuga en cada uno de sus tratamientos**

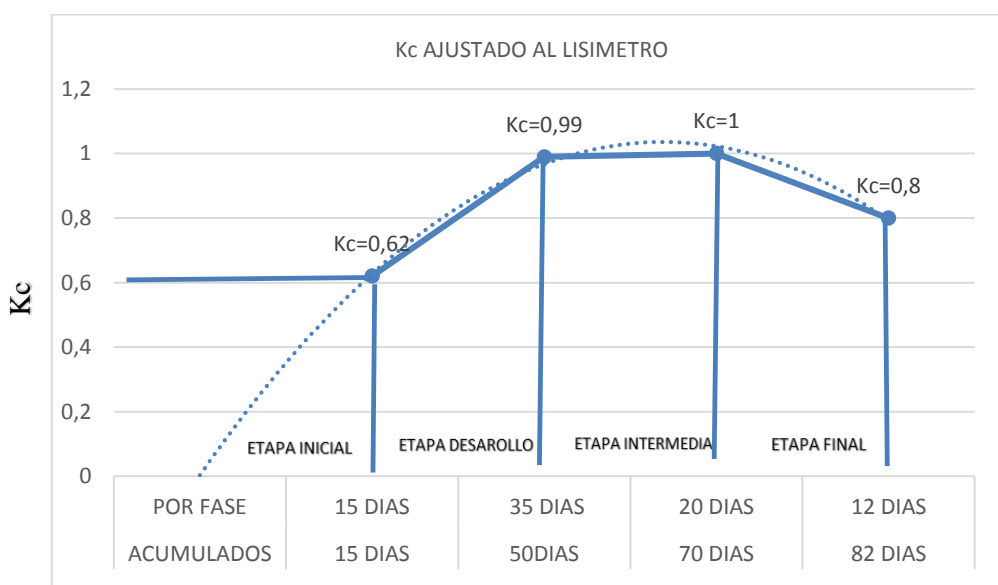
En el cuadro 10 y figura 7 se presentan las etapas fenológicas del cultivo de lechuga el cual en el tratamiento 1 nos indica que para la etapa inicial, la etapa de desarrollo, intermedia y final ocurrió a los 15, 35, 20 y 12 días respectivamente, mientras que para el tratamiento con el tanque clase A en la etapa inicial, desarrollo, intermedia y final fue a los 15, 37, 23, 14 días respectivamente. En el tratamiento designado para la formulas de la FAO en la etapa inicial presento 15, desarrollo 36, intermedia 22 y en la final 13 días respectivamente.

Para cumplir con uno de los objetivos de la presente investigación se tomó información de la fenología del cultivo para poder determinar las cuatro fases que propone la FAO. Como resultado final se obtuvo la curva de crecimiento y desarrollo en la cual pudimos identificar las cuatro fases del cultivo de lechuga.

La información obtenida permitió aseverar que el número de días varía entre cada etapa dentro de cada uno de los tratamientos en estudio. Dicha variación, se da explícitamente debido a que fueron aplicadas diferentes láminas de riego en cada uno de los tratamientos en el ensayo.

## B. COEFICIENTE DEL CULTIVO ( $K_c$ ) AJUSTADO PARA LA LECHUGA.

### 1. Coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) ajustado para lechuga, mediante lisimetría.



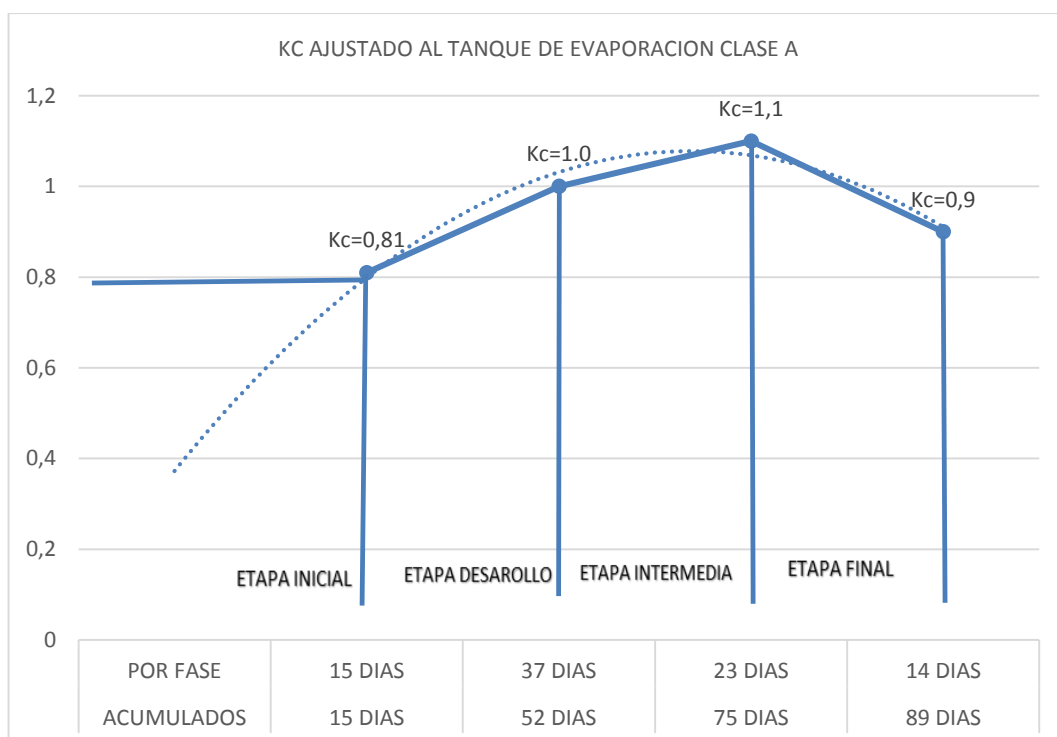
**Figura 8. Coeficiente del cultivo ( $k_c$ ) mediante el método de lisimetría.**

Fuente: León, J (2017)

En la figura 8 podemos observar un modelo polinómico del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) ajustado para cada una de las etapas fenológicas del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven determinada por el método de lisimetría. Los valores que se obtuvieron fueron; iniciales=0.62 esta tuvo una duración de 15 días, desarrollo=0.99 con una duración de 35 días, intermedio=1 con una duración de 20 días, y final=0.8 durando 20

días, el total de días del ciclo de cultivo en este tratamiento fue de 82 DDT en este tratamiento se utilizó una lámina de 440.83 mm durante todo el ciclo.

## 2. Coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para lechuga, mediante tanque de evaporación tipo A.



**Figura 9. Coeficiente del cultivo (Kc) mediante el método del tanque clase a.**

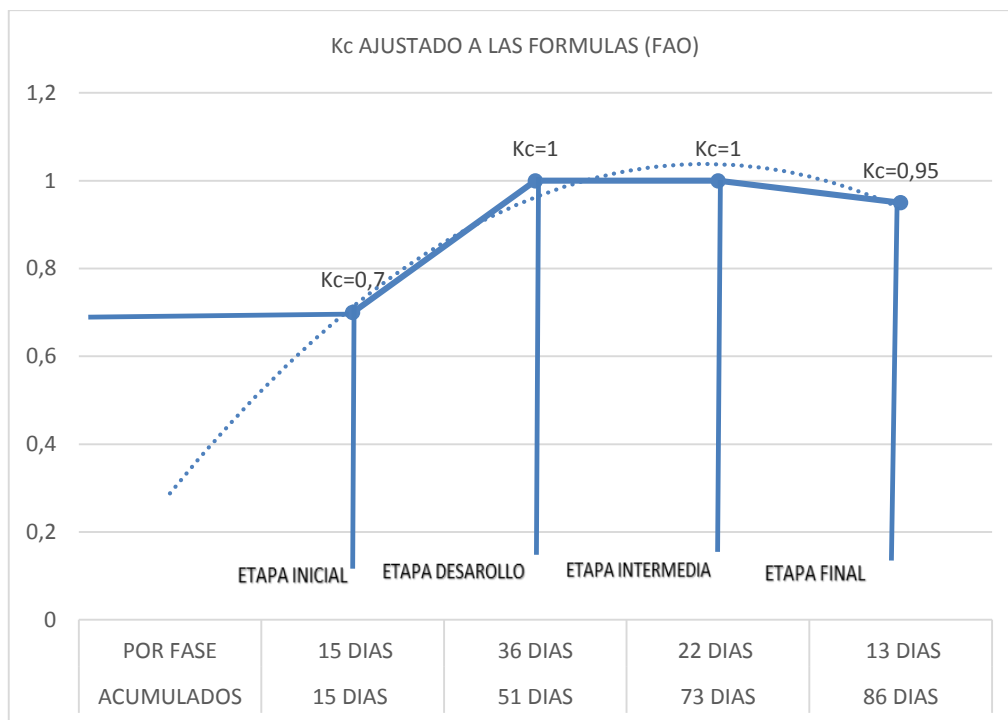
**Fuente:** León, J (2017).

Se puede observar en la Figura 9 aplicado el modelo polinómico del coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para el cultivo de lechuga determinada por el método de tanque de evaporación con un abatimiento de la humedad del suelo del 25%, se puede apreciar el coeficiente del cultivo (Kc) ajustado, por etapa fenológica del ciclo del cultivo, así los valores de Kc obtenidos para la etapa inicial , etapa de desarrollo , etapa media y en la etapa final de 0.81,1.0,1.1,0.9 lo que refiere al desarrollo del cultivo tuvo una duración de 15,37,23 y 14 días respectivamente, concluyendo el ciclo del cultivo una duración total de 89 DDT, en la que se aplicó una lámina de 453.90 mm durante todo el ciclo .



Ekanayake (1994), indica que la evapotranspiración potencial del cultivo ( $E_{tp}$ ) se puede medir empleando el tanque de evapotranspiración clase “A”, en el que se anotan periódicamente las diferencias de nivel de agua.

### 3. Coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) ajustado para lechuga, mediante fórmulas FAO.

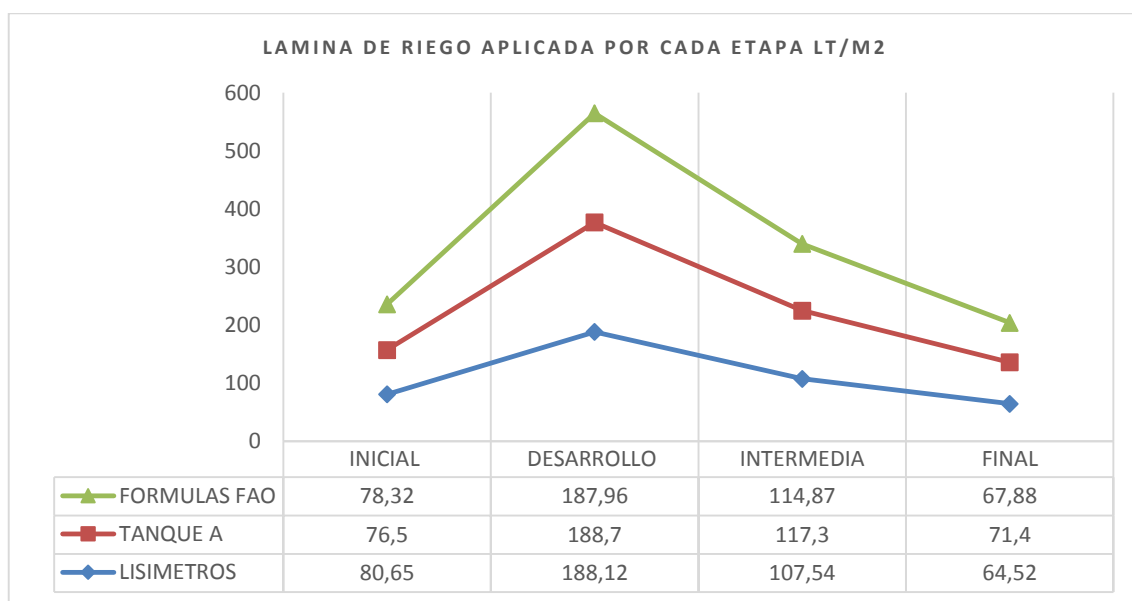


**Figura 10. Coeficiente del cultivo ( $k_c$ ) mediante fórmulas fao**

Fuente: León, J (2017).

Se puede observar en la Figura 10 en la cual está aplicado un modelo polinómico del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) ajustado para el cultivo de lechuga determinada por el método de las fórmulas empíricas (FAO) con un abatimiento de la humedad del suelo del 25%, se puede apreciar el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) ajustado, por etapa fenológica del ciclo del cultivo, así los valores de  $K_c$  obtenidos para la etapa inicial fue de 0,7 con una duración de 15 días, etapa de desarrollo de 1,0 con una duración de 36 días en la etapa intermedia 1,0 y una duración de 22 días y de 0,95 y en la etapa final con una duración de 13 días respectivamente, concluyendo el ciclo del cultivo alcanzó de 86 DDT, en la que se aplicó una lámina de 449,03 mm.

#### 4. Volumen de Agua aplicado para cada etapa para el cultivo de lechuga



**Figura 11. Volumen de agua aplicado por fase lts/m<sup>2</sup> en lechuga**

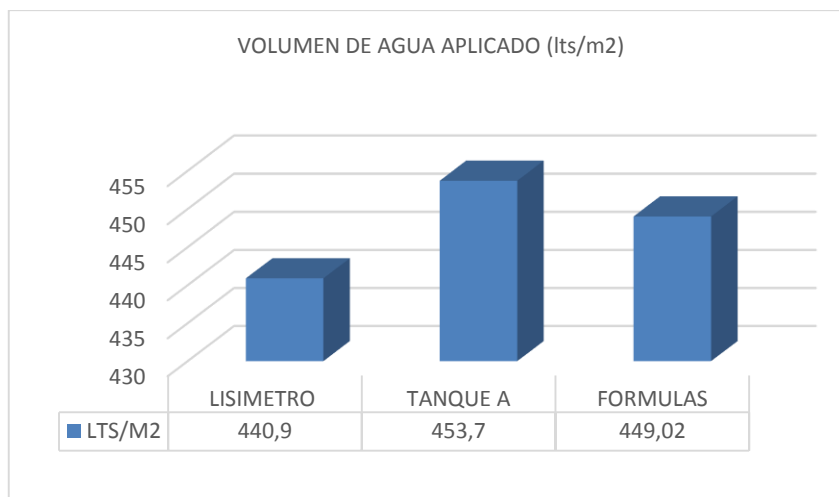
Fuente: León, J (2017)

En la figura 11 se puede evidenciar el volumen de agua aplicado en lts/m<sup>2</sup> en el cual en el T1 (lisímetros) en la etapa inicial se dotó de 78.32 lts/ m<sup>2</sup> en la etapa de desarrollo de 187.96 , en la etapa intermedia de 114.87 y en la final de 67.88 lts/ m<sup>2</sup> respectivamente , Así mismo para el tanque de evaporación en la etapa inicial se aplicó 76.5 ,en la etapa de desarrollo 188.7 en la etapa intermedia 117.3 y final de 71.4 lts/ m<sup>2</sup> respectivamente . Mientras que en las formulas de la FAO en la etapa inicial se aplicó 78.32 , en la etapa de desarrollo 187.96 ,etapa intermedia 114.87 y etapa final 67.88 lts/ m<sup>2</sup> respectivamente .

**CUADRO 11. VOLUMEN TOTAL DE AGUA APLICADA (LTS/ M<sup>2</sup>) EN LECHUGA**

Tratamientos	Volumen de agua aplicado (lts/ m <sup>2</sup> )	Abatimiento de la humedad aprovechable del suelo (%)
T1 (Lisímetro )	440.9	Cuando termino de drenar el lisímetro
T2(Tanque A)	453.7	25
T3 (Formulas FAO)	449.02	25

Fuente: León, J (2017)



**Figura 12. Volumen de agua aplicado (lts/m<sup>2</sup>) en lechuga**

**Fuente:** León, J (2017)

Los resultados que se pueden observar en el Cuadro 11, y Figura 12 indican las diferentes láminas de agua aplicadas en el ciclo total del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var Winterhaven. Para T1 (lisímetros) una lámina total de 440.9 mm, T2 (tanque de evaporación clase A) de 453.7 mm, mientras que el T3 (fórmulas) de 449.02 mm, Analizando la figura 9, concluimos que la mayor lámina de agua aplicado en la presente investigación fue para el Tratamiento 2 una lámina de 453.7 mm; mientras que la lámina menor fue aplicada en el Tratamiento 1, y fue de 440.9 mm

La lechuga es un cultivo de ciclo muy corto, así que una heterogeneidad en el desarrollo de las plantas por déficit de riego al inicio del cultivo será difícil de corregir más adelante. Al inicio las plántulas exploran solo un pequeño volumen de suelo; por esta razón, se requiere un sistema de riego con mucha uniformidad, buen cubrimiento y caudal adecuado. (Cooman, 2000)

Esta afirmación nos demuestra que en el T1, habiendo utilizado los lisímetros se repuso de manera real la cantidad de agua, ya que se pudo evidenciar en mm cuánta agua absorvió el cultivo y el agua restante fue drenada. En el T2, habiendo utilizado el tanque A, se dotó de mucho más las láminas de riego debido a que en esta se consideró la evapotranspiración obtenida por los datos de la estación meteorológica ESPOCH. Para el T3 que trabajó con fórmulas empíricas, se aplicó menos lámina y frecuencia de riego que para T2.

## C. EVALUACION DE PARAMETROS BIOMETRICOS

### 1. Porcentaje de prendimiento a los 15 DDT.

En el análisis de varianza para prendimiento a los 15 DDT (Cuadro 12), no se evidencia diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 99.82 % y el coeficiente de variación fue de 0,15%.

**CUADRO 12. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PORCENTAJE DE PRENDIMIENTO**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	0,16	0,08	3,44	0,1353	ns
<b>Repeticiones</b>	2	0,17	0,08	3,49	0,1326	ns
<b>Error</b>	4	0,09	0,02			
<b>Total</b>	8	0,42				
<b>C.V.</b>	0,15					

Fuente: León, J (2017)

ns: No significativo

## D. ALTURA DE LA PLANTA.

### 1. Altura de la planta a los 20 DDT.

En el análisis de varianza para la altura de la planta a los 20 DDT (Cuadro 13), no presento diferencias estadísticas significativas para tratamientos. El promedio general de alturas fue de 4.15 cm, y se obtuvo un coeficiente de variación de 2,85%.

**CUADRO 13. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 20 DDT.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	0,05	0,03	1,91	0,2618	ns
<b>Repeticiones</b>	2	0,01	3E-03	0,24	0,7977	ns
<b>Error</b>	4	0,06	0,01			
<b>Total</b>	8	0,12				
<b>C.V.</b>	2,85					

Fuente: León, J (2017)

ns: No significativo

## 2. Altura de la planta a los 35 DDT.

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 35 DDT (Cuadro 14), presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamiento y mientras que para repeticiones fue no significativo. El promedio de altura fue de 5.47 cm y el coeficiente de variación 4.60%.

**CUADRO 14. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 35 DDT.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	4,97	2,49	39,11	0,0024	**
<b>Repeticiones</b>	2	0,21	0,10	1,64	0,3016	Ns
<b>Error</b>	4	0,25	0,06			
<b>Total</b>	8	5,43				
<b>Cv</b>	4,60					

Fuente: León, J (2017)

\*\* Altamente Significativo

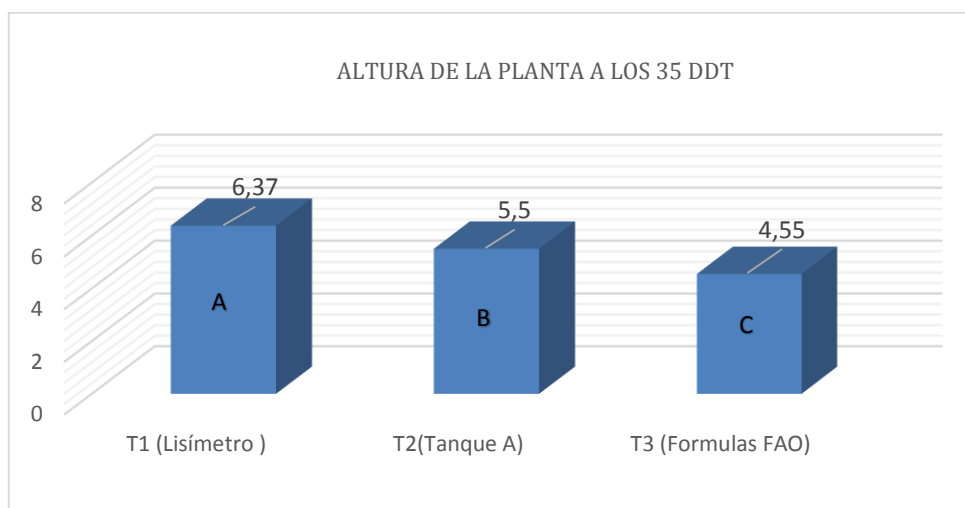
ns: No significativo

La prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 35 DDT (Cuadro 15) ,se encontró 3 rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 5,50 cm, y en el rango “C” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 6,37 cm.

**CUADRO 15. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LOS 35 DDT**

Tratamientos	Medias (cm)	Rango
T2 (Tanque A)	5,50	A
T3 (Formulas FAO)	4,55	B
T1 (Lisímetros)	6,37	C

Fuente: León, J (2017)



**Figura 13. Altura de la planta a los 35 DDT**

Fuente: León, J (2017)

### 3. Altura de la planta a los 50 DDT.

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 50 DDT (Cuadro 16), presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos mientras que para las repeticiones fue no significancia. El promedio general de altura a esta fecha fue de 11.91 cm y el coeficiente de variación de 1.11%.

**CUADRO 16.** ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 50 DDT.

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	13,64	6,82	392,81	0,0001	**
<b>Repeticiones</b>	2	0,24	0,12	6,94	0,0501	ns
<b>Error</b>	4	0,07	0,02			
<b>Total</b>	8	13,95				
<b>Cv</b>	1,11					

Fuente: León, J (2017)

\*\* Significativo

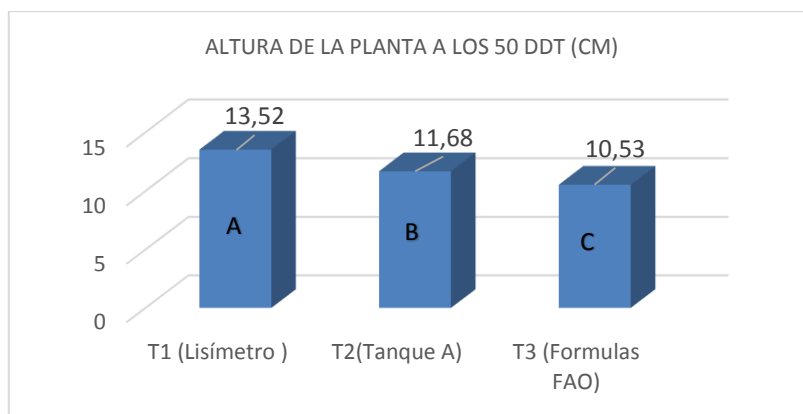
ns: No significativo

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 50 DDT (Cuadro 17) se presentan tres rangos; en el rango “A” con la mayor altura se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 13,52 cm, y en el rango “C” con una menor altura se ubicó el tratamiento 3 con una media de 10,53 cm.

**CUADRO 17.** PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LOS 50 DDT

Tratamientos	Medias (cm)	Rango
T1(Lisímetro)	13,52	A
T2 (Tanque A)	11,68	B
T3 (Formulas)	10,53	C

Fuente: León, J (2017)



**Figura 14.** Altura de la planta de lechuga a los 50 DDT

Fuente: León, J (2017)

#### 4. Altura de la planta a los 65 DDT.

En el análisis de varianza para la altura de la planta a los 65 DDT (Cuadro 18), Presenta diferencias altamente significativas entre los tratamiento, para repeticiones no existe diferencias significativas. El promedio general para la altura fue de 16.42 cm y un coeficiente de variación de 1.51%.

**CUADRO 18.** ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LOS 65 DDT.

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	3,88	1.94	31,47	0,0036	**
<b>Repeticiones</b>	2	0.01	0,005	0,08	0,0925	ns
<b>Error</b>	4	0.25	0,06			
<b>Total</b>	8	4,14				
<b>Cv</b>	1.51					

Fuente: León, J (2017)

\*\* Significativo

ns: No significativo

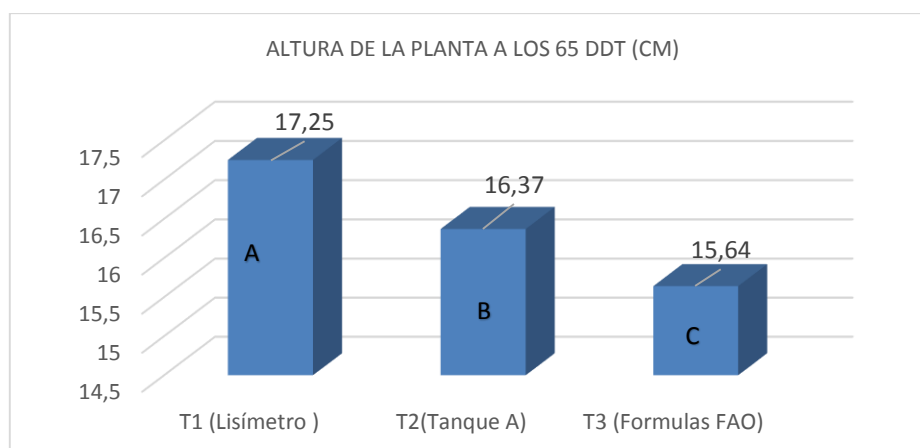
En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a los 65 DDT (Cuadro 19) , presenta tres rangos; en el rango “A” se ubica el Tratamiento 1(Lisímetros) con una media de 17,25 cm, y en el rango “C” se ubica el Tratamiento 3 (formulas empíricas) con una media de 15.64 cm.

**CUADRO 19.** PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LOS 65 DDT

Tratamientos	Medias (cm)	Rango
T1(lisímetro)	17,25	A
T2 (tanque A)	16,37	B
T3 (formulas)	15,64	C

Fuente: León, J (2017)





**Figura 15. Altura de la planta a los 65 DDT en lechuga**

Fuente: León, J (2017)

## 5. Altura de la planta a la cosecha

En el análisis de varianza para la altura de la planta a la cosecha (Cuadro20), se evidencian diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos. El promedio general fue de 18.58 cm y un coeficiente de variación de 1.24%.

**CUADRO 20. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE LA PLANTA A LA COSECHA.**

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	4.18	2,09	39,12	0,0024	**
<b>Repeticiones</b>	2	0.03	0,02	0,30	0,7560	ns
<b>Error</b>	4	0.21	0,05			
<b>Total</b>	8	4,43				
<b>C.V.</b>	1,24					

Fuente: León, J. 2018

\* Significativo

ns: No significativo

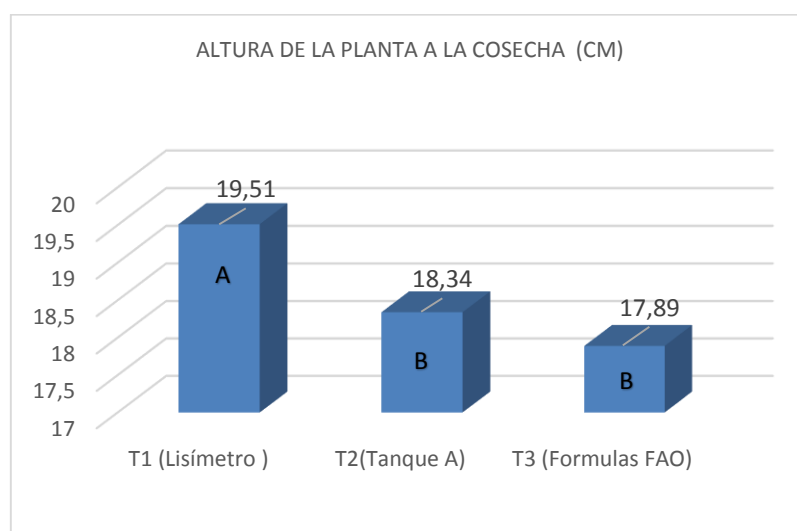
La prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a la cosecha (Cuadro 21 ) presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1, con una media de 19,51 cm, en el rango “B” se ubicaron los Tratamientos 2 con una media de 18,34 cm y en el Tratamiento

3 con una media de 17,89 cm .

**CUADRO 21. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA ALTURA E PLANTA A LA COSECHA**

Tratamientos	Medias (cm)	Rango
T1(lisímetro)	19,51	A
T2 (tanque A)	18,34	B
T3 (formulas)	17,89	B

Fuente: León, J. 2018



**Figura 16. Altura de la planta de lechuga a la cosecha**

## E. CONTENIDO DE CLOROFILA

### 1. Contenido de clorofila apical

En el análisis de varianza para el contenido de clorofila apical (Cuadro 22), no se presentan diferencias estadísticas significativas para los tratamientos pero si presentan en las repeticiones diferencias altamente significativas. El promedio general fue de 56.88 spad y un coeficiente de variación de 9,40%.

**CUADRO 22. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE CLOROFILA (SPAD) APICAL**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	69,63	34,81	1,22	0,3866	ns
<b>Repeticiones</b>	2	3687,03	1843,51	64,22	0,0009	**
<b>Error</b>	4	114,46	28,61			
<b>Total</b>	8	3871,11				
<b>C.V.</b>	9,40					

Fuente: León, J (2017)

ns: No significativo

\*\* : Altamente significativo

## 2. Contenido de clorofila media

En el análisis de varianza para el contenido de clorofila (Cuadro 23), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos ni repeticiones. El promedio general en fue de 41.48 spad y un coeficiente de variación de 11,08 %.

**CUADRO 23. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE CLOROFILA (SPAD) MEDIA**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	32,16	16,08	0,76	0,5249	ns
<b>Repeticiones</b>	2	48,02	24,01	1,14	0,4069	ns
<b>Error</b>	4	84,58	21,14			
<b>Total</b>	8	164,76				
<b>Cv</b>	11,08					

ns: No significativo

### 3. Contenido de clorofila basal

En el análisis de varianza para el contenido de clorofila basal (Cuadro 24), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 43.62 spad y un coeficiente de variación de 8,38 %.

**CUADRO 24. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE CLOROFILA (SPAD) BASAL**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	12,87	6,43	0,48	0,6499	<b>ns</b>
<b>Repeticiones</b>	2	7,98	3,99	0,30	0,7574	<b>ns</b>
<b>Error</b>	4	53,50	13,38			
<b>Total</b>	8	74,35				
<b>C.V.</b>	8,38					

Fuente: León, J (2017)

**ns:** No significativo

## **F. CONTENIDO RELATIVO DE AGUA EN HOJAS (WRC)**

### 1. WRC de hojas

En el análisis de varianza para el contenido relativo de agua en hojas a los 89 DDT, (Cuadro 25), no se evidencian diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 85.12% y un coeficiente de variación de 11,23%.

**CUADRO 25. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (%),**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	163,28	81,64	0,89	0,4778	ns
<b>Repeticiones</b>	2	8,60	4,30	0,05	0,9546	ns
<b>Error</b>	4	365,55	91,39			
<b>Total</b>	8	537,43				
<b>cv</b>	11,23					

Fuente: León, J (2017)

ns: **No significativo**

## **G. DIÁMETRO DEL REPOLLO**

### **1. Diámetro polar**

El análisis de varianza para el diámetro polar (Cuadro 26), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos mientras que para las repeticiones fue no significativo. El promedio general fue de 99.64 mm y un coeficiente de variación de 3,55 %.

**CUADRO 26. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO POLAR (MM) A LA COSECHA.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	554,72	277,36	22,15	0,0069	**
<b>Repeticiones</b>	2	19,06	9,53	0,76	0,5246	ns
<b>Error</b>	4	50,08	12,52			
<b>Total</b>	8	623,86				
<b>cv</b>	3,55					

Fuente: León, J (2017)

\* Significativo

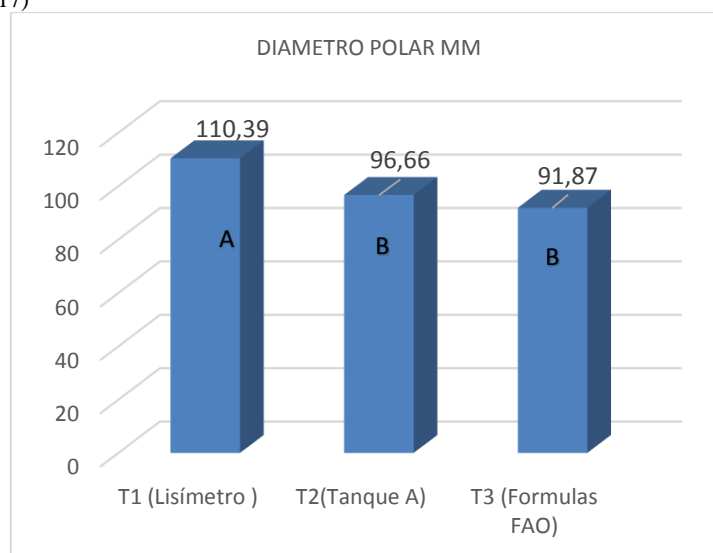
ns: No significativo

La prueba de Tukey al 5% para el diámetro polar (Cuadro 27, y Figura 17) presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 110,39 mm, mientras que en el rango “B” se ubicó el tratamiento 2 con una media de 96,66 mm y tratamiento 3 con una media de 91,87 mm.

**CUADRO 27. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL DIÁMETRO POLAR A LA COSECHA**

Tratamientos	Medias (mm)	Rango
T1(lisímetro)	110,39	A
T2 (tanque A)	96,66	B
T3 (formulas)	91,87	B

Fuente: León, J (2017)



**Figura 17. Diámetro polar del repollo en lechuga.**

Fuente: León, J (2017)

## 2. Diámetro ecuatorial

El análisis de varianza para el diámetro ecuatorial (Cuadro 28), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 105.31 mm y un coeficiente de variación de 2,42%.

**CUADRO 28.** ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DIÁMETRO ECUATORIAL (MM) A LA COSECHA.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	510,36	255,18	39,44	0,0023	**
<b>Repeticiones</b>	2	11,80	5,90	0,91	0,4718	ns
<b>Error</b>	4	25,88	6,47			
<b>Total</b>	8	548,04				
<b>cv</b>	2,42					

Fuente: León, J (2017)

\*\* altamente Significativo

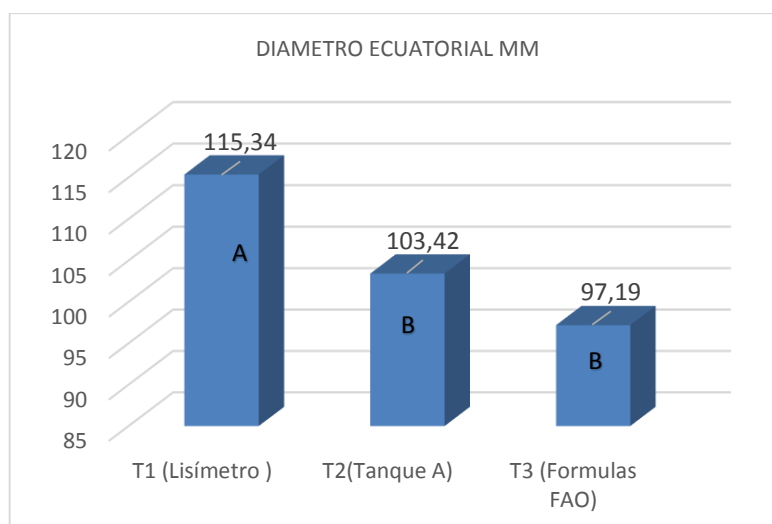
ns: No significativo

La prueba de Tukey al 5% para el diámetro ecuatorial (Cuadro 29, Figura 18 ); presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 115,34 mm, mientras que en el rango “B” se ubicaron los Tratamientos 2 con una media de 103,42 mm y el Tratamiento 3 con una media de 97,19 m m

**CUADRO 29.** PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL DIÁMETRO ECUATORIAL A LA COSECHA.

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias (mm)</b>	<b>Rango</b>
T1(lisímetro)	115,34	A
T2 (tanque A)	103,42	B
T3 (formulas)	97,19	B

Fuente: León, J (2017)



**Figura 18. Diámetro ecuatorial del repollo en el cultivo de lechuga.**

Fuente: León, J (2017)

## H. RENDIMIENTO

### 1. Peso de planta cosecha (g)

El análisis de varianza para el peso total de la planta a la cosecha (Cuadro 30), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 668 g y su coeficiente de variación de 8,65%.

**CUADRO 30. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS (G) A LA COSECHA**

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	119519,87	59759,93	17,88	0,0101	*
Repeticiones	2	315,88	157,94	0,05	0,9544	ns
Error	4	13366,82	3341,70			
Total	8	133202,56				
cv	8,65					

Fuente: León, J (2017)

\* Significativo

ns: No significativo

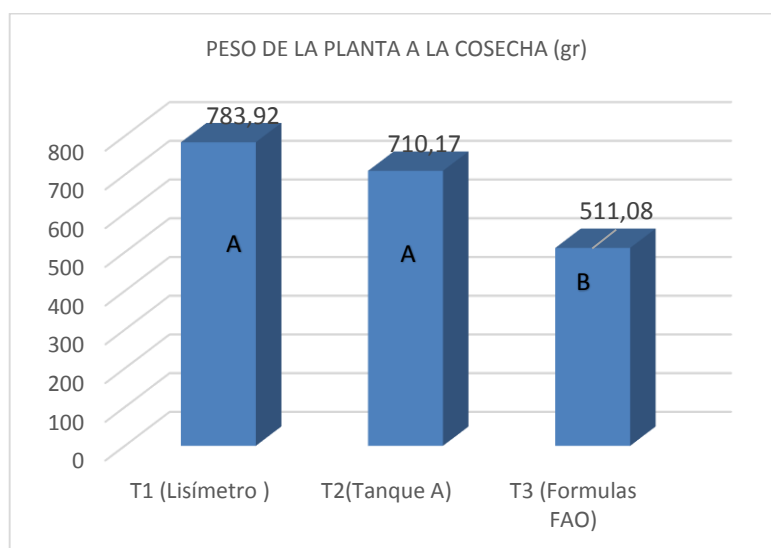


La prueba de Tukey al 5% para el peso total de plantas a la cosecha (Cuadro 31, Figura 19); presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 783,92 g, igualmente en el rango “A” se ubicó el tratamiento 2 con una media de 710,17 gr, mientras que en el rango “B” el tratamiento 3 con una media de 511,08 g .

**CUADRO 31. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS A LA COSECHA.**

Tratamientos	Medias (g)	Rango
T1(lisímetro)	783,92	A
T2 (tanque A)	710,17	A
T3 (formulas)	511,08	B

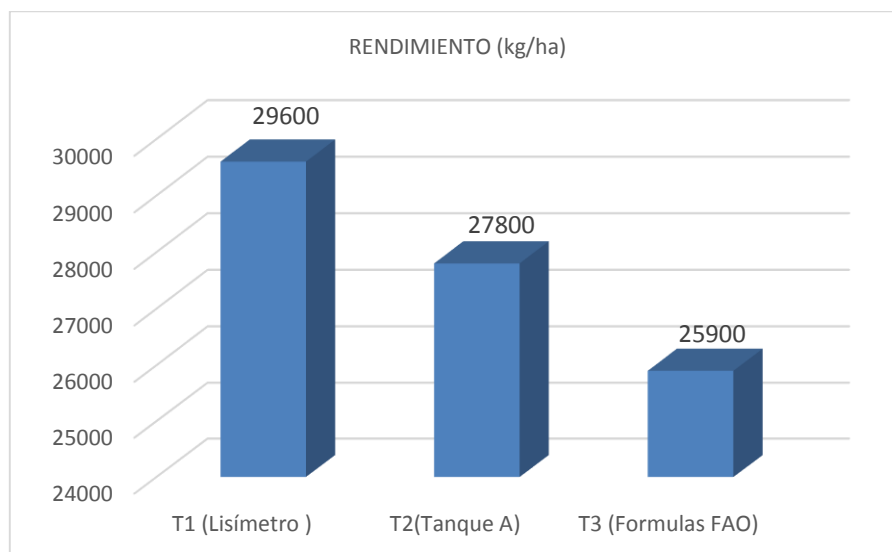
Fuente: León, J (2017)



**Figura 19. Peso de la planta a la cosecha en el cultivo de lechuga**

Fuente: León, J (2017)

## 2. Rendimiento kg/ha.



**Figura 20. Rendimiento del repollo en el cultivo de lechuga en Kg/ha**

Fuente: León, J (2017)

En la figura 20 podemos evidenciar que el rendimiento del repollo para la lechuga para el T1 (lisímetros) fue de 29600 kg/ha, para el T2 (tanque de evaporación tipo A) 27800 kg/ha y el rendimiento para el T3 (formulas FAO) 25900 kg/ha respectivamente.

El rendimiento de las variedades productivas pueden llegar a 30 TM/ha, el peso promedio del repollo es de 0,5 a 1 kg en muchas de las veces superan estos valores, mientras que las variedades con menor producción solo alcanzan rendimientos de 15 a 20 TM/ha, con pesos individuales que van de 0,1 a 0,5 kg. Las lechugas de cabeza son seleccionadas por su tamaño y por el grado de compactación de las hojas. (Macas, 1993)

La producción depende del tamaño de las plantas en el momento de la recolección y del número de plantas por m<sup>2</sup>. Se considera un buen rendimiento cuando se recogen entre 3 y 4 kg por m<sup>2</sup>. (García, 2010)

## I. EVALUACION DE CONTENIDO DE MATERIA HUMEDA Y SECA

### 1. Peso planta total (g) húmedo

El análisis de varianza para el peso total de la planta en húmedo (Cuadro 31), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 789.39 g y un coeficiente de variación de 21,31%.

**CUADRO 32.** ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS (G) EN HÚMEDO

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	29428,57	14714,28	0,52	0,6299	ns
Repeticiones	2	18284,03	9142,01	0,32	0,7412	ns
Error	4	113200,19	28300,05			
Total	8	160912,78				
cv	21,31					

Fuente: León, J (2017)

ns: No significativo

### 2. Peso planta total en seco (g)

El análisis de varianza para el peso total de la planta en seco (Cuadro 33), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 74.98 gr y un coeficiente de variación de 11,94%.

**CUADRO 33.** ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS (G) EN SECO

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	100,30	50,15	0,63	0,5804	ns
Repeticiones	2	607,44	303,772	3,79	0,1195	ns
Error	4	320,89	80,22			
Total	8	1028,64				
cv	11,94					

Fuente: León, J (2017)

ns: No significativo

### 3. Peso hojas bajas húmedo (g)

El análisis de varianza para el peso de las hojas bajas en húmedo (Cuadro 34), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 218.45 g y un coeficiente de variación de 13,91%.

**CUADRO 34.** ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE HOJAS BAJERAS EN HÚMEDO (G)

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	1440,76	720,38	0,78	0,5176	ns
<b>Repeticiones</b>	2	1742,86	871,43	0,94	0,4617	ns
<b>Error</b>	4	3694,33	923,58			
<b>Total</b>	8	6877,94				
<b>cv</b>	13,91					

Fuente: León, J (2017)

ns: No significativo

### 4. Peso hojas bajas seco (g)

El análisis de varianza para el peso de las hojas bajas en seco (Cuadro 35), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 28.52 g y un coeficiente de variación de 11,53%.

**CUADRO 35. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE HOJAS BAJERAS EN SECO (G)**

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	78,17	39,09	3,61	0,1269	<b>ns</b>
<b>Repeticiones</b>	2	226,34	113,17	10,47	0,0257	<b>*</b>
<b>Error</b>	4	43,25	10,81			
<b>Total</b>	8	347,77				
<b>cv</b>	11,53					

Fuente: León, J (2017)

\* Significativo

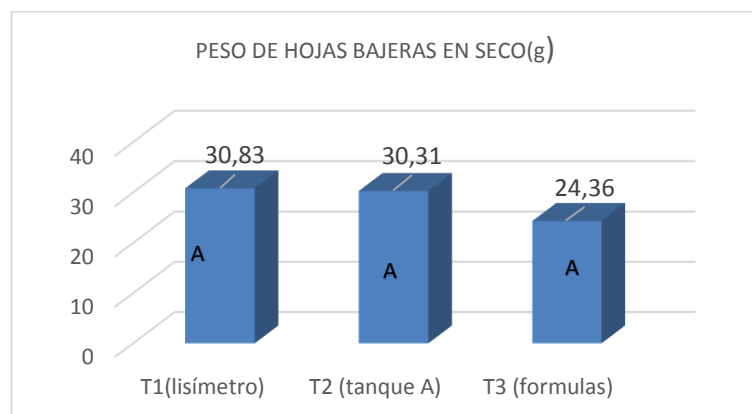
ns: No significativo

La prueba de Tukey al 5% para el peso de hojas bajas en seco (Cuadro 36 Figura 32); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 0,59 g, en el rango “B” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 0,55 g y finalmente, el rango “C” el tratamiento 3 con una media de 0,52 g .

**CUADRO 36. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA PARA EL PESO DE HOJAS BAJERAS EN SECO.**

Tratamientos	Medias (g)	Rango
T1(lisímetro)	30.83	A
T2 (tanque A)	30.31	A
T3 (formulas)	24.36	A

Fuente: León, J. 2018



**Figura 21. Peso de hojas bajas en seco (g)**

Fuente: León, J (2017)

### 5. Peso repollo húmedo (g)

El análisis de varianza para el peso del repollo en húmedo (Cuadro 37), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 527.24 g y un coeficiente de variación de 29,13%.

**CUADRO 37. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DEL REPOLLO EN HÚMEDO (G)**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	42535,18	21267,59	0,90	0,4751	ns
<b>Repeticiones</b>	2	5339,75	2669,87	0,11	0,8958	ns
<b>Error</b>	4	94362,85	23590,71			
<b>Total</b>	8	142237,77				
<b>cv</b>	29,13					

Fuente: León, J (2017)

ns: No significativo

### 6. Peso repollo seco (g.)

El análisis de varianza para el peso del repollo en seco (Cuadro 38), no presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 34.69 g y un coeficiente de variación de 32,82%.

**CUADRO 38. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DEL REPOLLO EN SECO (G)**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	315,61	157,81	1,22	0,3865	ns
<b>Repeticiones</b>	2	69,03	34,52	0,27	0,7789	ns
<b>Error</b>	4	518,62	129,66			
<b>Total</b>	8	903,27				
<b>cv</b>	32,82					

Fuente: León, J (2017)

ns: No significativo

## 7. Peso raíz húmedo

El análisis de varianza para el peso de la raíz en húmedo (Cuadro 39), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 29 g y un coeficiente de variación de 10,44%.

**CUADRO 39.** ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE LA RAÍZ (G) A LA COSECHA

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	300,86	150,43	16,41	0,0118	*
<b>Repeticiones</b>	2	30,52	15,26	1,66	0,2978	Ns
<b>Error</b>	4	36,66	9,16			
<b>Total</b>	8	368,04				
<b>cv</b>	10,44					

Fuente: León, J (2017)

\* Altamente Significativo

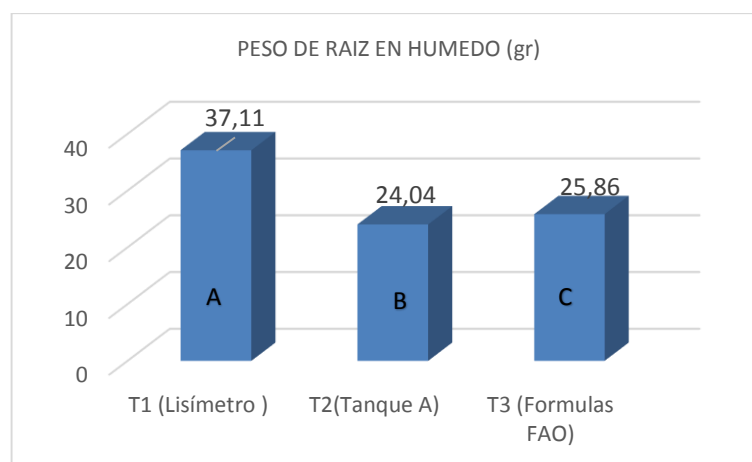
ns: No significativo

La prueba de Tukey al 5% para el peso total de plantas a la cosecha (Cuadro 39 Figura 32); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 0,59 g, en el rango “B” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 0,55 g y finalmente, el rango “C” el tratamiento 3 con una media de 0,52 g .

**CUADRO 40.** PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS A LA COSECHA.

Tratamientos	Medias (g)	Rango
T1(lisímetro)	0,59	A
T2 (tanque A)	0,55	B
T3 (formulas)	0,52	C

Fuente: León, J. 2018



**Figura 22. Peso de la raíz en húmedo en el cultivo de lechuga.**

Fuente: León, J (2017)

### 8. Peso raíz seco (g)

El análisis de varianza para el peso de la raíz en seco (Cuadro 40), presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 13.08 g y un coeficiente de variación de 27,63%.

**CUADRO 41. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO DE LA RAÍZ EN SECO (G)**

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	117,77	58,89	4,51	0,0943	ns
<b>Repeticiones</b>	2	51,67	25,83	1,98	0,2526	ns
<b>Error</b>	4	52,21	13,05			
<b>Total</b>	8	221,66				
<b>C.V.</b>	27,63					

Fuente: León, J (2017)

\* Altamente Significativo

ns: No significativo

### 9. Peso promedio por planta (g)

El análisis de varianza para el peso promedio por planta (Cuadro 41), presentó diferencias



estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 554.19 g y un coeficiente de variación de 1.06 %.

**CUADRO 42. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO PROMEDIO POR PLANTA (G)**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	2	8357.28	4178.64	120.26	0.0003	**
<b>Repeticiones</b>	2	319.04	159.28	4.59	0.0921	*
<b>Error</b>	4	138.99	34.75			
<b>Total</b>	8	8815.32				
<b>cv</b>	1,06					

Fuente: León, J (2017)

\* altamente significativo

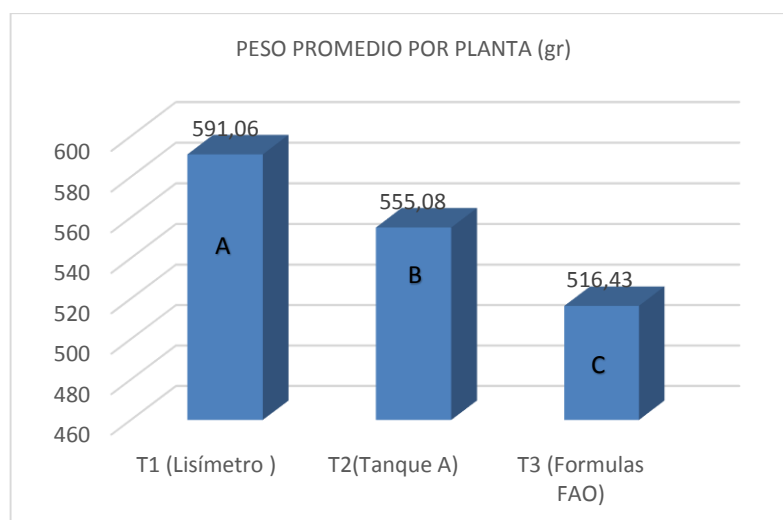
\* significativo

La prueba de Tukey al 5% para el peso promedio de plantas a la cosecha (Cuadro 42) Figura 23); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 591.06 g, en el rango “B” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 555.08 g y el rango “C” el Tratamiento 3 con una media de 516.43 g .

**CUADRO 43. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO PROMEDIO POR PLANTA A LA COSECHA.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias (G)</b>	<b>Rango</b>
T1(lisímetro)	591.06	A
T2 (tanque A)	555.08	B
T3 (formulas)	516.43	C

Fuente: León, J (2017)



**Figura 23. Peso promedio por planta en el cultivo de lechuga**

Fuente: León, J (2017)

### 10. Peso promedio por planta (kg/planta)

El análisis de varianza para el peso promedio por planta (Cuadro 43), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 0.55 Kg y un coeficiente de variación de 1.04%.

**CUADRO 44. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO PROMEDIO POR PLANTA (kg/PLANTA)**

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
<b>Tratamientos</b>	2	0.01	4,0E-03	121	0.0003	**
<b>Repeticiones</b>	2	2,0E-04	1,0E-04	3	0.1600	Ns
<b>Error</b>	4	1,3E-04	3,3E-05			
<b>Total</b>	8	0.01				
<b>cv</b>	1.04					

Fuente: León, J (2017)

\* Altamente Significativo

ns: No significativo

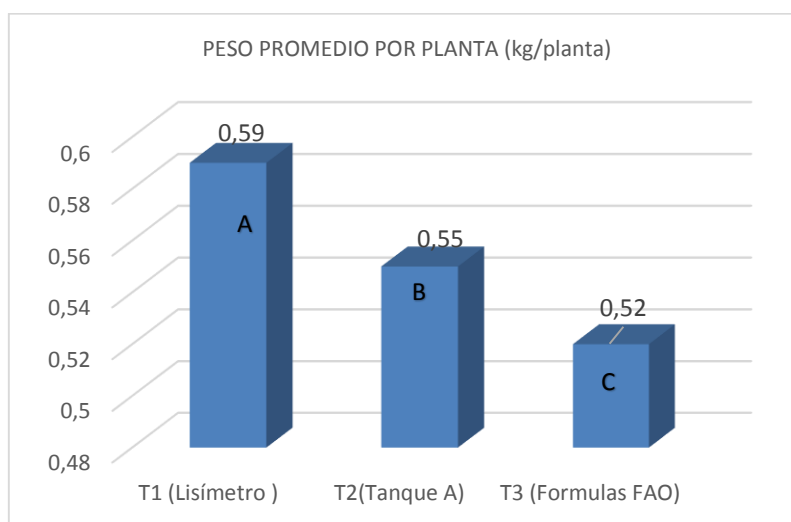
La prueba de Tukey al 5% para el peso promedio por planta (kg/planta) total de plantas a la cosecha (Cuadro 44, Figura 23); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el

Tratamiento 1 con una media de 0.59 kg, en el rango “B” se ubicó el Tratamiento 2 con una media 0.55 kg y el rango “C” el Tratamiento 3 con una media de 0.52kg.

**CUADRO 45. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS A LA COSECHA.**

Tratamientos	Medias (kg/planta)	Rango
T1(lisímetro)	0.59	A
T2 (tanque A)	0.55	B
T3 (formulas)	0.52	C

Fuente: León, J (2017)



**Figura 24. Peso promedio por planta kg/ planta en el cultivo de lechuga.**

Fuente: León, J (2017)

### 11. Peso promedio por planta (kg/ha)

El análisis de varianza para el peso promedio por planta (Cuadro 45), presentó diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos. El promedio general fue de 27801.81 kg/ha y un coeficiente de variación de 1.06 %.

**CUADRO 46. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PESO PROMEDIO POR PLANTA (kg/HA)**

FV	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	2	21032750,46	10516375,23	120,26	0,0003	**
Repeticiones	2	802934,50	401467,25	4,59	0,0921	*
Error	4	349801,34	87450,33			
Total	8	22185486,30				
C.V.	1,06					

Fuente: León, J (2017)

\* Altamente Significativo

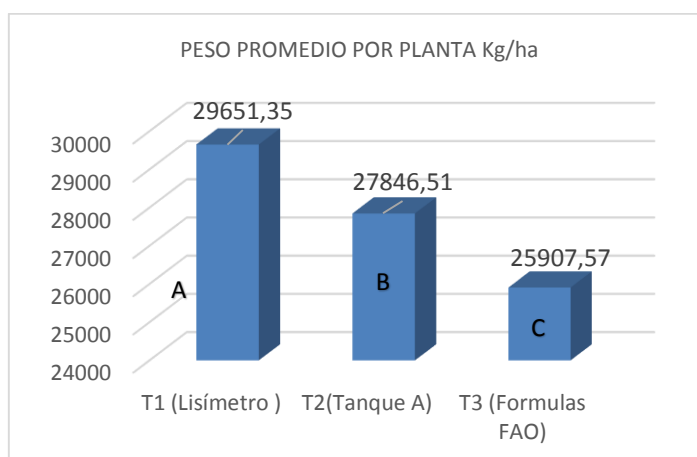
ns: No significativo

La prueba de Tukey al 5% para el peso total de plantas a la cosecha (Cuadro 46, Figura 36); presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el Tratamiento 1 con una media de 29651,35 g, en el rango “B” se ubicó el Tratamiento 2 con una media de 27846,51 g y el rango “C” el Tratamiento 3 con una media de 25907,57g.

**CUADRO 47. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA EL PESO TOTAL DE PLANTAS A LA COSECHA.**

Tratamientos	Medias (kg/ha)	Rango
T1(lisímetro)	29651,35	A
T2 (tanque A)	27846,51	B
T3 (formulas)	25907,57	C

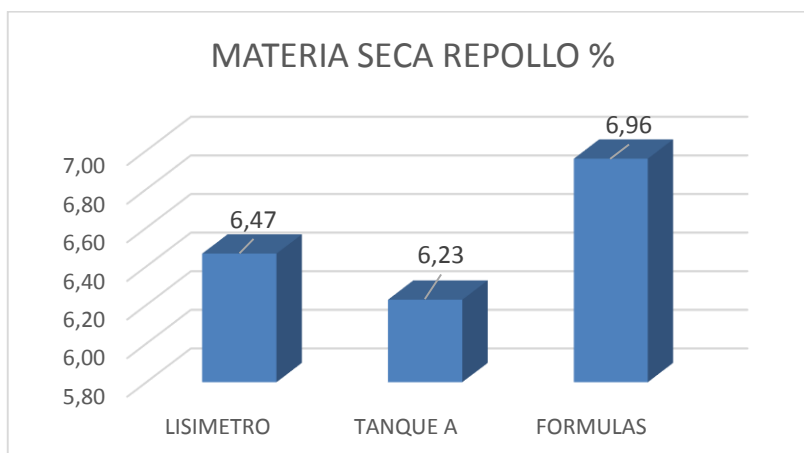
Fuente: León, J (2017)



**Figura 25. Peso promedio por planta kg/ ha en el cultivo de lechuga.**

Fuente: León, J (2017)

## 12. Porcentaje de materia seca a la cosecha

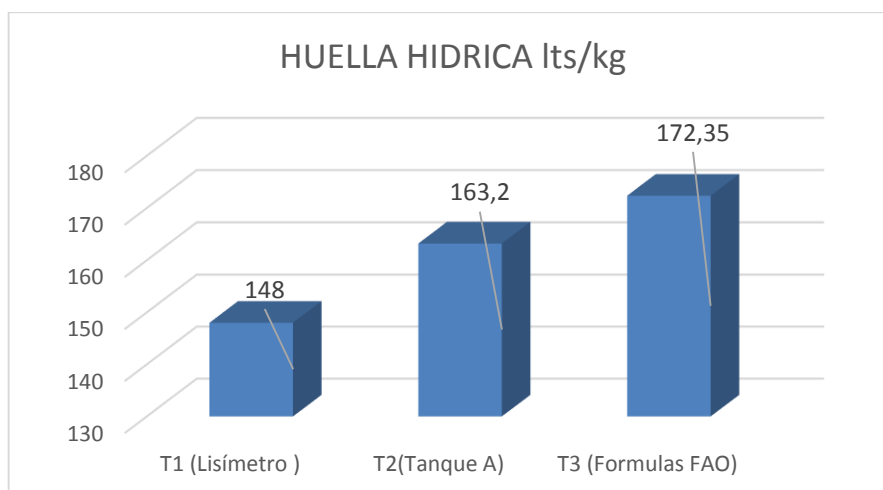


**Figura 26. Porcentaje de la materia seca a la cosecha en el cultivo de lechuga.**

Fuente: León, J (2017)

Como podemos apreciar en la figura 25 el tratamiento que tiene mas porcentaje de materia seca en el repollo es el T3 perteneciente al de las formulas de la FAO con un porcentaje de 6.96 %el tratamiento de los lisímetros se obtuvo 6.47 y el tratamiento del tanque de evaporación 6.23 %.

## 13. Huella Hídrica



**Figura 27. Huella hídrica lts/ kg en el cultivo de lechuga**

Fuente: León, J (2017).

Si observamos la, Figura 26 se puede ver que existen diferencias entre los tres tratamientos, donde el Tratamiento 1 que pertenece al lisímetro presenta una huella hídrica de 148 L/ por cada kg de producción, Tratamiento 2 correspondiente a la aplicación del volumen de riego de acuerdo a la información del tanque de evaporación clase a con un volumen de 163.20 L/ por cada kg de producción y el Tratamiento 3 que indica las formulas de la FAO un valor de 172.35 L/ por cada kg de producción , analizando la cantidad de agua aplicada entre cada uno de los tratamientos para producir un kg de lechuga, se puede ver que el Tratamiento 1 requiere de menor cantidad de agua, seguido del Tratamiento 2, mientras que el Tratamiento 3 tuvo mayor huella hídrica .

Dicha diferencia entre tratamientos se debe a las distintas láminas aplicadas en los tratamientos en todo el ciclo del cultivo de la lechuga, Tratamiento 1 de 440.83 mm, Tratamiento 2 de 453.90 mm y Tratamiento 3 con 449.03 mm respectivamente.

## I. ANÁLISIS ECONÓMICO

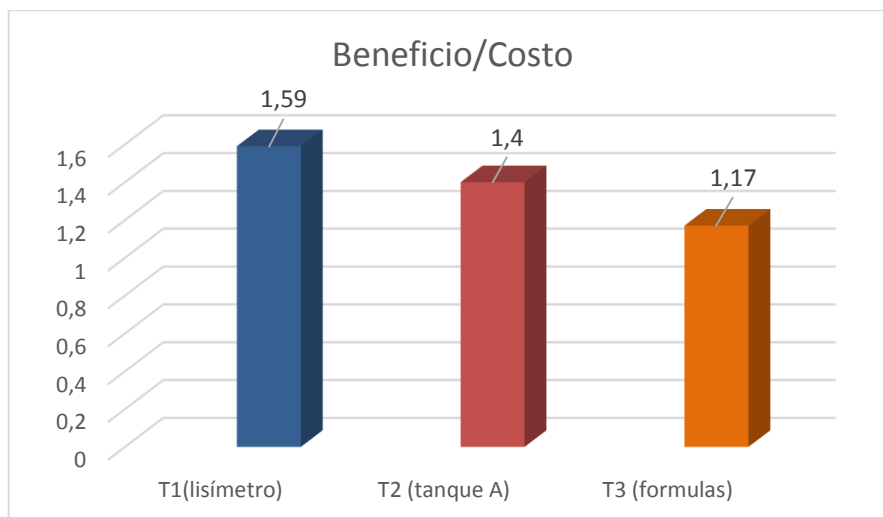
### 1. Beneficio/Costo (B/C).

**CUADRO 48. RENTABILIDAD DE LOS TRATAMIENTOS.**

TRATAMIENTOS	INGRESO TOTAL	COSTO TOTAL	B/C	RENTABILIDAD (%)
T1(lisímetro)	7,553.81	4,755.00	1.59	58.86
T2 (tanque A)	6,622.26	4,734.21	1.40	39.88
T3 (formulas)	5,519.88	4,734.21	1.17	16.60

Fuente: León, J (2017)

En la presente investigación el Tratamiento 1 presentó mayor beneficio/costo de 1,59 con una rentabilidad del 58.86% lo que quiere decir que por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 0,58 dólares. A diferencia del Tratamiento 3 que presentó el menor beneficio/costo de 1,17 con una rentabilidad del 16.60%, así mismo por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 0,17 dólares.



**Figura 28. Beneficio /Costo**

Fuente: León, J (2017)

## VI. CONCLUSIONES

1. El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) ajustado al lisímetro para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven, bajo las condiciones edafoclimáticas del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, presento los siguientes valores; 0.62 /0.99/ 1/ 0.8 del  $K_c$ , para la etapa inicial, desarrollo, intermedia y final respectivamente, resultado de la reposición del agua de riego al momento del drenaje
2. El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) ajustado al tanque de evaporación clase A para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven, bajo las condiciones edafoclimáticas del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, presento los siguientes valores 0.81/1/1.1/0.9 de  $K_c$  para la etapa inicial, desarrollo, intermedia y final respectivamente, resultado de la reposición del agua de riego al existir el consumo del 25% de agua útil del suelo
3. El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) ajustado a las formulas empíricas de la FAO para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven, bajo las condiciones edafoclimáticas del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, presento los siguientes valores 0.7/1/1/0.95 de  $K_c$  para la etapa inicial, desarrollo, intermedia y final respectivamente, resultado de la reposición del agua de riego al existir el consumo del 25% de agua útil del suelo.
4. En las etapas fenológicas que presento el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven para la etapa inicial para los 3 tratamientos fue de 15 días , para la etapa de desarrollo existió una variación ya que para el tratamiento donde se encontraba presente los lisímetros tuvo una duración de 35 días para el tanque de evaporación 37 y para las formulas empíricas de 36 días . En la etapa intermedia para el T1, T2 y T3 existió un periodo de 20, 23, 22 días respectivamente y en la etapa final en los lisímetros, Tanque A y las formulas empíricas 12, 14 , 13 días respectivamente .
5. De acuerdo al suministro hídrico al cultivo de lechuga mediante la aplicación de la lámina de riego, según la información del lisímetro de drenaje, tanque de evaporación clase A y formula empírica, se concluye en el caso de la aplicación de agua con lisímetro se utilizó



440.90 litros/m<sup>2</sup>. Mediante la aplicación de referencia al tanque de evaporación, se utilizó 453.7 litros/m<sup>2</sup> y para la fórmula de la FAO, fueron 449.02 litros. Se ha demostrado que existe una correlación entre los tratamientos, y se demuestra además que el aplicar más agua de riego no aumenta los rendimientos en el cultivo.

6. El más alto rendimiento se obtuvo con el Tratamiento 1 (Lisímetro) con un volumen aplicado de 440.90 mm, obteniendo un rendimiento de 29.6 t/ha.
7. El tratamiento que presenta menor huella hídrica es T1 con la aplicación de 148 litros de agua por cada kg de rendimiento.
8. El volumen de agua aplicado en el Tratamiento 1 para el cultivo de lechuga que pertenece al lisímetro fue de 440.90 mm, con valores de kc 0.62/0.99/1/0.8 para la etapa inicial, desarrollo, intermedia y final respectivamente.

## **VII. RECOMENDACIONES**

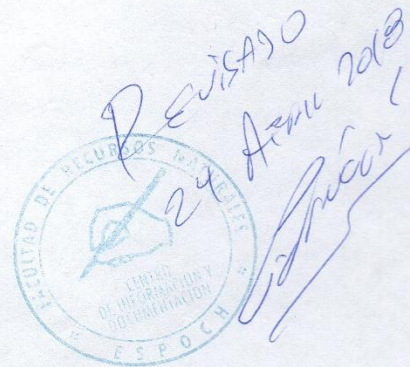
- A.** Aplicar lisímetros de drenaje en parcelas hortícolas principalmente en lechuga, para poder determinar el contenido de agua que el cultivo absorbió y la cantidad a su vez drenada serán repuestos mediante riego ,este método ayuda a un mejor rendimiento del cultivo y a optimizar el recurso agua .
- B.** Validar la información arrojada del Kc ajustado para el Tratamiento 1 en otras zonas hortícolas con similares características edafoclimáticas.

## VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: determinar los requerimientos hídricos para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var Winterhaven en base a lisímetros de drenaje, tanque de evaporación tipo A y fórmulas empíricas (FAO) en Macaji. El ensayo se realizó con un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) y se adaptó a condiciones de riego por goteo. Se incluyeron 3 tratamientos y 3 repeticiones de riego, según el abatimiento de la humedad aprovechable del suelo (T1 Lisímetro el momento del drenaje, T2 Tanque de Evaporación 25% y T3 fórmulas empíricas FAO al 25%). Los resultados mostraron que las diferentes láminas de riego afectaron en el rendimiento de la lechuga. El rendimiento más alto obtuvo con el Tratamiento 1 (Lisímetro) con un volumen aplicado de 440.90 mm, obteniendo así rendimiento de 29.6 t/ha. Las variables evaluadas fueron: altura de la planta, número de hojas, diámetro polar, diámetro Ecuatorial contenido relativo de agua, contenido de clorofila, días a la cosecha, peso del repollo, rendimiento total, porcentaje de materia seca, y correlación entre el agua utilizada y rendimiento (huella hídrica). Se establecieron 4 estados fenológicos para el cultivo desde el trasplante hasta la cosecha: Número de plantas prendidas (fase inicial), Días transcurridos desde el trasplante, a la fase de roseta (fase de desarrollo), Días transcurridos hasta la formación del repollo (fase intermedia), Días transcurridos hasta la cosecha (fase final). Se determinó y se ajustó el kc para cada uno de las etapas fenológicas. Los valores de kc con la que se obtuvo mejores rendimientos (T1) 0.62-0.99-1-0.8, para la etapa inicial, de desarrollo, media y final respectivamente, resultado de la reposición del agua de riego al momento del drenaje.

**Palabras clave:** HIDROLOGÍA - LISÍMETRO DE DRENAJE - LÁMINAS DE RIEGO - EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA - COEFICIENTE DEL CULTIVO.

**Por: Juan León**



## IX. SUMMARY

The present investigation proposes : to determine the wather requirements for the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* var . Winterhaven based on drainage lysimeters , type A evaporation tank and empirical formulas (FAO) in Macaji. The essay was carried out with a Desing of Complete Blocks at RANdom (DCBR) and was adapted to drip irrigation conditions . Three treatments and three repetitions of irrigation were included , according to the abatement of the available soil moisture (T1 Lysimeter at the time of drainage, T2 Evaporation Tank 25% and T3 FAO empirical formulas at 25%) . The results showed that the different irrigation sheets affected the yield of the lettuce. The highest yield obtained with Treatment 1 (Lysimeter) with an applied volume of 440.90 , thus obtaining a yield of 29.6 t/ha. The evaluated variables were : height of the plant , number of leaves, polar diameter , Equatorial diameter , ralative wáter content , chorophyll content , days to harvest, weight of cabbage , total yield , percentage of dry matter ,and correlation between wáter used and yield (wáter footprint). Four phenological stages were establishid for cultivation from transplant to harvest : Number of plants lit (initial phase) , Days elapsed since transplanting , to the rosette phase (development phase) , Days elapsed until the formation of the cabbage (intermediate phase) , Days elapsed until the harvest (final phase) . The Kc was determined and adjusted for each of the phonological stages . The values of Kc with which better yields were obtained (T1) 0.62/0.99/ 1/0.8 , for the initial stage , development , average and final respectively , results of the replacement of irrigation wáter at the time of drainage .

Keywords: HYDROLOGY –DRAINAGE LYSIMETER – IRRIGATION SHEETS – EVAPOTRANSPIRATION OF REFERENCE – CROP COEFFICIENT



## X. BIBLIOGRAFIA

1. Vásquez V., A., Vásquez R., I., Vásquez R., C., & Cañamero K., C. (2017).
2. *Fundamentos de ingeniería de riegos*. Lima. p. 442.
3. Acevedo, E. (2000). Manual de estudios, relación suelo, agua, planta. Santiago. Colombia: Antumapu Primavera. p. 125
4. Alvear, J. (2000). *Riego andino, manejo de agua en la cuenca*. Quito - Ecuador: Camaren. p. 150
5. Bastiaanssen, W. G. M. (1995). Regionalization of Surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. (Doctoral thesis). Wageningen Agricultural University, Wageningen. Países Bajos. p. 771.
6. Belmonte, F., & Santa, F. (2006). *La evapotranspiración concepto y métodos para su determinación*. Murcia - España: Facultad de Letras, Campus La Merced. p. 27
7. Bettini, R., & Doglio, J. (1994). El cultivo de la lechuga en el Uruguay. Situación productiva y comercial. Uruguay: JUNAGRA. MGAP.
8. Calderón, S. (2005). Estudio de distribución técnica del agua, para 604 usuarios y 239,36 ha, del ramal Chichipata (zona 1), del sistema de riego Tumbaco, Pichincha - 2004. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. p. 12, 52, 58, 70
9. Calvache, M. (1993). Requerimientos hídricos de cultivos agrícolas en la zona de Tumbaco-Pichincha. Quito - Ecuador. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 18
10. Cañar, D. (2006). Estudio de distribución técnica del agua, del ramal Ilalo, zona 2 del canal de riego Tumbaco, Pichincha- 2006. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. p. 56
11. Cooman A. (2000). Suelos, fertilización y riego. En: Lee R, Escobar H. (eds.). Manual de producción de lechuga lisa bajo invernadero. Cuadernos del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
12. Díaz, J. (2006). Riego por gravedad. Calí - Colombia: Universidad del Valle. p. 33
13. Ekanayake, I. (1994). Research 30, studying drought stress and irrigation requirements of potatoes. Lima - Perú: CIP
14. Enciso, E. 2005. Sensores de Humedad del Riego para eficientizar el riego Cooperativa de Texas. Lugar. pp. 2 - 6.
15. Evans, L.T. (1983). Fisiología de los cultivos. Colombia: Hemisferio Sur.
16. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *Agua y cultivos*. Roma. IT.s.e. Recuperado el 30 jun 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y3918S/Y3918S00.HTM>
17. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008) Glosario de términos sobre humedad del suelo. Recuperado 01 de

- febrero del 2018 Disponible en:  
<http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s02.htm>
18. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2006). Guía para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos. Ecuador: FAO
  19. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2006a). Libro 56 Guía para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos. Recuperado el 27 de diciembre del 2017. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>
  20. Fernández, D. (2009). Estimación de las demandas de consumo de agua. Perú
  21. Seminis. (2012). Ficha Técnica lechuga variedad Winter Haven. Recuperado el 15 de febrero del 2018 Disponible en : <http://www.seminis.com/global/cl/>
  22. Fierro, P. (2008). Estudio de distribución técnica del agua, del ramal Alangasí - La Merced, del sistema de riego Tumbaco, Pichincha. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. p. 18
  23. Fuente. (2006). Programación de riego con tensiómetros. Quito
  24. Galvan G., & Rodríguez J. (1999). *Cultivos de hoja. lechuga generalidades y ecofisiología*. Montevideo: Facultad de Agronomía. p. 19
  25. Galván, G., García, M., & Rodríguez, J., (2008). Cultivo de lechuga. Recuperado el 25 de Abril del 2013. Recuperado 09 de febrero del 2018. Disponible en:[http://www.fagro.edu.uyorticultura/CURSO20HORTICULTURA/CULTIVOS\\_HOJA/Lechuga%201%.pdf](http://www.fagro.edu.uyorticultura/CURSO20HORTICULTURA/CULTIVOS_HOJA/Lechuga%201%.pdf)
  26. García, M. (2010). *Cultivo de lechuga*. Recuperado 01 de julio del 2013. Disponible en:  
[https://www5.uva.es/guia\\_docente/uploads/2012/446//1/Documento2.pdf](https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2012/446//1/Documento2.pdf)
  27. González, R., Díaz, C., & Lorenzo, J. (2015). Evapotranspiración y coeficiente de cultivo de la lechuga (BBS-13) en condiciones de organopónico. Instituto de investigación de ingeniería agrícola, Boyeros, La Habana - Cuba. Revista Ingeniería Agrícola, 5;10 - 15.
  28. Granda, J., & López C. (2009). Estudio de los sistemas de riego localizados por goteo y exudación, en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* var. Alfase stella), bajo invernadero, (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo) Pontificia Universidad Católica de Ecuador sede- Ibarra, disponible en:  
[http://www.google.com.ec/url?=&rc=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fdspace.pucesi.edu.ec%2Fbitstream%2F11010%2F236%2F1%2FT72106.pdf&ei=nwekVJC3DJKXyQTI\\_YKgAw&usg=AFQjCNG95nU2ocy6ifuliifM-gx0sFZIIA](http://www.google.com.ec/url?=&rc=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fdspace.pucesi.edu.ec%2Fbitstream%2F11010%2F236%2F1%2FT72106.pdf&ei=nwekVJC3DJKXyQTI_YKgAw&usg=AFQjCNG95nU2ocy6ifuliifM-gx0sFZIIA)
  29. Granval, N., & Graviola, J. C. (1991). Manual de producción de semillas hortícolas. Asociación Cooperadora de la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina, p. 82



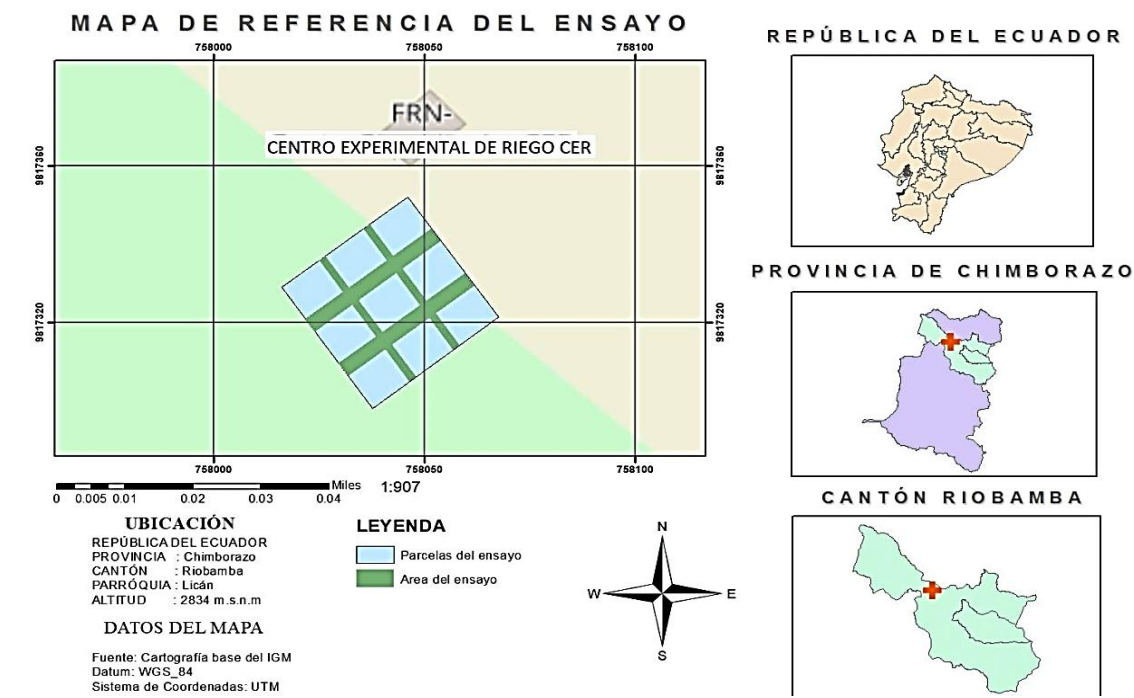
30. Hidalgo, D. (2008). Diseño, evaluación e instalación de un sistema de riego. Lima - Perú. pp. 15 - 21.
31. Hurtado, I. (2002). Fundamentos del riego: documento electrónico. Quito
32. Instituto Nacional del Agua (2008). Necesidades de agua de los cultivos. Cusco - Perú: Intihuasi. p. 92
33. Interempresas. (2005). Lechuga manejo Agrícola Navarro de Haro. Recuperado 15 de Diciembre del 2017. Disponible en :  
<http://www.interempresas.net/Distribun-Hortofruticola/FeriaVirtual/ProLechugas-iceberg-Agricola-Navarraaro-95758.html>
34. Chávez. (2013). Manual de laboratorio-Fisiología Vegetal- Perú. p. 17, 18, 21
35. Lagos, E. 2005. Estudio de distribución técnica del agua para 242 usuarios del Ramal El Pueblo. Tumbaco, Pichincha. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. p. 53
36. León, J. (2008) Texto básico riego tecnificado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Chimborazo –Ecuador
37. Lizano, R. (2005). Estudio de distribución técnica del agua del sistema de riego Tumbaco, Ramal La Viña. Tumbaco, Pichincha. 2005. (Tesis de grado. Ingeniero Agronomo). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. p. 34
38. López R., Arteaga R., Vázquez M., I. López L., & Sánchez I. (2009). Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Recuperado el 24 de Diciembre del 2017. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2009000100012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2009000100012&script=sci_arttext)
39. Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca. (2012). Zonificación Agroecológica en el cultivo de banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000. Quito - Ecuador: MAGAP. p. 67
40. Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca -CGSIN. (2016). Boletín de precipitación y temperatura Zona 3 , .Coordinación nacional del sistema de información nacional ,Clima promedio provincial. fuente INAMHI. Bolívar
41. Mallar, A. (1978). La lechuga. (1ª. ed). Buenos Aires: Hemisferio Sur. pp. 1, 5, 10, 18-19.
42. Maroto, J., García, A., & Baixauli, S. (2000). La lechuga y la escarola. Valencia; caja rural de Valencia - España.: Mundi-Prensa. p. 242
43. Milthorpe, F. L., & Moorby, J. (1982). Introducción a la fisiología de los cultivos. Bolivia.
44. Plan nacional de riego y drenaje (2011). Plan nacional de riego y drenaje, 2011 – 2026. subsecretaria de Riego y Drenaje. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Recuperado 23 de diciembre del 2018. Disponible en: <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002products/Pages/Lechugas.aspx>.

45. Sánchez, J.(2001). Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Sevilla – España: Sociedad Española. p. 68
46. Sevillano, G. (2005). Estudio de Distribución técnica del agua, para 198 usuarios, con 78 hectáreas, del ramal San Blas, del sistema de riego. Tumbaco, Pichincha. (Tesis de grado Ingeniero Agrónomo.). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. p. 23, 45, 67
47. Smaldoni, R., Sangiacomo, M. A., & Garbi, M. (2002). Análisis de costos de producción y caracterización de los productores de lechuga (*Lactuca sativa*) a campo en el partido de Luján", XXV Congreso Argentino de Horticultura, Encuentro Virtual, ASAHO.
48. Vásquez, H. (2000). Manejo de Cuencas Altoandinas. Lima - Perú: Sutton. v. 2, p .15
49. Will, L. (2012). Sistemas de riego. Recuperado el 11 de Noviembre del 2017 Disponible en: <http://agropecuarios.net/sistemas-de-riego-por-aspersion-surcos-y-goteo.html>
50. Zink, F., & Yamaguchi, M. (1962). Studies on the growth rate and nutrient absorption of head lettuce. *Journal of Agricultural Science* 32(11); 471-500.



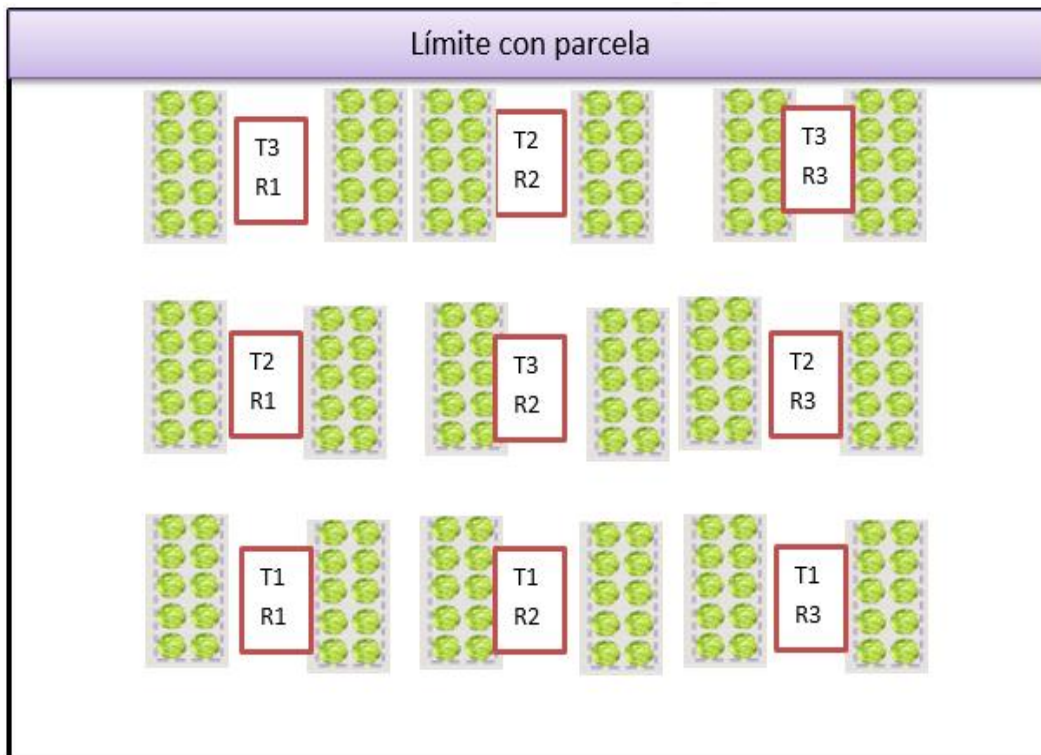
## XI. ANEXOS

### Anexo 1. Ubicación del ensayo



Fuente: Lema D. & Paguay, S. 2017

### Anexo 2. Distribución de tratamientos en campo



**Anexo 3.** Costo del ensayo para la determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de la lechuga *Lactuca sativa* var Winterhaven.

<b>RUBROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNIT. (USD)</b>	<b>TOTAL (USD)</b>
<b>PREPARACIÓN DEL TERRENO</b>				<b>459.00</b>
Arada	Hora	6.90	15.00	103.50
Rastrada	Hora	6.90	15.00	103.50
Surcada/Mano de Obra	Jornal	21.00	12.00	252.00
<b>FERTILIZACIÓN</b>				<b>185.64</b>
10-30-10	kg	34.62	0.52	18.00
Muriato de Potasio	kg	34.63	0.36	12.47
Fiajares(coadyubante+regul.pH )	cc	1385.00	0.01	20.08
Traiamin (aminoacidos)	ml	3462.00	0.02	51.93
Mano de Obra	Jornal	6.93	12.00	83.16
<b>TRANSPLANTE</b>				<b>3,211.90</b>
Plantulas	plantulas	28795.01	0.10	2,879.50
Mano de Obra	Jornal	27.70	12.00	332.40
<b>LABORES CULTURALES</b>				<b>415.56</b>
Rascadillo	Jornal	6.93	12.00	83.16
Limpieza	Jornal	13.85	12.00	166.20
Aporque	Jornal	13.85	12.00	166.20
<b>COSECHA</b>				<b>166.20</b>
Sacos	Sacos		0.30	0.00
Mano de Obra	Jornal	13.85	12.00	166.20
<b>MATERIALES DE CAMPO</b>				<b>775.19</b>
Sistema de Riego (Goteo)	Unidad	6.93	111.86	775.19
<b>SUBTOTAL</b>				<b>5,213.49</b>
<b>Imprevistos (5 %)</b>				<b>260.67</b>
<b>TOTAL</b>				<b>5,474.17</b>