

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**FRECUENCIAS DE RIEGO POR GOTEO EN EL RENDIMIENTO
DEL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*) EN CONDICIONES
DE INVERNADERO EN JAYLLIHUAYA – PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

MILVAR CHINO NAVINCHO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENNERIA AGRICOLA

FRECUENCIAS DE RIEGO POR GOTEO EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*) EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN JAYLLIHUAYA – PUNO

TESIS PRESENTADA POR:

MILVAR CHINO NAVINCHO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

Dr. EDUARDO FLORES CONDORI

PRIMER MIEMBRO

:

M.Sc. OSCAR RAÚL MAMANI LUQUE

SEGUNDO MIEMBRO

:

M.Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

DIRECTOR/ ASESOR

:

Ing. PERCY ARTURO GINEZ CHOQUE

ÁREA: Ingeniería y tecnología

TEMA: Diseño y operación de sistemas hidráulicas

LÍNEA: Recursos Hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 21 DICIEMBRE DE 2017

DEDICATORIA

A **Dios** por darme la vida, por ser mi guía, Fortaleza e iluminar mi camino, pero sobre todo por permitirme disfrutar mis logros cerca de mis seres amados.

A mí querido padre **Esteban** que está en los cielos dándome fuerza espiritual y a mi querida madre **Paulina**, quienes con su ejemplo me formaron para asumir retos como éste, y me supieron inculcar la dedicación y perseverancia al trabajo.

A mi esposa **Yovana** y a mis hijos **Yami Nicol**, así también a los padres de mi esposa **Félix y Paulina**, por su constante apoyo y comprensión.

A mis hermanos **Ismael, Juana y Epifanía** y mis amigos y a todos aquellos que, por su constante apoyo, motivación entusiasmo a seguir y les tendré presente en el recorrer de mi trayecto profesional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a Dios, por todas y cada una de las personas que puso en mi camino, que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación.

A nuestra Alma Mater, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Asimismo, a mi Director de Tesis Ing. Percy Arturo Ginez Choque, que con su empeño y dedicación compartió sus conocimientos y la labor de dirección desempeñada en este trabajo de investigación.

A los Docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, por sus valiosas enseñanzas que se han constituido en el pilar fundamental de mi formación profesional.

También, a mis compañeros y amigos que alguna vez me dieron un apoyo moral y material en la culminación de este trabajo de investigación.

A todos ellos, mi eterna gratitud.

INDICE GENERAL

| | |
|-----------------------------|------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| INDICE GENERAL | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS | vi |
| INDICE DE FIGURAS..... | viii |
| ÍNDICE DE ACRÓNIMOS | viii |
| INDICE DE ANEXOS | ix |
| INDICE DE FOTOGRAFIAS | ix |
| RESUMEN | x |
| ABSTRACT | xi |

I.INTRODUCCIÓN

| | |
|---------------------------------------|---|
| 1.1. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2. Justificación..... | 3 |
| 1.3. Preguntas del problema..... | 4 |
| 1.3.1. Pregunta general..... | 4 |
| 1.3.2. Preguntas específicas | 5 |
| 1.4. Objetivos..... | 5 |
| 1.4.1. Objetivo general | 5 |
| 1.4.2. Objetivo específico | 5 |

II.REVISIÓN DE LITERATURA

| | |
|--|----|
| 2.1. Antecedentes | 6 |
| 2.2. Marco referencial | 9 |
| 2.2.1. Cultivo protegido | 9 |
| 2.2.2. Invernadero..... | 10 |
| 2.2.3. Factores climáticos al interior de un invernadero | 10 |
| 2.2.4. Luminosidad..... | 10 |
| 2.2.5. Temperatura | 11 |
| 2.2. 6. Radiación solar..... | 11 |
| 2.3 Relación agua, suelo y planta | 11 |
| 2.4 Necesidades netas de agua del cultivo | 12 |
| 2.4.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) | 12 |
| 2.4.2 Coeficiente de cultivo (Kc) | 14 |
| 2.4.3 Evapotranspiración del cultivo (ETc) | 14 |

| | |
|--|----|
| 2.4.4 Necesidades netas de agua del cultivo..... | 15 |
| 2.5 Necesidades totales de agua | 16 |
| 2.5.1 Eficiencia de conducción y eficiencia de distribución..... | 16 |
| 2.5.2 Eficiencia de aplicación..... | 16 |
| 2.5.3. Relación de transpiración | 17 |
| 2.5.4. Requerimiento de lavado..... | 17 |
| 2.5.5. Coeficiente de uniformidad (CU) | 18 |
| 2.6. Riego por goteo | 19 |
| 2.6.1. Características | 19 |
| 2.6.2. Ventajas | 20 |
| 2.6.3. Desventajas..... | 21 |
| 2.7. Lámina de riego..... | 21 |
| 2.8. Velocidad de aplicación..... | 22 |
| 2.9. Tiempo de riego | 22 |
| 2.10. Frecuencia de riego | 22 |
| 2.11. El estado del agua en el suelo..... | 23 |
| 2.11.1. Punto de marchites permanente (PMP) | 23 |
| 2.11.2. Densidad aparente (Da) | 23 |
| 2.11.3. Zona radicular (Zr)..... | 24 |
| 2.11.4. Lamina bruta | 24 |
| 2.11.5. Lámina neta | 24 |
| 2.11.6. Eficiencia de aplicación..... | 25 |
| 2.11.7. Infiltración básica..... | 25 |
| 2.11.8. Frecuencias de riego | 26 |
| 2.11.9. Dosis teórica y dosis práctica de riego | 27 |
| 2.12. Calidad del agua con fines de riego | 28 |
| 2.13. Producción del cultivo de lechuga | 29 |
| 2.13.1. Taxonomía y morfología | 29 |
| 2.13.2. Necesidades climáticas de las plantas..... | 29 |
| 2.13.3. Abonado | 30 |
| 2.13.4. Variedades | 30 |
| 2.13.5. Siembra..... | 30 |
| 2.13.6. Crecimiento del cultivo | 31 |
| 2.13.7. Cosecha | 31 |

| | |
|--|----|
| 2.13.8. Pérdida de calidad..... | 32 |
| III.MATERIALES Y METODOS | |
| 3.1. Ubicación del experimento..... | 33 |
| 3.2. Ubicación político | 33 |
| 3.3. Ubicación geográfica | 33 |
| 3.4. Vías de acceso | 33 |
| 3.5. Características climáticas de la zona en estudio..... | 33 |
| 3.5.1 Temperatura | 34 |
| 3.5.2. Precipitaciones pluviales | 34 |
| 3.5.3. Humedad Relativa..... | 35 |
| 3.5.4. Evaporación..... | 35 |
| 3.5.5. Evapotranspiración potencial | 35 |
| 3.5.6 Horas de sol..... | 36 |
| 3.6. Pozos..... | 36 |
| 3.7. Economía y otras Actividades..... | 36 |
| 3.8. Análisis físico del suelo y químico de agua. | 37 |
| 3.9. Material experimental..... | 37 |
| 3.10. Variables en estudio..... | 38 |
| 3.11. Diseño agronómico..... | 38 |
| 3.12. Análisis de suelo | 41 |
| 3.13. Cosecha..... | 41 |
| 3.14. Métodos estadísticos..... | 41 |
| IV.RESULTADO Y DISCUSION | |
| 4.1. El efecto de frecuencias de riego en productividad de cultivo de la lechuga | 42 |
| 4.1.1. Altura de la planta | 42 |
| 4.2. Biomasa foliar de la lechuga. | 44 |
| 4.3. Rendimiento del cultivo de lechuga en condiciones de Invernadero..... | 46 |
| 4.4. Análisis económico y financiero de riego por goteo en el cultivo de lechuga. | 49 |
| V.CONCLUSIONES | 52 |
| VI.RECOMENDACIONES | 53 |
| VII. REFERENCIAS | 54 |
| VIII.ANEXOS..... | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Coeficiente de tanque evaporímetro (K_p) y la velocidad del viento y HR. | 13 |
| Tabla 2 Transpiración debida a la percolación (R_p) con pendiente inferior al 5%. | 17 |
| Tabla 3 Tratamientos de frecuencias de riego por goteo aplicados en el experimento. | 38 |
| Tabla 4 Determinación de la evapotranspiración por el método de Blaney-Criddle | 38 |
| Tabla 5 Coeficiente del cultivo expresa la relación entre E_{tc} y E_{to} | 39 |
| Tabla 6 Cálculo del coeficiente de localización KI. | 39 |
| Tabla 7 Cálculo del valor de A. | 39 |
| Tabla 8 Cálculo del valor total en m^2 | 39 |
| Tabla 9 Cálculo KI. | 39 |
| Tabla 10 Cálculo de P_e , A_c , A_a | 40 |
| Tabla 11 Cálculo de eficiencia de aplicación | 40 |
| Tabla 12 Cálculo de las necesidades totales o lámina neta de riego (L_r) | 40 |
| Tabla 13 Cálculo de frecuencia de riego máximo | 40 |
| Tabla 14 Cálculo de tiempo de riego | 40 |
| Tabla 15 Cálculo de almacenamiento de agua para riego semanal (en litros). | 41 |
| Tabla 16 Análisis de la varianza para la variable altura de la planta a la sexta semana. | 43 |
| Tabla 17 Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a la sexta semana. | 44 |
| Tabla 18 Análisis de varianza para la variable masa foliar en g/planta. | 45 |
| Tabla 19 Prueba de Tukey al 5% para la variable masa foliar en g/planta. | 45 |
| Tabla 20 Análisis de varianza para el rendimiento (t/ha.) | 46 |
| Tabla 21 Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de lechuga en t/ha. | 46 |
| Tabla 22 Validez y confiabilidad mediante “R” de Pearson 1ra y 2da semana Correlaciones. | 47 |
| Tabla 23 Validez y confiabilidad mediante “R” de Pearson 1ra y 2da semana Correlaciones. | 47 |
| Tabla 24 Validez y confiabilidad mediante “R” de Pearson 5ta y 6ta semana Correlaciones. | 47 |
| Tabla 25 Validez y confiabilidad mediante “r” de Pearson 7ma y 8va semana Correlaciones. | 48 |
| Tabla 26 Validez y confiabilidad de “R” de Pearson de 9na y 10ma semana Correlaciones. | 48 |

Tabla 27 Validez y confiabilidad de “R” de Pearson de 9na y 10ma semana

| | |
|--|----|
| Correlaciones. | 49 |
| Tabla 28 Análisis Financiero (Ingresos, B/C, Rentabilidad) producción de lechuga. | 49 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Diseño del campo experimental | 18 |
| Figura 2 Análisis financiero (costo de producción/ha, ingreso total, ingreso neto). | 50 |
| Figura 3 Análisis financiero (b/c, precio de venta kg, precio de producción kg)..... | 50 |
| Figura 4 Análisis financiero (rentabilidad)..... | 51 |

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|------|---|
| FAO | : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| RFAA | : Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación |
| CC | : Cobertura del canopy |
| IAF | : Índice de área foliar |
| IC | : Índice de cosecha |
| ET | : Evapotranspiración |
| INIA | : Instituto Nacional de Innovación Agraria |
| Eto | : Evapotranspiración potencial |
| Kc | : Coeficiente del cultivo |
| Kl | : Coeficiente de localización |
| Kcl | : Coeficiente de variación climática |
| Kad | : Coeficiente por advección |
| Pe | : Aporte de agua por precipitación efectiva |
| Ac | : Aporte de agua capilar (nivel freático próximo) |
| Aa | : Aporte del agua almacenada |
| Ea | : Eficiencia de aplicación |
| CEI | : Conductividad eléctrica del agua de riego |
| CEE | : Conductividad eléctrica del extracto de saturación |
| CC | : Capacidad de campo |
| PMP | : Porcentaje de marchitez permanente |
| Da | : Densidad aparente |
| Pr | : Profundidad de humedecimiento |
| % Ag | : Porcentaje de agotamiento |
| PAR | : Radiación Fotosintéticamente Activa |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Tabla A 1 Certificado de análisis de agua y suelo para fines de agrarios | 58 |
| Tabla A 2 Costos de producción | 60 |
| Tabla A 3 Datos diarios de rendimiento de riego por goteo de lechuga en jayllihuaya..... | 62 |

INDICE DE FOTOGRAFIAS

| | |
|---|----|
| Foto 1 Distribuido de las cintas goteras de riego en unidades experimentales..... | 63 |
| Foto 2 Realizado mediciones a las plantas | 64 |
| Foto 3 Cultivo de la lechuga ya con dos semanas | 64 |
| Foto 4 Cultivo de la lechuga ya con tres semanas..... | 65 |
| Foto 5 Cultivo de la lechuga ya listo para la cosecha | 65 |
| Foto 6 Midiendo alturas del cultivo de la lechuga | 66 |

RESUMEN

La presente investigación se fundamenta en la aplicación controlada de agua y la respuesta de cuatro diferentes frecuencias del sistema de riego por goteo, aplicado en el cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa l.*). La investigación se realizó en condiciones de invernaderos ubicados en el Centro Poblado de Jayllihuaya, geográficamente a una altitud de 3,820 m.s.n.m. y en condiciones de temperatura promedio en el invernadero de 24 °C; cuyo objetivos específicos fueron: evaluar el efecto de cinco frecuencias de riego que permita mayor productividad del cultivo de la lechuga en condiciones de invernadero; y estimar el análisis económico y financiero de la implementación en la producción del cultivo de lechuga. En la metodología se estudiaron cinco frecuencias de riego por goteo como variable dependiente y las variables de respuesta fueron: frecuencias (días) de riego rendimiento, masa foliar, volumen de agua, contenido de humedad, y el análisis financiero Beneficio/Costo (B/C). en el Trabajo se ha concluido que las para las condiciones en que se realizó la evaluación, la mayor productividad de la lechuga se obtuvo con la frecuencia de riego de un día y tres días de frecuencia se obtuvo 29.18 y 28.40 ton/ha, que ocuparon los primeros lugares y los dos y cuatro días con rendimientos 25.54 y 24.42 ton/ha ocuparon los últimos lugares, las producciones medias por hectárea, realizada el análisis de variancia no presentaron diferencias estadísticas significativas por lo tanto no era necesario efectuar la prueba de rango múltiple de Tukey ($P>0.05$), sobre la madurez fisiológica del cultivo de lechuga, a los 72 y 73 días después del trasplante, con frecuencias de 1 y 3 ya habían llegado a un 80% de falsos tallos doblados, mientras que las frecuencias de 2 y 4 parcelas, lo hicieron a los 77 y 78 días.

Palabra clave: Riego, frecuencia, lechuga, rendimiento y invernadero

ABSTRACT

The present investigation is based on the controlled application of water and the response of four different frequencies of the drip irrigation system, applied in the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The research was carried out in greenhouse conditions located in the Jayllihuaya Village Center, geographically at an altitude of 3,820 m.a.s.l. and in conditions of average temperature in the greenhouse of 24 °C; whose specific objectives were: to evaluate the effect of five irrigation frequencies that allow greater productivity of lettuce cultivation in greenhouse conditions; and estimate the economic and financial analysis of the implementation in the production of lettuce cultivation. In the methodology, five drip irrigation frequencies were studied as a dependent variable and the response variables were: irrigation frequencies (days) yield, leaf mass, water volume, moisture content, and the financial analysis Benefit / Cost (B / C). In the Work it has been concluded that for the conditions in which the evaluation was carried out, the highest productivity of the lettuce was obtained with the irrigation frequency of one day and three days of frequency was obtained 29.18 and 28.40 ton / ha, which occupied the first places and the two and four days with yields 25.54 and 24.42 ton / ha occupied the last places, the average productions per hectare, performed the analysis of variance did not present significant statistical differences therefore it was not necessary to perform the multiple range test of Tukey ($P > 0.05$), on the physiological maturity of the lettuce crop, at 72 and 73 days after transplantation, with frequencies of 1 and 3 had already reached 80% of false bent stems, while the frequencies of 2 and 4 plots, they did it at 77 and 78 days.

Keyword: Irrigation, frequency, lettuce, yield and greenhouse

I.INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El agua es un recurso natural muy fundamental y de suma utilidad para las diferentes actividades del hombre. La agricultura emplea más del 70% del agua utilizada en el mundo (FAO, 1990), en un contexto de escasez de agua que se agrava por el proceso de calentamiento global, que ha generado cambios climáticos, y vienen afectando las fuentes principales de agua de riego (glaciares y lluvias en la sierra); nos lleva a la necesidad de tomar medidas preventivas para proponer soluciones y optimizar el uso del recurso hídrico.

En el Perú el 80% del agua se utiliza en el riego, sin embargo, la mayor parte (65%) se pierde debido a la práctica extensiva de riegos por gravedad o inundación que tienen una eficiencia de 30% a 45%, haciendo uso excesivo de volúmenes de agua mayores a los sistemas de riego tecnificado. Durante los últimos años la producción de hortalizas ha experimentado un significativo progreso en cuanto a rendimiento y calidad, dentro de ello la superficie cultivada de lechuga ha ido incrementándose, debido en parte a la introducción de nuevas variedades y el aumento de su consumo.

El cultivo de la lechuga es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja; es ampliamente conocida por su valor nutricional, tiene un importante contenido de carbohidratos, micro elementos, vitaminas, y aminoácidos esenciales. Además, se cultiva en casi todos los países del mundo. En el sustento teórico recopilado, se presenta información relacionada con los temas en estudio que permite sustentar la propuesta. Se compiló información de: libros, tesis de grado e información electrónica. Luego se describe el lugar del experimento, la metodología utilizada para esta investigación, materiales necesarios, variables en estudio y los indicadores como parámetros de evaluación. Se detalla paso a paso como se manejó el cultivo durante la fase experimental (Saavedra del R., 2017)

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

La lechuga es un cultivo delicado en su manipulación y manejo agronómico, muy sensible al déficit hídrico por su sistema radicular poco profundo, efecto que se hace evidente sobre la producción de materia verde, exigiendo niveles hídricos en el suelo cercanos a capacidad de campo. Esto lleva al productor a la aplicación continua de agua que en la mayoría de los casos resulta superior a sus necesidades, haciendo un uso ineficaz del agua, afectando al rendimiento del cultivo de lechuga (Eric & Asesor, 2009).

El factor de secamiento (f), representa el descenso humedad que las plantas pueden tolerar según la especie, este valor adimensional varía entre 0.2 y 0.8, para los cultivos más sensibles a la falta de agua se usa valores menores a 0.2 y mayores para los cultivos más tolerables. El factor de secamiento para el cultivo de lechuga se obtiene de estudios realizados en otros países, que no van acorde a nuestras condiciones edafológicas y climáticas de la región. Razón por la cual se planeó las siguientes preguntas. La producción agrícola en la microrregión, se encuentra prácticamente estancada, pues casi no aumenta en calidad ni en cantidad. Todo esto se debe a que los suelos presentan limitaciones ya que en su mayoría son demasiados montañosos y muy delgados como producto de la erosión y escasez de agua en la región.

Además, la mayoría de la superficie de cultivo es de temporal, por otra parte, existen también graves problemas que limitan la productividad como son: grandes pérdidas de agua por conducción, mal uso en el agua en canales. Otro fenómeno es que las tierras solo son propiedad de un pequeño grupo, ocasionando subocupación y desocupación, generando pobreza y otros conflictos sociales como: marginación, migración a las grandes ciudades, migración a las regiones agrícolas más desarrolladas y bracerismo, todo esto trae como consecuencia que los métodos de cultivo sean muy rudimentarios e ineficientes.

Actualmente los agricultores han iniciado a incorporar nuevos métodos de cultivo, y uno de ellos es el cultivo dentro de invernadero, pero en lugar de mejorar la situación se empeora debido a que no existe la debida capacitación y disponibilidad de la gente, ya que la construcción de los sistemas de riego se hace de manera empírica, se hace mal uso del agua y no se controlan las diferentes variables como temperatura, humedad. El nivel cultural de la gente es una de las barreras más fuertes que existen cuando se trata de introducir nuevos sistemas, métodos o técnicas a las que suelen utilizar debido a que la manera en que resuelven sus problemas los han convertido en gente práctica y el trabajo se hace de manera rutinaria, es decir no atienden el

aspecto de análisis, discusión, por ejemplo, ellos instalan una bomba de forma empírica tomando como base alguna otra persona que haya instalado una en sus invernaderos. La experiencia de la gente es muy importante en lo que respecta al manejo de la planta y las plagas debido a que día con día enfrentan problemas diferentes y ellos buscan soluciones hasta salir exitosos.

Por otra parte en las escuelas de ingeniería se realizan trabajos que no parten de un problema real o una necesidad y se pierde un gran potencial ya que todos los trabajos deberían tener una orientación hacia la resolución de problemas existentes en comunidades marginadas o en la industria, todo esto traería grandes beneficios debido a que nuestra escuela tiene orientación social y ha ayudado al desarrollo tecnológico del país, ya que últimamente se ha perdido la confianza tanto del sector social como del industrial en las instituciones educativas ya que han comprobado que en la escuela se realizan trabajos sencillos en un tiempo prolongado. En tal sentido se plantea el siguiente problema:

1.2. Justificación

Por el importante dinamismo con que viene desarrollándose la producción de hortalizas, las condiciones a lo largo de la sierra como es el caso del altiplano peruano, las deficiencias originadas por su escasa implementación, la necesaria industrialización de nuevos productos hortícolas y la finalidad de lograr que este alimento llegue de las personas de bajos recursos, especialmente a la población rural con un grado de desnutrición, presenta para la producción nacional una alternativa económica viable el desarrollo de esta investigación.

En la actualidad el cultivo de la lechuga es una de las hortalizas de gran importancia en la alimentación familiar que se cultiva bajo diferentes modalidades en nuestra región de Puno. Pero el rendimiento de este cultivo viene afectándose por el uso ineficiente del agua de riego, que es altamente dependiente del suministro hídrico artificial debido a los cortos ciclos de reducción. Para manejar con eficiencia el uso de agua en el riego, también se debe evaluar parámetros directamente relacionados a la planificación de riego, así poder destinar al cultivo de lechuga, los volúmenes de agua imprescindibles para su óptimo crecimiento y garantizar la producción y productividad del cultivo. Es necesario entonces la importancia de estudiar variables relacionadas con la frecuencia de riego, como es: el factor de secamiento (f) del cultivo de lechuga, para conocer cuál es el descenso de humedad del suelo que la lechuga puede tolerar,

optimizando el uso del agua para riego, sin alterar la producción de este cultivo (Saavedra del R., 2017).

Considerando la falta de adecuación tecnológica a las técnicas de cultivo en comunidades rurales, el diseño de los sistemas de riego por goteo para invernadero, pretende reemplazar los tradicionales métodos de riego y cultivo, por sistemas más eficiente, como son el cultivo dentro de invernadero usando la técnicas y sistemas hidráulicos tal como riego por goteo, es decir hacer un uso más adecuado del agua. Esto beneficiará principalmente a las familias campesinas, grupos productivos y a las microempresas rurales que cultivan hortalizas y/o especialmente la lechuga. Se hará la comparación entre dos sistemas de riego para elegir el más eficiente en el ahorro de agua, esto podría encajar dentro de lo que se llama la innovación incremental, ya que se realiza una mejora en el proceso para contribuir en el aumento de la productividad y competitividad en el medio rural.

Sin embargo, esto apunta hacia el ahorro de agua, ya que actualmente este último está convirtiéndose en un recurso de gran importancia, debido a la explosión demográfica que se da de forma geométrica en contraste con el aumento de los alimentos que es de forma aritmética. De esta manera se podrán aplicar parte de los conocimientos adquiridos e investigar otras técnicas, adquirir nuevos conocimientos, aplicar nuevos métodos. Además, estos diseños adaptarán tecnología apropiada a los sistemas de riego para incrementar la productividad en microempresas rurales. Es importante mencionar que la adecuación tecnológica debe ser competitiva en comparación con las existentes en la región.

1.3. Preguntas del problema

1.3.1. Pregunta general.

¿Cuál el efecto de cinco frecuencias de riego por goteo, en el rendimiento del cultivo de la lechuga (*Lactuca Sativa L.*) en invernadero que contribuya a un mejoramiento de la productividad agrícola en zonas de déficit hídrico de la provincia Puno?

1.3.2. Preguntas específicas

¿Cuál es el efecto de cinco frecuencias de riego que permita mayor productividad del cultivo de la lechuga en condiciones de invernadero en el Centro Poblado de Jaillihuaya?

¿Cuál es la rentabilidad económico y financiero en la implementación del sistema de riego por goteo en el cultivo de lechuga en el Centro Poblado de Jaillihuaya de Puno?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de cinco frecuencias de riego por goteo, en el rendimiento del cultivo de la lechuga (*Lactuca Sativa L.*) en invernadero que contribuya a un mejoramiento de la productividad agrícola en zonas de déficit hídrico de la provincia Puno.

1.4.2. Objetivo específico

Evaluar el efecto de cinco frecuencias de riego que permita mayor productividad del cultivo de la lechuga en condiciones de invernadero en el Centro Poblado de Jaillihuaya.

Estimar el análisis económico y financiero de la implementación del sistema de riego por goteo en la producción del cultivo de lechuga en el Centro Poblado de Jaillihuaya de Puno.

.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Según (Xu et al, 2004), en el estudio Efecto integrado de la frecuencia de riego y el nivel de fósforo en la lechuga: absorción de P, crecimiento de la raíz y rendimiento nos indica que El experimento comprendió seis tratamientos, con dos concentraciones de P en agua de riego (0.2 mM y 1.0 mM), y tres frecuencias diarias de fertirrigación (uno, cuatro y diez). Se encontró que la alta frecuencia de riego indujo un aumento significativo en la concentración de P de la planta a una baja concentración de solución P, mientras que a una concentración alta de P el efecto de la frecuencia de riego fue insignificante. El aumento de la frecuencia de riego mejoró significativamente el flujo de transpiración de modo que el flujo de transpiración de las plantas con bajo nivel de riego-P en 10 eventos de riego diarios fue similar al de las plantas con alta solución-P.

La disponibilidad de agua es el principal factor limitante de la producción agrícola y ganadera en ambientes de clima mediterráneo. Limitación que, ante las previsiones de Cambio Climático Global realizadas por organismo internacionales, serán mucho mayores en los próximos años. En este escenario, la eficiencia en el uso de los recursos hídricos debe ser un aspecto transversal de las políticas públicas que debe, por tanto, ser afrontado desde diversos puntos de vista. En este sentido, uno de los temas claves a considerar es la eficiencia con la que las plantas usan el agua.

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión de los diferentes aspectos relacionados con este tema, considerando las diferentes escalas a las que se estudia la eficiencia en el uso del agua por las plantas (EUA), desde la hoja hasta el cultivo o el ecosistema. Así, se abordan las dificultades técnicas que existen para medir, de una forma precisa, la EUA de un cultivo o de un ecosistema, la importancia del ambiente y de las prácticas agronómicas como determinantes de la EUA, la diversidad genética inter e intraespecífica, y las implicaciones prácticas de estos factores a la hora de incrementar la EUA, según (Medrano et al., 2007).

Para evitar la actual contaminación del agua proveniente de la horticultura intensiva de invernaderos, se deben desarrollar sistemas cerrados con recirculación de aguas de drenaje. Para cultivos con una alta densidad de siembra, como lechuga, se pueden usar lechos poco profundos

de arena gruesa si se puede regular adecuadamente el suministro de agua y nutrientes. El objetivo del presente estudio fue determinar las características de enraizamiento y la distribución de la raíz de la lechuga en los lechos de arena, según la profundidad del sustrato, la distancia a un drenaje, las líneas de goteo y los puntos de goteo, y el exceso de solución nutritiva aplicada. Se comprobó la hipótesis de que un pequeño exceso y una gran distancia entre los puntos de goteo llevan a acumulaciones locales de sal en el entorno de la raíz y, por lo tanto, a una distribución de la raíz menos homogénea.

Según Schwarz, Heinen, & Van, (1995), los datos confirmaron ambas partes de la hipótesis: se encontraron patrones espaciales en la distribución de sal. Las mediciones detalladas en un lecho de arena con solo una línea de goteo por cada dos hileras de cultivos y una cantidad de solución de fertigración agregada de 2 veces la evapotranspiración estimada, mostraron que la densidad de la longitud de la raíz se correlacionó negativamente con el contenido de sal cuando se realizaron comparaciones dentro de la misma capa. El rendimiento del cultivo por hilera se vio afectado en el tratamiento extremo, es decir, una línea de goteo por cada dos hileras de cultivo y una cantidad de solución de fertigración agregada 1.3 veces la evapotranspiración estimada, pero el rendimiento por lecho todavía no se vio afectado. El aumento de la heterogeneidad del cultivo causará problemas en la cosecha e indica que el tratamiento más extremo incluido en la comparación está más allá del límite de heterogeneidad aceptable en el medio radicular. La lechuga se puede cultivar en lechos de arena con una solución de recirculación de nutrientes, siempre que las líneas de goteo estén bien distribuidas en la cama y que el exceso de solución de nutrientes diaria supere el 30% de la demanda.

Según Roncal, (2008), la utilización del sistema semihidropónico mitigará el impacto a la salud que se produce al consumir cultivos regados con aguas residuales. En cualquier lugar donde se emplee este sistema, disminuirá fuertemente el riesgo de contraer alguna enfermedad estomacal, sobre todo en ciudades de América Latina, donde el consumo de hortalizas pone diariamente en riesgo la salud de las personas.

Según Zenaida, (2015), su investigación se fundamenta en la evaluación de los sistemas de riego localizado sobre el crecimiento y producción del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Fue llevado a cabo durante el periodo de junio a octubre del 2014, en los campos

experimentales del Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos PNIA, Distrito de La Molina.

Evaluando dos sistemas de riego: goteo (RI) y exudación (RO) en parcelas divididas con cuatro bloques (B1, B2, B3, B4). Las variables en estudio fueron: demanda de agua del cultivo, eficiencia de aplicación, altura de planta, longitud de raíz, biomasa aérea seca, cobertura del canopy (CC), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), rendimiento, unidades de calor (D°) requeridas para alcanzar cada fase de desarrollo y el análisis financiero Beneficio/Costo (B/C).

Una vez concluido el estudio, las variables en estudio alcanzaron los siguientes resultados: volumen total de agua aplicada bajo el sistema de riego por exudación con 1,571.6 m³/ha y por goteo con 1,708.5 m³/ha. La eficiencia de aplicación obtenida fue de 81% para goteo y 78% para exudación. La cobertura del canopy a 80 DDS fue superior (88.5%) por exudación en comparación con el goteo (69.8). El índice de área foliar óptimo se tuvo a 73 DDS siendo (2.9) bajo exudación y (2.5) bajo riego por goteo, el índice de cosecha por exudación fue altamente significativo con un valor de (0.5) a diferencia de goteo con (0.3). El sistema de riego por exudación tuvo el mayor rendimiento con 3,519.3 Kg/ha seguido por goteo con 1,587.9 Kg. /ha. La mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) fue bajo riego por exudación con 2.2 kg/m³ y la menor en goteo con 0.9 kg/m³.

El cultivo de quinua de la variedad Inia 431- Altiplano, requiere en promedio un total de 1178.8 grados día de calor acumulado que el cultivo requiere para concluir su ciclo. El análisis financiero B/C y rentabilidad determinan que el mejor sistema de riego es exudación con 2.9 B/C y 190 % de rentabilidad y lo secunda el riego por goteo con 2.4 B/C y 186% de rentabilidad. La demanda de agua, la eficiencia de uso de agua, el desarrollo del cultivo y el análisis financiero Beneficio/Costo respondieron positivamente en la producción del cultivo de quinua bajo el sistema de riego por exudación a diferencia del goteo.

Según Vilca, (2015), trabajo de Investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Agraria Illpa, INIA - Puno. Cuyo objetivo principal es “Determinar la variación del nivel freático para el aprovechamiento de las aguas subterráneas con fines de riego presurizado”. La metodología utilizada para el presente estudio se realizó la evaluación y monitoreo de los pozos

en el área de estudio, se ubicó el pozo para el aprovechamiento del recurso hídrico, para ello realizándose la prueba de bombeo y determinándose el rendimiento (caudal) del pozo asimismo se determinó las características los parámetros hidráulicos del pozo de Permeabilidad K, Transmisibilidad, Coeficiente de Almacenamiento S, luego de determinar el caudal de aforado del pozo en estudio se realizó el diseño de riego por goteo en el cultivo de la quinua considerando para la obtención de semilla de quinua certificada y cultivo orgánico.

Los resultados obtenidos es que durante la evaluación y el monitoreo de los pozos se determinó la dirección del movimiento de las aguas subterráneas presentándose el plano de isohipsas, asimismo se determinó la variación del nivel freático durante la prueba de bombeo del pozo N°05 fue: $\Delta = 15.00$ m. El rendimiento del pozo en estudio es de 2.3 litros por segundo, cuyos parámetros hidráulicos del pozo es Permeabilidad $K=0.40$ m/día, Transmisibilidad $T=11.58$ m/día, Coeficiente de Almacenamiento $S=$, asimismo se obtuvo la ecuación de relación de la variación del nivel freático y el tiempo, del pozo en estudio que es: Luego se diseñó el riego por goteo, con agua subterránea del pozo para la producción de quinua y la obtención de la semilla certificada por INIA, para un área total de 5 hectáreas

2.2. Marco referencial

2.2.1. Cultivo protegido

El cultivo protegido es un sistema o método agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica). Mediante esta técnica de protección se cultivan plantas modificando su entorno natural para prolongar el periodo de recolección, alterar los ciclos convencionales, aumentar el rendimiento y mejorar su calidad, estabilizar la producción y disponer de productos cuando la producción al aire libre se encuentra limitada.

El factor determinante más relevante de la actividad productiva hortícola es el clima. Entre las más importantes limitaciones para la producción hortícola cabe citar la falta de radiación solar, temperatura insuficiente o excesiva, exceso o falta de humedad, deficiencia de nutrientes, la presencia de maleza, exceso de viento e inadecuado contenido de dióxido de carbono (o anhídrido carbónico) del aire. La mayor parte de las limitaciones citadas son factores climáticos o directamente relacionados con el clima, que pueden alterarse mediante el cultivo protegido.

La falta de agua es la limitación más importante para la producción agrícola. De igual forma, la pérdida provocada por la sequía es similar a la inducida por los demás factores climáticos juntos, incluyendo el exceso de agua, inundación, frío, granizo y viento (Ramirez & Nienhuis, 2012).

El riego es, sin duda, el medio más antiguo para proteger al cultivo (de la sequía) y ha permitido la agricultura en regiones áridas y desérticas que, sin riego, no serían productivas. Actualmente, el cultivo protegido abarca mucho más allá del simple riego, diversas técnicas de protección de plantas, han alcanzado en el último siglo una enorme importancia, entre el sistema más importante del cultivo protegido destacan los invernaderos (Lopez & Garcia, 2015)

2.2.2. Invernadero

Un invernadero es un sistema productivo capaz de proporcionar cosecha fuera de la época normal en la que se producen al aire libre; su objetivo es condicionar los principales elementos del clima entre límites que estén de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo, de forma que el sistema resulte económicamente rentable (Liliana, 2012).

2.2.3. Factores climáticos al interior de un invernadero

Los factores climáticos tienen una importancia sobre el funcionamiento óptimo de los fenómenos fisiológicos de los vegetales. El desarrollo fisiológico óptimo y equilibrado de los vegetales depende de que esos factores inciden favorablemente sobre ellos. Algunos de los factores que intervienen en este desarrollo óptimo son los siguientes: luminosidad, temperatura y humedad. De nada sirve que se actué sobre alguno de ellos si no se hace en su proporción correspondiente con los demás. Si uno de los factores queda sensiblemente reducido, se puede anular el esfuerzo que se haga con los restantes factores fundamentales (Beltrano & Gimenez, 2015).

2.2.4. Luminosidad

La luminosidad en un invernadero es la principal fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de la planta. La fracción de la radiación solar que es útil para el proceso de la fotosíntesis es designada como Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), ésta corresponde a lo que es llamado luz: aquel fenómeno que es perceptible por el ojo humano y que comprende

el espectro electromagnético de longitud de onda entre 400 nm y 700 nm. La consideración de la radiación solar en el sistema de agricultura protegida es importante para la productividad de un cultivo, por lo tanto, es importante analizar los factores que pueden modificar la calidad y la cantidad de la radiación que llega a las plantas (Beltrano & Gimenez, 2015).

2.2.5. Temperatura

Cada función vital del vegetal necesita una temperatura crítica, al estar por encima o por debajo de ella no se realiza la función o se ve dificultada. Cada especie vegetal, en cada momento crítico de su ciclo biológico, necesita una temperatura óptima para su desarrollo normal. La temperatura es un parámetro importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro del invernadero, ya que influye en el desarrollo y crecimiento de la planta, los sistemas empleados para el control de este parámetro son: sistema de calefacción por aire caliente, sistema de pantallas térmicas, ventilación natural y forzada y refrigeración por evaporación de agua (Rueda-Magaña, 2004).

2.2. 6. Radiación solar

La radiación solar dentro de un invernadero es siempre menor a la que existe en el exterior, fuera de su cubierta; es lógico, si se tiene en cuenta la pérdida por reflexión y absorción del material de cubierta. La radiación que penetra dentro del invernadero, con longitud de onda corta, es tomada por el suelo, los vegetales y cuerpos que hay dentro de la instalación, convirtiéndose en energía térmica, que a (Beltrano & Gimenez, 2015).

2.3 Relación agua, suelo y planta

Todos los procesos fisiológicos de las plantas son afectados directa o indirectamente por la cantidad de agua existente en el suelo. La producción es una función de las actividades fisiológicas de los vegetales y está naturalmente subordinada a factores que, como el agua, afecta dichas actividades.

Bear, (1963), afirma que las necesidades de agua de la planta varían primordialmente con la necesidad de la misma, fertilidad del suelo y características climáticas de la zona (humedad, radiación, temperatura, horas de sol). Así mismo, las plantas precisan grandes cantidades de

agua, material alimenticio y de transporte, siendo el agua el disolvente que permite la penetración en ellas de nitrógeno y de las sustancias minerales.

Según Doorembos & Kassam, (1979), exponen, que, si existe un déficit riguroso de agua durante el periodo vegetativo, generalmente se retrasa el crecimiento de las plantas y ocasiona un desarrollo no uniforme. El agua puede influir sobre la mayoría de factores que controlan el crecimiento de las plantas (estructura, textura, aireación, salinidad, hábitos de enraizamiento, temperatura, humedad y otros), más que cualquier otro factor. Así mismo influye en todos los factores del suelo, altera el microclima al que está expuesto la planta misma, además de cambios en el balance entre. el crecimiento vegetativo y reproductivo.

2.4 Necesidades netas de agua del cultivo

Las precipitaciones, y en concreto su fracción efectiva, aportan parte del agua que los cultivos necesitan para satisfacer sus necesidades de transpiración. El suelo actúa como reserva, almacenando parte del agua de las precipitaciones y devolviéndosela a los cultivos en momentos de déficit o escasez. En climas húmedos este mecanismo es suficiente para garantizar un crecimiento satisfactorio de los cultivos de secano. En climas áridos, o durante periodos secos prolongados, el riego es necesario para compensar el déficit de evapotranspiración producido por unas precipitaciones erráticas o insuficientes (FAO, 1990).

2.4.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia y se denomina ET_o. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas, es decir la evapotranspiración de referencia es la cantidad de agua consumida durante un determinado periodo de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua. Los únicos factores que afectan ET_o son los parámetros climáticos, por lo tanto, puede ser calculada a partir de datos meteorológicos. ET_o expresa el poder de evaporación de la atmósfera en una localidad y época del año específicas y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo.

Por otro lado, Fuentes, (2003) menciona que una gran parte del agua absorbida por la planta se consume en la evapotranspiración ya que solo una mínima parte (0,1 al 1%) se incorpora a los tejidos de las plantas (agua de constitución). Por lo tanto, desde un punto de vista práctico, se consideran las necesidades hídricas del cultivo iguales a las necesidades de evapotranspiración. Los efectos combinados de radiación, temperatura, humedad y viento influyen sobre la cantidad de agua evaporada en una superficie de agua libre, estos mismos elementos climáticos influyen también, de modo análogo, sobre la evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o).

El método del tanque evaporímetro se basa en relacionar la evaporación del agua de.l tanque, con la evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o), mediante la siguiente relación:

$$K_p = ET_o/E_p$$

Dónde: K_p = coeficiente del tanque. Depende del tipo del tanque, clima y del medio que la circunda

ET_o = evapotranspiración de cultivo de referencia (mm/d)

E_p evaporación del tanque (mm/d). Representa el valor medio diario del periodo considerado. En la Tabla N° 01 se muestran valores para el coeficiente del tanque evaporímetro (K_p) para el tanque clase A en diversas condiciones climáticas dados por la F AO, en su publicación Riego y Drenaje N° 24 (Doorembos & Kassam, 1979)

Tabla 1.Coficiente de tanque evaporímetro (K_p) y valores de velocidad del viento y HR.

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

Fuente: (FAO, 1990) pag. 81

La cubeta tipo clase A, que es de hierro galvanizado de forma circular con un diámetro de 121 cm y una profundidad de 25,5 cm. Se coloca sobre una plataforma de madera de 15 cm de altura sobre el suelo. Se instala en un medio abierto, con gras segado frecuentemente a su alrededor y en un lugar donde, en un radio de 50 m, no haya cultivos con más de un metro de altura.

2.4.2 Coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc) es un coeficiente adimensional que relaciona la evapotranspiración del cultivo con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y representa la evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas de crecimiento vegetativo y de rendimiento. Los coeficientes de cultivo varían con el desarrollo vegetativo de la planta, clima y sistema de riego. El valor de coeficiente de cultivo (Kc) depende de las características de la planta y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su periodo vegetativo.

2.4.3 Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. El rendimiento de un cultivo es máximo cuando la transpiración es máxima y esto ocurre cuando el cultivo se desarrolla en las mejores condiciones posibles, entonces la evapotranspiración de cultivo coincide con la evapotranspiración máxima. Para determinar la evapotranspiración de un cultivo se utiliza el método F AO propuesto por (Doorembos, J.; Pruitt, W., 1977), en el que la evapotranspiración del cultivo se calcula mediante la relación:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

Dónde: ET_c evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (mm/d)

ET_o evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/d)

K_c coeficiente del cultivo (adimensional)

2.4.4 Necesidades netas de agua del cultivo

Cuando el agua se aplica solo a una fracción de la superficie del suelo, la evapotranspiración es distinta que cuando el agua se aplica a toda la superficie, por los siguientes motivos:

La magnitud de la evaporación depende de la superficie de suelo mojado. Por tanto, en riego localizado disminuye el valor de la evaporación. Al mojarse solo una fracción del suelo se produce un calentamiento de este mayor que si se mojara toda la superficie, este calentamiento da lugar a una mayor emisión de calor por radiación, que es captada, en parte, por el cultivo, lo que se traduce en un aumento de la transpiración.

Cuando la frecuencia de riego es bastante espaciada, la humedad del suelo es escasa en los días anteriores al riego y la planta tiene dificultad en la absorción de agua, lo que se traduce en una menor transpiración. En riegos de alta frecuencia, el suelo mantiene siempre en unos valores de humedad próximos a la capacidad de campo, lo que facilita la absorción de agua y la transpiración, esto supone un mejor aprovechamiento del agua y un mayor rendimiento del cultivo, aunque por este motivo se consuma mayor cantidad de agua.

El suelo caliente origina un calentamiento del aire que se asienta sobre él, dando lugar a unos movimientos de advección, mediante los cuales el aire caliente se eleva y calienta las plantas, con el consiguiente aumento de la transpiración. En resumen, el efecto de la localización y la alta frecuencia de aplicación suponen, con respecto a otros sistemas de riego, una disminución de la evaporación y un aumento de la transpiración, el balance de necesidades netas será menor en plantaciones jóvenes de marcos grandes de plantación, mientras que no habrá diferencia apreciable en cultivos hortícolas con gran densidad de plantas. En cualquier caso, las necesidades netas se corrigen mediante el siguiente coeficiente corrector:

$$Nn = ETc * Kr$$

Donde:

KT coeficiente corrector por localización

ETc evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (mm/d)

Nn necesidades netas del cultivo (mm/d)

2.5 Necesidades totales de agua

Fuentes, (2003), menciona que, dejando aparte las pérdidas habidas en los canales y acequias de conducción y distribución del agua hacia la parcela de riego, las pérdidas ocurridas en la propia parcela se pueden agrupar de la siguiente forma:

2.5.1 Eficiencia de conducción y eficiencia de distribución

No toda el agua aplicada a un cultivo es aprovechada por el mismo. Una parte se pierde en las conducciones y otra en el terreno por evaporación, escorrentía o percolación profunda. Pero además existe otro volumen que no se aprovecha, como consecuencia de la mala distribución sobre el mismo. En el riego por goteo estas pérdidas se reducen considerablemente hasta el punto que la eficiencia pasa a depender solamente de la eficiencia de aplicación.

2.5.2 Eficiencia de aplicación

Rodrigo et al. (1992) definen la eficiencia de aplicación del agua en un sistema de riego como la proporción entre la cantidad de agua almacenada entre la zona del sistema radical (disponible para la planta) y la cantidad de agua aplicada al sistema de riego.

$$Nn \text{ } E_a = Nt$$

Donde:

E_a eficiencia de aplicación

Nn necesidades netas de donde

$$Nn \text{ } Nt = E_a$$

Nt = necesidades totales o volúmenes de agua aplicada

Teniendo en cuenta las clases de pérdidas ocurridas en una parcela, mencionadas anteriormente:

$$E_a = R_t * F_l * F_r * C_u$$

Donde:

R_t relación de transpiración

F_l factor de lavado

F_r factor de rociado (goteo=1)

Cu coeficiente de uniformidad del sistema de riego

2.5.3. Relación de transpiración

Es la relación entre la cantidad de agua evapotranspirada y la cantidad de agua puesta a disposición de la planta. La diferencia entre esas cantidades se debe a las pérdidas por escorrentía superficial y por percolación profunda. La escorrentía se produce en el riego por aspersión, sobre todo, cuando la cantidad de agua aplicada sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo. En el caso de riego localizado por goteo no se considera la escorrentía, por lo que la relación de transpiración depende exclusivamente de la percolación.

Tabla 2 Transpiración debida a la percolación (R_p) en terrenos con pendiente inferior al 5%.

| Prof. de raíces | Textura del suelo | | | |
|-----------------|-------------------|---------|-------|------|
| | Muy arenoso | Arenoso | Media | Fina |
| < 0.75 m | 0.9 | 0.9 | 0.95 | 1 |
| – 1.00 | 0.9 | 0.95 | 1 | 1 |
| >1.00 | 0.95 | 1 | 1 | 1 |

(FAO, 1990)

En general, con un buen manejo del riego a presión las pérdidas por percolación no deben sobrepasar el 10%, por lo que la relación de percolación será superior al 90%.

2.5.4. Requerimiento de lavado

El arrastre de exceso de sales presentes en el suelo se hace aplicando agua extra mediante el riego. La fracción de agua de riego que debe atravesar la zona radical para arrastrar el exceso de sales, es el requerimiento de lavado (RL), cuya cuantía viene en función de la salinidad del agua de riego y de la tolerancia de los cultivos a la salinidad. El factor de lavado será:

$$FL = 1 - RL$$

Donde:

FL = factor de lavado (tanto por uno)

RL = requerimiento de lavado (tanto por uno)

Para evitar la acumulación de sales en la zona radical hasta límites peligrosos es necesario que la cantidad de sales desplazada por la lixiviación sea, al menos, igual a la aportada por el agua

de riego. El requerimiento de lixiviación o lavado o fracción de lavado es la fracción de agua de riego que debe atravesar la zona radical para desplazar las sales que se acumulan en dicha zona, expresado en tanto por uno. Así, por ejemplo, un requerimiento de lixiviación de 0,15 significa que el 85% de agua de riego corresponde a la evapotranspiración y el 15% restante, a la lixiviación. El requerimiento de lixiviación depende de la salinidad del agua de riego y de la tolerada por el cultivo. Este requerimiento viene dado por las siguientes expresiones:

2.5.5. Coeficiente de uniformidad (CU)

La uniformidad de riego se refiere al reparto más o menos uniforme del agua infiltrada, y se expresa mediante un valor porcentual. Cuando este valor es 100 significa que en toda la superficie de riego se infiltra la misma cantidad de agua, cosa que nunca ocurre en la práctica. La falta de uniformidad en la distribución del agua origina un aumento de la cantidad de agua aplicada, con el fin que las plantas que reciban menos cantidad tengan lo suficiente para cubrir sus necesidades, con lo cual habrá otras plantas que reciban con exceso.

Cuando la instalación está en funcionamiento hay que efectuar la comprobación del CU previsto en el diseño, para lo cual en cada sub-unidad se puede adoptar el siguiente criterio (Fig. 1).

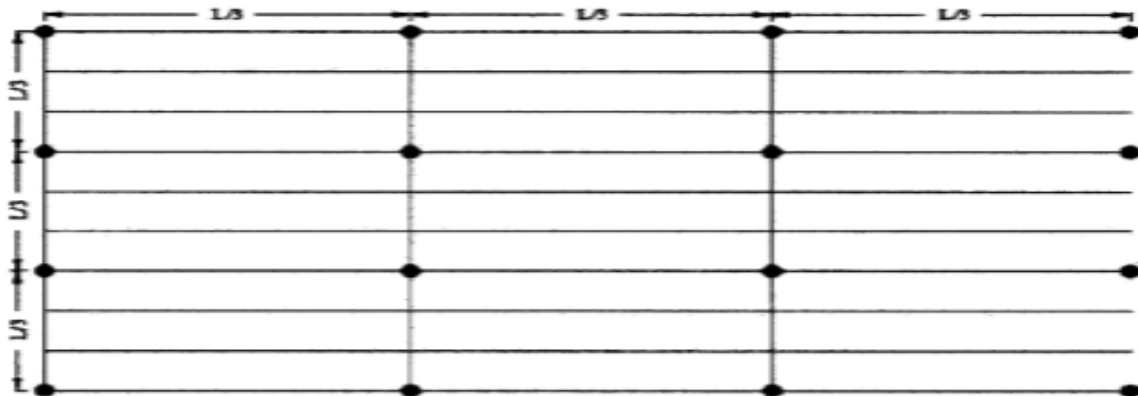


Figura 1 Diseño del campo experimental

Dentro de la sub unidad se eligen cuatro laterales: el primero, el último y los dos intermedios, situados, respectivamente, a $1/3$ del primero y a $1/3$ del último. Dentro del lateral se eligen 4 plantas: la primera, la última y las dos intermedias, escogidas con el mismo criterio anterior.

Se mide el caudal que reciben las f_6 plantas (suministrado por todos los emisores que abastecen a esa planta) y se aplica el CU, que incluye solo factores hidráulicos:

$$Cu == \sim O_{prom}$$

Donde:

Q_{2s} caudal medio de los emisores que constituyen el 25 % de caudal más bajo

Q_{prom} caudal medio de todos los emisores considerados

2.6. Riego por goteo

Según Welch & Shock, (2013), el riego por goteo suministra agua de manera lenta y uniforme a baja presión a través de mangueras de plástico instaladas dentro o cerca de la zona radicular de las plantas. Es una alternativa a los sistemas de riego por aspersores o surcos. Un sistema de riego por goteo bien diseñado pierde muy poca agua porque hay poco escurrimiento, evaporación o percolación profunda en suelo limoso. Con el riego por goteo hay menos contacto del agua con el follaje, los tallos y los frutos. Por eso, las condiciones son menos favorables para el desarrollo de enfermedades en las plantas. Con un buen programa de riego que cubre las necesidades de las plantas, es posible aumentar el rendimiento y la calidad de la cosecha..

El riego por goteo es aquel sistema que, para conseguir mantener el agua en la zona radicular en las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. De esta forma el agua es conducida por medio de conductos cerrados desde. el punto de. la toma hasta la misma planta, a la que se aplica por medio de dispositivos que se conocen como gateadores, goteros o emisores.

2.6.1. Características

El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente del riego tradicional, en el que predominan las fuerzas de gravedad y, por tanto, el movimiento vertical. También difiere el movimiento de las sales.

No se moja todo el suelo, si no parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del gotero y el tiempo de aplicación. En esta parte húmeda es en la que la planta concentrará sus raíces y de la que se alimentará.

Al existir zonas secas no exploradas por las raíces y zonas húmedas, puede considerarse en cierto modo un cultivo en fajas o surcos, pero con un sistema radical inferior al normal. Esto significa que sobre una faja de goteo habrá más plantas que en una de riego tradicional, por lo que se trata, en definitiva, de un cultivo intensivo, que requerirá, por tanto, un abonado adecuado para responder a las extracciones de las cosechas. El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión de agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es inferior a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas de riego, pues habría que regar diariamente y se produciría encharcamiento y asfixia radicular.

2.6.2. Ventajas

Ahorro importante de agua, mano de obra, abonos y productos fitosanitarios.

Posibilidad de regar cualquier tipo de terreno por accidentados o pobres que sean.

La pendiente del terreno no es un obstáculo a este tipo de riego, por la regulación de caudales que puede conseguirse (auto compensación). Así mismo, los suelos pobres o de poco espesor tampoco presentan inconveniente, pues en cierto modo el goteo es una forma de hidroponía en que el terreno actúa de sostén.

Utilización de aguas de baja calidad.

Aumento de producción, adelantamiento de cosechas y mejor calidad de los frutos como consecuencia de tener la planta satisfecha, sus necesidades en agua y nutrientes en cada instante.

Permite realizar simultáneamente al riego otras labores culturales, pues al haber zonas secas, no presenta obstáculo para desplazarse sobre el terreno.

No altera la estructura del suelo.

Fertirriego, uno de los avances que dio el riego por goteo fue el control de los nutrientes.

Reducción de los problemas de plagas en las hojas. Debido a que el gotero emite el agua directamente sobre la raíz de la planta, no empapa la hoja.

2.6.3. Desventajas

Es un sistema caro de instalar, por lo que existe una limitación de tipo económico en su aplicación a los cultivos. No todos los cultivos son tan rentables como para justificar las fuertes inversiones que el goteo supone.

En zonas frías y con cultivos sensibles a las heladas, el riego por goteo no protege contra las mismas por lo que su uso debe descartarse. Si se proyecta o se instala mal, puede ocasionar la pérdida de la cosecha por falta de agua o nutrientes.

En zonas áridas en que no existe posibilidad de lavado, el uso sistemático y durante varios años de agua de mala calidad puede arruinar los terrenos de cultivo si no se riega de forma adecuada.

Obstrucción de los goteros por las partículas que arrastra el agua y que, en ocasiones, puede acarrear daños a la instalación y al cultivo.

2.7. Lámina de riego

Es la relación que existe entre la cantidad de agua (L3) y la unidad de área (L2) donde se aplica y se expresa en unidades de longitud (L). El cálculo estará determinado por:

$$ET_c = E_{T_o} * K_c L_r = E_{fr} = E_{fr}$$

Donde:

ET_c evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (mm)

L_r lámina de riego (mm)

K_c coeficiente del cultivo

E_{fr} eficiencia de riego (tomada de la eficiencia de aplicación)

2.8. Velocidad de aplicación

Fuentes (1998), menciona que la velocidad de aplicación de un sistema es la cantidad de agua que descarga un emisor sobre la superficie que teóricamente le corresponde regar, suponiendo que esa cantidad se repartirá de modo uniforme. Viene dada por la fórmula:

Donde

V_a velocidad de aplicación (mm/h)

q caudal del emisor (l/h) S superficie teórica de riego (m^2)

2.9. Tiempo de riego

$$q V_a = S$$

Es el tiempo expresado en horas o minutos, mediante el cual el sistema de riego oferta a través de sus emisores, el volumen por unidad de área requerida para satisfacer las necesidades totales de agua del cultivo. El tiempo de riego será:

Donde:

T_r tiempo de riego (h)

V_a velocidad de aplicación (mm/h)

L_r lámina de riego (mm/d)

2.10. Frecuencia de riego

$$L_r T_r = q$$

Se determina la frecuencia constante de los riegos para satisfacer las necesidades puntuales de agua (Vermeiren y Jobling, 1986). Los suelos de textura gruesa con fuerte permeabilidad y baja capacidad de retención necesitan pequeñas y frecuentes aplicaciones de agua para evitar las pérdidas por percolación profunda. En los periodos de fuerte evapotranspiración los riegos pueden ser lo suficientemente frecuentes para que la tensión del agua en el suelo sea baja.

2.11. El estado del agua en el suelo

2.11.1. Punto de marchites permanente (PMP)

FAO, (1990), se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o muy ligeramente húmedo.

Torres, (2012), indica que cuando el suelo está en Capacidad de Campo y no se le vuelve a aplicar agua mediante el riego o la lluvia, las plantas hacen uso del agua almacenada, además se evapora agua de la superficie del suelo, esto ocasiona que los suelos se vayan secando poco a poco, en la medida que los suelos se secan, es más difícil para las plantas extraer el agua, hasta llegar un momento en que las plantas ya no pueden extraerla y se marchitan. Aunque el suelo aún contiene cierta cantidad de agua, las plantas no pueden utilizarla, en ese momento el suelo se encuentra en el nivel de humedad conocido como Punto Permanente de Marchitez.

Este punto depende fundamentalmente de la planta, pues unas plantas resisten más la falta de agua que otras, aun estando plantadas en el mismo tipo de suelo. En la práctica del riego, las aplicaciones de agua se realizan mucho antes de llegar a este punto, normalmente el criterio aplicado considera efectuar el riego cuando la planta ha consumido aproximadamente el 30% o 50% del agua que quedó retenida entre la Capacidad de Campo y el punto permanente de marchitez. En riego por goteo este porcentaje es menor y puede ser cercano al 10%. (Allen, et al, 1998).

2.11.2. Densidad aparente (Da)

Fuentes, (2003), define la densidad aparente (da.) de un suelo como el peso de suelo seco por unidad de volumen de suelo, incluyendo los poros, se expresa en gramos por cm^3 . La densidad aparente es una propiedad del suelo de gran importancia para el diseño y operación de sistemas de riego debido a que es necesaria para calcular la cantidad de agua (lámina o volumen) a aplicar en un riego.

2.11.3. Zona radicular (Z_r)

Fuentes, (2003) indica que la profundidad de la zona radicular determina en gran parte la lámina de agua a aplicar y el intervalo de riego. Así, cultivos con sistema radicular superficial deben ser frecuentemente regados y con láminas pequeñas de agua, mientras que los cultivos de raíces profundas y bien desarrolladas se riegan normalmente con intervalos de riegos largos y en cada riego se aplica una gran cantidad de agua para llevar a capacidad de campo la zona radicular de donde la planta extrae la mayor parte del agua.

2.11.4. Lámina bruta

Es la máxima cantidad de agua que un suelo puede almacenar hasta la zona radical del cultivo y está dada por la ecuación:

$$db = (CC - PMP)/100 \times Da \times Zr$$

Donde:

- db = Lámina de agua bruta;
- CC= Capacidad de campo;
- PMP=Punto de marchitez permanente;
- Da= Densidad aparente; y
- Zr= Zona radical del cultivo

2.11.5. Lámina neta

Es la cantidad de agua que se debe reponer al cultivo, para que éste no sufra de estrés hídrico y está dada por:

$$dn = db \times UR(DPH)$$

Donde:

- dn = lámina de agua neta;
- db = lámina de agua bruta; y
- UR= umbral de riego (DPH =déficit permitido de humedad)

2.11.6. Eficiencia de aplicación

Por otra parte la eficiencia de aplicación, Efa , según Torres (2012) es la relación entre el agua incorporada o almacenada, en la capa edáfica que exploran las raíces, y la lámina de agua a aplicar: (da).

$$Efa = (db \text{ o } dn)/da \times 100$$

Donde:

Efa = eficiencia de aplicación;

db = lámina de agua bruta;

dn = lámina de agua neta;

da = lámina de agua aplicar

2.11.7. Infiltración básica

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración. Si se aplica agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber agua y, el exceso se acumula sobre la superficie, este exceso escurre si las condiciones de pendiente lo permiten. Entonces la capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo” es simplemente el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica (Fuentes, 2003).

Mientras la velocidad de aporte de agua a la superficie del suelo sea menor que la infiltrabilidad, el agua se infiltra tan rápidamente como es aportada, esto nos dice que la velocidad de aporte determina la velocidad de infiltración (o sea, el proceso es controlado por el flujo). Sin embargo, existe también la posibilidad que la velocidad de aporte exceda la infiltrabilidad del suelo y en ese mismo momento ésta última es la que determina la velocidad real de infiltración; de ese modo el proceso es controlado por las características del perfil (Torres, 2012).

2.11.8. Frecuencias de riego

Según Torres (2012) sostiene que el manejo de agua de riego es un factor fundamental para optimizar la producción hortícola, conocer las características del suelo, es también otro factor determinante para hacer un buen uso del agua de riego. El cultivo de la lechuga por poseer un sistema radicular superficial es sensible a fluctuaciones en los niveles del contenido de humedad del suelo, por lo que el rendimiento y la calidad de los bulbos se ven afectados al cambiar las frecuencias de riego. Otros métodos que pudieran ser más precisos requieren equipo y técnicas más sofisticados. La distribución de la humedad en el perfil del suelo depende del método de riego; si el riego es por surco el desplazamiento es unidimensional hacia abajo.

En el riego por goteo, la infiltración es tridimensional cuando los emisores se encuentran a mayor distancia y bidimensional cuando los emisores están más cerca, formando una franja mojada; todos estos movimientos del agua en el suelo dependerán de las propiedades de conductividad hidráulica del suelo, de la descarga y el tiempo de aplicación; lo que influye en el desarrollo radicular y su patrón de distribución, que va a depender también de la resistencia del suelo a la penetración; la interacción con la aeración del suelo y la dotación de nutrientes; por lo que el sistema radicular se adapta rápidamente en su desarrollo a la estructura del bulbo de humedecimiento.

Por el contrario, a mayores frecuencias se produjeron mayores porcentajes de bulbos de menor diámetro, lo que podría ser una ventaja si la demanda del mercado requiere de estos tamaños. Para fines de manejo del cultivo en un suelo franco arcilloso convendría realizar riego en frecuencias cada 2 días, lo que permitiría realizar otras labores en el cultivo. Para los suelos arcillosos las frecuencias se podrían aumentar a cada 2-3 días sin afectar el rendimiento.

Se ha determinado según Fuentes (2003) que de manera general, cuando el riego es más frecuente, el cultivo consume más agua ya que tiene mayor cantidad de ella fácilmente disponible; o sea que sí, existe ahorro de agua al regar con frecuencias de riego más largas. En muchos casos, alargar el intervalo de riego hasta el límite permitido por el cultivo, el sistema de riego usado y el sistema de entrega de agua a la finca constituye un programa adecuado de riego, no sólo en términos de ahorro de agua, sino que también en ahorro de mano de obra, disponible

de efectuar otras actividades agrícolas, mejoramiento en el desarrollo de las raíces, reducción de enfermedades y de pérdida de fertilizantes solubles.

Según Gómez (2008) indica que el espaciamiento entre riegos es un factor que depende fundamentalmente del cultivo, el suelo y el clima. No existe un intervalo fijo óptimo, y dado que el objetivo del riego es satisfacer las necesidades del cultivo en forma idónea, habrá que mantener la humedad del suelo en un punto tal que permita una alta transpiración a la planta.

Según Jorge (2008) señala que pueden mencionarse dos tendencias en cuanto a la fijación de los intervalos de riego. La primera consiste en regar cuando se alcanza un déficit de agua predeterminado. En esta forma los intervalos serán más cortos en los periodos de alta transpiración y se alargarán más en los de baja transpiración. La segunda es regar con intervalos fijos que naturalmente habrá que cambiar según las épocas del año. Las cantidades de agua aplicada no serán las mismas, y la eficiencia en el aprovechamiento del agua por el cultivo es ligeramente inferior.

2.11.9. Dosis teórica y dosis práctica de riego

Según Castañeda (2005) citado por Torres (2012) la dosis de riego dependerá no solo de las características físicas del terreno y de la profundidad de las raíces, como en los sistemas tradicionales, sino también del porcentaje de suelo mojado y del descenso que vamos a permitir en el porcentaje de humedad del terreno para que no se resienta la planta.

Por su parte Fuentes (1990) citado por Torres (2012) indica que el agua de riego aplicada no se aprovecha en su totalidad, ya que una parte más o menos importante escurre hacia los desagües, penetra en profundidad fuera del alcance de las raíces o se pierde en los canales de distribución. Por consiguiente, hay que suministrar una cantidad de agua superior a la dosis teórica para compensar las pérdidas, pues de otra forma los cultivos no tendrían toda el agua que necesitan. La dosis práctica de riego es la cantidad de agua que realmente se suministra. La relación dosis teórica dividida por dosis práctica se llama eficiencia de aplicación del agua.

2.12. Calidad del agua con fines de riego

La calidad del agua, es otro importante factor que según Tartabull y Aguilar (2016) hay que considerar para efectos de riego. Los recursos hídricos superficiales, presentan menor problema de sales solubles que las aguas subterráneas. El concepto de calidad de agua, según Xu *et al.* (2004) se puede resumir, como el contenido de sustancias orgánicas, minerales y microorganismos que determinan su calidad, aunque el diagnóstico de la calidad debe estar orientado a conocer las condiciones físicas y químicas y a ejercer un control de calidad.

Castillo (1989) citado por Torres (2012) sostiene que la meteorización de los componentes de la litósfera es la fuente principal de las sales presente en el suelo y en las aguas para riego. Se entiende por meteorización, a la acción conjunta de los componentes climáticos, humedad, temperatura, viento y radiación, sobre las rocas, haciendo que éstas sufran los pasos de degradación, descomposición, transformación y síntesis.

Lo anterior significa que debido a la acción imperante del clima a través del tiempo, en donde interactúan la hidrólisis, hidratación, carbonatación, oxireducción y disolución, las rocas se transforman en suelo, heredándoles a éste, parte de sus composición química (minerales), las sales se diluyen y pasan a formar parte de la composición química de las aguas.

Siguiendo con los aportes de Castillo (1989) citado por Torres (2012) las características que intervienen en la calidad del agua de riego son: a) La concentración de sales solubles, b) La concentración de sodio (Na) en relación a otras sales, c) La concentración de cloruros y sulfatos, d) La concentración de boro y otras sustancias tóxicas (aluminio y selenio) y e) Los carbonatos y bicarbonatos.

El calcio, el magnesio y el potasio son satisfactorios para el crecimiento de las plantas, sin embargo, debe entenderse que cuando estos se complementan con carbonatos, cloruros y sulfatos y luego por las condiciones adversas del medio adquieren grandes concentraciones, se convierten en perjudiciales para el suelo y las plantas y sobre todo para aquellos suelos pesados con drenaje deficiente o bajo déficit de lluvia. El sodio es el ion capaz de provocar serios efectos en la relación suelo-planta. Su fácil intercambiabilidad en el complejo argílico y la selectividad de algunas arcillas por el sodio provoca efectos nocivos en la parte física, química y biológica del suelo.

El pH, es la simple determinación del grado de acidez o alcalinidad de una muestra, ya que por simple concepto químico está referido a la concentración del ión hidrógeno (Castillo, 1989) citado por (Torres, 2012).

2.13. Producción del cultivo de lechuga

La lechuga es la principal hortaliza de hoja cultivada en la región norpatagónica y se destina a los mercados regionales, siendo comparativamente de mejor calidad que la proveniente de otras zonas hortícolas del país. Entre las ventajas comparativas del cultivo se destacan los bajos costos de producción, la rapidez del ciclo (que permite varias cosechas en el año cuando es al aire libre y completar el ciclo otoñal dentro de los invernaderos del Alto Valle) y el manejo relativamente fácil del cultivo (Eric & Asesor, 2009).

2.13.1. Taxonomía y morfología

La lechuga pertenece a la familia de las compuestas y su nombre botánico es *Lactuca sativa*. Es una planta anual. La raíz, que no llega nunca a sobrepasar los 25 centímetros de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en otros se acogollan más tarde. Cuando la lechuga está madura, emite el tallo floral que se ramifica. Las flores de esta planta son autógamas. Las semillas en algunas variedades tienen un período de latencia después de su recolección, que es inducido por temperaturas altas. Muchas variedades germinan mal en los primeros dos meses después de su recolección (Eric & Asesor, 2009).

2.13.2. Necesidades climáticas de las plantas

Este cultivo soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas. Como temperatura máxima soporta los 30°C y como mínima hasta -6°C. La lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Cuando soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia. No es bueno que la temperatura del suelo baje de 6-8°C. La humedad relativa conveniente es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. Los suelos preferidos por la lechuga son los ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje. El pH óptimo se sitúa entre 6,7 y 7,4. En los suelos húmíferos vegeta bien, pero si son excesivamente ácidos será necesario

encalar. Este cultivo en ningún caso admite la sequía, aunque la costra del suelo conviene que esté seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbres de cuello. Los mejores sistemas de riego que actualmente se están utilizando son por goteo (cuando se cultiva en invernadero) y por surco cuando es al aire libre (Eric & Asesor, 2009).

2.13.3. Abonado

Referente al abonado, diremos que es un cultivo muy exigente en potasio. La planta, al consumir más potasio va a absorber más magnesio, por lo que habrá que tenerlo en cuenta a la hora de equilibrar esta posible carencia. En el primer estado de desarrollo, también es muy exigente en molibdeno. El aporte de estiércol se realiza a razón de 3 kg/m², cuando se trata de un cultivo principal desarrollado de forma independiente de otros. No obstante, cuando se cultiva en invernadero, puede no ser necesaria la estercoladura si ya hubo agregado de estiércol en los cultivos anteriores (Eric & Asesor, 2009).

Sin embargo, hay que evitar los excesos de abonado y principalmente nitrogenado, con objeto de prevenir posibles fitotoxidades por exceso de sales y conseguir una buena calidad de hoja y una adecuada formación de los cogollos. También se trata de un cultivo bastante exigente en molibdeno durante las primeras fases de desarrollo, por lo que resulta conveniente la aplicación de este elemento vía foliar, tanto de forma preventiva como para la corrección de posibles carencias (Saavedra del R., 2017).

2.13.4. Variedades

Existen diferentes tipos de lechugas, muchas de ellas aún no conocidas en nuestro país o en la región del Alto Valle. o Romanas (*Lactuca sativa* var. *longuifolia*). o Acogolladas (*Lactuca sativa* var. *capitata*). o Batavia. o Mantecosa o Trocadero. o Iceberg o Crujiente. o De hojas sueltas (*Lactuca sativa* var. *Intybacea*).

2.13.5. Siembra

Cuando es a campo se puede realizar siembra directa (en forma manual o con sembradora) o almácigo con posterior trasplante. En invernadero siempre se debe realizar por trasplante. La germinación es favorecida por temperaturas entre 15 y 24°C, con una mínima de 2 y una máxima

de 30°C. Con temperaturas superiores a 30°C puede ocurrir que la semilla no germine. Para evitar esto es aconsejable realizar las siembras de verano a última hora del día, realizando un riego para bajar la temperatura del suelo, permitiendo que la semilla germine durante la noche. No se deben hacer siembras profundas, dado que existen variedades en las que la luz estimula la germinación.

Distancias de siembra: de crecimiento erecto o de cabeza pequeña, 25 centímetros entre plantas. Cultivares de cabeza o arrepollados, americana y hoja roja, 30 centímetros entre plantas. Cuando se hace almácigo en bandejas, se siembran dos o tres semillas por casilla; éstas germinarán en dos a cuatro días si la temperatura se mantiene entre 15 y 24°C. Alrededor de una semana antes del trasplante se debe comenzar el proceso de «endurecimiento». Durante este período se disminuyen los riegos y la fertilización de los plantines (Saavedra del R., 2017).

2.13.6. Crecimiento del cultivo

Cuando se realiza siembra directa, alrededor de una semana después de la emergencia se debe hacer un raleo eligiendo las plantas que permanecerán hasta la cosecha. Se deja un espacio de entre 20 y 30 centímetros entre plantas, aunque esto depende del tamaño final de cada variedad. La lechuga, por sus características de crecimiento, es una mala competidora de las malezas, por lo que su manejo y control constituye un aspecto relevante dentro del conjunto de prácticas culturales. Generalmente son necesarias dos o tres carpidas durante todo el ciclo, aunque pueden reducirse a una si se realiza trasplante (Saavedra del R., 2017)

2.13.7. Cosecha

La lechuga se cosecha a mano cuando la cabeza está firme y madura. Se hace un corte en el cuello al ras del suelo si se va a cosechar toda la planta. En el caso de cultivos pequeños o de autoconsumo, también es posible cosechar hojas sueltas mientras no forma la cabeza. Luego del corte se retiran las hojas viejas o enfermas. Normalmente el cultivo se cosecha en dos o tres veces, dependiendo de la uniformidad y el precio. Es muy delicada y permanece en su mejor estado durante pocas horas después de cosechada. Si la cosecha es muy grande puede ser refrigerada.

2.13.8. Pérdida de calidad

Cuando la lechuga se pone amarga es porque ya comenzó el proceso interno que la lleva a florecer. Antes de que la planta crezca en altura y florezca, podemos observar un primer signo que nos avisa: las hojas pierden su brillo y comienzan a lucir ligeramente apagadas y opacas. Si una hoja partida o quebrada exuda un líquido lechoso en vez de un jugo claro como en pleno crecimiento, es signo de que esa planta perdió el sabor e indefectiblemente se tornará amarga. El factor más importante para que se inicie la floración, es un período de varios días con altas temperaturas. Las condiciones de verano favorecen la floración, pudiendo ocurrir ésta antes de formarse la cabeza, acortando el período de cosecha (Saavedra del R., 2017).

III.MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó en el Centro Poblado de Jayllihuaya se encuentra ubicado al extremo sur del distrito de Puno, con un aproximado de distancia de 8 kilómetros, situado dentro de la cuenca hidrográfica del Titicaca a más de 3.830 m.s.n.m. (ALA, 2009).

3.2. Ubicación político

| | | |
|----------------------|---|-------------|
| Departamento /Región | : | Puno |
| Provincia | : | Puno |
| Distrito | : | Puno |
| Centro poblado | : | Jayllihuaya |

3.3. Ubicación geográfica

| | | |
|-----------------|---|---------------|
| Altitud capital | : | 3820 m.s.n.m. |
| Longitud Oeste: | : | 69° 59' 45" |
| Latitud Sur: | : | 16° 15' 24" |

3.4. Vías de acceso

Teniendo como vías de acceso: La carretera Panamericana Sur, Puno – Desaguadero, existe un desvío hacia la parte derecha, que conecta con el Centro Poblado de Jayllihuaya. Existe una carretera (en construcción) que llega hasta la plaza principal de este Centro Poblado. Se puede acceder mediante unidades móviles que “entran y salen” cada veinte minutos.

3.5. Características climáticas de la zona en estudio

Los principales parámetros climáticos que definen o caracterizan el clima en una cuenca hidrográfica es la siguiente: precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación; son los de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización de la climatología de la cuenca del río Ilave (ALA, 2009).

3.5.1 Temperatura

La temperatura de aire en superficie es la temperatura comprendida entre 1.25 y 2 metros, sobre el nivel del suelo y es diferente a la temperatura del suelo. Generalmente se admite que esta temperatura es representativa de las condiciones a que están sometidos los seres vivos en la superficie de la tierra. La temperatura expresa numéricamente el efecto que en los cuerpos produce el calor originado por el balance entre la radiación emitida y recibida.

Debido a las diferencias de altitud, exposición a los vientos y al sol e influencia del lago Titicaca, existen algunas variaciones en la distribución de la temperatura media del aire en la cuenca. En toda la región las temperaturas medias más bajas se producen en el mes de Julio, mientras que las más elevadas se registran en los meses de noviembre a marzo, por lo general centradas en enero. Por el contrario, las regiones más cálidas de la cuenca Ilave se encuentran en los sectores de Puno con 8.9°C, Rincón de la Cruz e Ilave con 8.2°C; lugares que están cerca al lago Titicaca, lo que demuestra la gran capacidad de almacenamiento de energía y posterior efecto de regulación termal (ALA, 2009).

3.5.2. Precipitaciones pluviales

Los mayores valores de la evaporación total anual en la región se producen en los sectores de Ilave (1900 mm), Mazocruz (1722.2 mm) y en las cercanías al lago Titicaca. Los valores más bajos se registran en la parte alta de la cuenca Ilave, tal es el caso de Coypa Coypa (1653.1mm) y Laraqueri (1600.3 mm). El período de lluvias de mayor magnitud comienza a partir del mes de diciembre y se prolonga hasta marzo, corresponde el 78.0% en promedio de las estaciones, de las precipitaciones totales anuales. El porcentaje de precipitación en las estaciones meteorológicas oscilan de 70.9 a 88.0%.

Se observa que los valores de la precipitación en la cuenca varían de 400 a 875 mm. Los valores altos se registran en el entorno del lago Titicaca, en la parte baja y norte de la cuenca; y los menores se registran en la parte sur de la cuenca. Según el plano de distribución espacial de la precipitación anual en la cuenca del río Ilave, muestra que la precipitación disminuye de norte a sur, ello muestra que la precipitación en la cuenca hidrográfica del Titicaca, proviene del Océano Atlántico, por tal razón la precipitación tiende a disminuir de norte a sur (ALA, 2009).

3.5.3. Humedad Relativa

La humedad relativa es una expresión de lo máximo posible en términos relativos. La humedad relativa no dice nada de cuanto vapor hay en la masa, dice cuanto está ocupado de la masa por vapor. La temperatura es la que permite saber cuánto vapor de agua hay en la atmósfera; la expresión de la humedad relativa está dada por la tensión de vapor:

$$HR = [Ed/Ea]x100$$

Donde:

HR = humedad relativa (%).

Ed = tensión de vapor actual en milibares (mb).

Ea = tensión de vapor a saturación en milibares (mb).

En forma similar que las temperaturas, se ha realizado el análisis de regresión lineal para estimar valores de humedad relativa para las estaciones sin registro. La variación estacional y espacial es similar a la precipitación, por lo que registra los valores más altos durante el verano. También se verifica que la variación estacional de la humedad relativa en todas las estaciones. En las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca y parte circunlacustre del lago Titicaca registran mayores valores con respecto a las estaciones ubicadas en la cuenca media (ALA, 2009).

3.5.4. Evaporación

La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua se convierte a su forma gaseosa. La evaporación del agua a la atmósfera ocurre en la superficie de ríos, lagos, suelos y vegetación. La evaporación es otro de los elementos principales de la fase del ciclo hidrológico. Los mayores valores de la evaporación total anual en la región se producen en los sectores de Ilave (1900 mm), y en las cercanías al lago Titicaca. Los valores más bajos se registran en la parte alta de la cuenca Ilave, tal es el caso de Coypa Coypa (1653.1mm) y Laraqueri (1600.3 mm) (ALA, 2009).

3.5.5. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos: Evaporación y Transpiración. La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua se convierte a su forma gaseosa. La evaporación del agua a la atmósfera ocurre en la superficie de ríos, lagos, suelos y vegetación.

La transpiración es el proceso mediante el cual el agua fluye desde el suelo hacia la atmósfera a través del tejido de la planta. La transpiración es básicamente un proceso de evaporación. El agua se evapora dentro de las hojas y el vapor resultante se difunde hacia el exterior a través de las estomas. Se presenta la distribución espacial de la evapotranspiración potencial para los valores del total anual, dentro del ámbito de la cuenca del río Ilave. Se observa que los valores altos 1150 mm se registran en la parte norte y baja de la cuenca (cerca al lago Titicaca), y en lugares donde las temperaturas son más bajas con respecto a las zonas ubicadas en la parte alta de la cuenca es de 1490 mm (ALA, 2009).

3.5.6 Horas de sol

Los mayores valores de horas de sol, se registran en la parte baja de la cuenca, centrado en estación Ilave (8.18 horas) y cercanías del lago Titicaca, y los valores menores en la parte alta de la cuenca del río Ilave, centrado en la estación Coypa Coypa (7.15 horas).

3.6. Pozos

Un pozo es un orificio o túnel vertical perforado en la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, normalmente una reserva de agua subterránea (originalmente) del nivel freático o materias como el petróleo (pozo petrolífero). Generalmente de forma cilíndrica, se suele tomar la precaución de asegurar sus paredes con piedra, cemento o madera para evitar su derrumbe. Los pozos tradicionales para buscar agua están en los patios de las casas y tienen un brocal (pared que sobresale del nivel del suelo hasta una altura suficiente para que nadie caiga al interior), un cigüeño o una polea para subir el cubo y una tapadera para evitar que caiga suciedad al interior.

3.7. Economía y otras Actividades.

Los pobladores de este Centro Poblado sitúan su economía principalmente en la agricultura, horticultura y floricultura y apoyado de la ganadería en menor proporción, así como se observa en la imagen siguiente. El poblador de esta localidad se apoya en el comercio de hortalizas, lechugas, Lechuga y flores que producen, llevando a los distintos mercados: Ilave, Acora, Juli, Juliaca, Chucuito, principalmente cubriendo el mercado del distrito de Puno. Siendo protagonista de todo ello la mujer que está directamente involucrado en el comercio, desde luego

apoyado por el hombre, se ofrece lechuga, lechuga, zanahoria, betarraga, repollo, rabanitos, flores, plantas aromáticas, plantas medicinales. Entre el manejo ganadero los pobladores cuentan con ganado vacuno, ovino, porcino, pero en pequeñas cantidades debido a las pequeñas parcelas con las que cuentan. Con la venta de dichos animales complementan los ingresos en las distintas unidades familiares.

Actividad que desarrollan los integrantes de este CP. Jayllihuaya, realizando una combinación entre el cerro y la parte baja, por un asunto de estrategia si es año lluvioso habrá cosecha en la parte alta y si es año seco se tendrá cosecha en la parte baja. Pero, se da preferencia a la parte baja para el cultivo de lechugas, Lechuga, flores, hortalizas. Desarrollan la rotación de cultivos. Siembran la papa amarga en la parte alta, papa dulce en la parte baja y lugares abrigados, se siembra la quinua, cebada, oca, olluco, habas, avena forrajera.

E la actividad económica se caracteriza por ser una zona urbano marginal que sus habitantes aproximadamente en un 30% se dedican a la actividad agrícola cultivando papa, habas, oca, cebada forrajera, avena, alfalfa, lechuga. Se dedican también a la crianza de animales como vacuno y ovino en pequeña cantidad y crianza de animales menores como gallinas, cuy. El comercio está en manos de las mujeres que realizan fuera del Centro Poblado, llevando sus productos.

3.8. Análisis físico del suelo y químico de agua.

Se realizó el análisis físico de suelo en el área experimental. Las muestras obtenidas se enviaron al laboratorio de suelos de Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA y los resultados obtenidos (ver anexo) me permitieron determinar la lámina de agua a aplicar. Asimismo, se realizó un análisis químico de agua para fines de riego, con el fin de verificar la calidad de la misma, (ver anexo), que según indica, es apta para fines agrícola.

3.9. Material experimental.

Se ha considerado algunas características del híbrido de la lechuga (*Lactuca sativa L.*), donde se ha tomado en cuenta, que, La planta desarrolla hojas grandes, erguidas, oblongas y obovadas, de 20 a 30 cm de largo y 6 a 10 cm de ancho, con nervadura prominente, superficie ligeramente ondulada, y borde irregularmente denticulado. El tallo se presenta de mayor longitud que en las

variedades anteriores y permanece protegido por el conjunto de hojas, las que forman una cabeza cónica o cilíndrica, por su disposición erecta, pudiendo alcanzar un gran peso de hasta 2 kg. Los cultivares más conocidos son Conconina, Corsica, Costina Abarca, Parris Island, Romabella, Odessa y Oreja de Mulo.

3.10. Variables en estudio.

Como variables en estudio se ha considerado las siguientes variables de respuesta:

Y= producción por unidad de área (gr./planta) y (Kg/ha)

Xi= frecuencia de riego por goteo en días

El modelo es la siguiente:

$$Y = F(Xi)$$

Tabla 3 Tratamientos de frecuencias de riego por goteo aplicados en el experimento.

| Variables | Tratamientos |
|----------------|--------------|
| X ₁ | Riego 1 días |
| X ₂ | Riego 2 días |
| X ₃ | Riego 3 días |
| X ₄ | Riego 4 días |

3.11. Diseño agronómico

El diseño agronómico es la parte del diseño en cuanto se decide una serie de elementos de la instalación tales como numero de emisores, disposición de los mismos, etc. Además, proporciona unos datos básicos para el posterior diseño hidráulico, como caudal y espaciamiento del emisor, duración del riego, entre otros (Pizarro, 1996).

Tabla 4 Determinacion de la Evapotranspiracion por el Metodo de Blaney-Criddle

| Nº | Concepto | Und | mes | | | |
|----|---|------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | feb | mar | abr | may |
| 1 | Temperatura de invernadero jayllihuaya | °C | 23.9 | 24.2 | 24.6 | 24.6 |
| 2 | % Diario medio de horas diurnas anuales | tabla n°04 | 0.29 | 0.28 | 0.26 | 0.25 |
| 3 | Nº DIAS | | 28 | 31 | 30 | 31 |
| 4 | Evapotranspiracion potencial | mm/mes | 155.3 | 167.2 | 151.7 | 150.7 |
| 5 | Evapotranspiracion potencial | mm/día | 5.5 | 5.4 | 5.1 | 4.9 |
| 6 | Evapotranspiracion ppromedio | mm/día | 5.21 | | | |
| | Cálculo | Ev | Ff | | | |
| | Eto = Ev * Ff | 5.21 | 1.08 | | | |
| | Eto (mm / día) | 5.63 | - | | | |

Tabla 5 Coeficiente del cultivo Expresa la relación entre Etc y Eto

| Fase | Lechuga | |
|------------|--------------------|------|
| | Duración (días) | Kc |
| Inicio | 20 | 0.70 |
| Desarrollo | 30 | 1.00 |
| Media | 15 | 1.05 |
| Final | 10 | 0.96 |
| Total | 75 | - |

Tabla 6 Calculo del coeficiente de localización KI

| Método | Fórmula |
|-----------|---------------------------|
| Alljiburi | $KI = 1,34 * A$ |
| Decroix | $KI = 0,1 + A$ |
| Hoara | $KI = A + 0,5 * (1 - A)$ |
| Keller | $KI = A + 0,15 * (1 - A)$ |
| KI = | promedio |

Tabla 7 Calculo del valor de A

| Fase | Cálculo A | | |
|-------------------|-----------|----------|---------|
| | d (m) | a.s. (m) | A |
| Inicio | 0.10 | 0.01 | 19.64% |
| Desarrollo | 0.22 | 0.04 | 95.03% |
| Media | 0.35 | 0.10 | 240.53% |
| Final | 0.35 | 0.10 | 240.53% |

Tabla 8 Calculo del valor total en m2

| Área total (m ²) | |
|------------------------------|------|
| Lechuga | 0.04 |

Tabla 9 Calculo KI

| Cálculo KI | | | |
|------------|---------|-----------|---------|
| | Lechuga | Media | Lechuga |
| Inicio | 0.37 | | 2.41 |
| Alljiburi | 0.26 | Alljiburi | 3.22 |
| Decroix | 0.30 | Decroix | 2.51 |
| Hoara | 0.60 | Hoara | 1.70 |
| Keller | 0.32 | Keller | 2.19 |
| | Lechuga | Final | Lechuga |
| Desarrollo | 1.06 | | 2.41 |
| Alljiburi | 1.27 | Alljiburi | 3.22 |
| Decroix | 1.05 | Decroix | 2.51 |
| Hoara | 0.98 | Hoara | 1.70 |
| Keller | 0.96 | Keller | 2.19 |

Tabla 10 Calculo de Pe, Ac, Aa

| | mm / día |
|------|----------|
| Pc = | 0.00 |
| Ac = | 0.00 |
| Aa = | 0.00 |

Tabla 11 Calculo de eficiencia de aplicacion

| Cálculo | Ea (%) |
|--------------|--------|
| $K = 1 - Ea$ | 0.90 |
| K | 0.10 |

Tabla 12 Calculo de las necesidades totales o lamina neta de riego(Lr)

| Cálculo Lr (mm / día) | |
|------------------------|---------|
| Fase | Lechuga |
| Inicio | 2.80 |
| Desarrollo | 11.54 |
| Media | 27.40 |
| Final | 25.05 |
| Cálculo caudales (lps) | |
| Fase | Lechuga |
| Inicio | 0.12 |
| Desarrollo | 0.48 |
| Media | 1.14 |
| Final | 1.04 |

Tabla 13 Calculo de frecuencia de riego máximo

| Cálculo de frecuencia de riego máxima | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Fase | Lechuga | | | |
| | área mojada (%) | lámina agua aprove. (mm) | dosis de riego máxima (mm/día) | frecuencia máxima (horas) |
| Inicio | 19.64% | 0.82 | 0.16 | 01:22:30 |
| Desarrollo | 95.03% | 1.63 | 1.55 | 03:13:40 |
| Media | 240.53% | 2.45 | 5.89 | 05:09:40 |
| Final | 240.53% | 2.45 | 5.89 | 05:38:42 |

Tabla 14 Calculo de tiempo de riego

| Cálculo del tiempo de riego | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Fase | Lechuga | |
| | Oferta de agua del sistema (mm/h) | Tiempo de riego (h:m:s) |
| Inicio | 190.99 | 00:01:13 |
| Desarrollo | 39.46 | 00:56:39 |
| Media | 15.59 | 09:04:17 |
| Final | 15.59 | 09:04:17 |

Tabla 15 Calculo de almacenamiento de agua para riego semanal (en litros)

| Fase | Lechuga | | |
|------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| | Nº riegos / semana | Nº litros agua aplicados / riego | Nº litros agua a almacenar semanal |
| Inicio | 41.00 | 3.17 | 130.12 |
| Desarrollo | 18.00 | 148.69 | 2,676.46 |
| Media | 11.00 | 1428.76 | 15,716.41 |
| Final | 10.00 | 1428.76 | 14,287.64 |

3.12. Análisis de suelo

Se tomó una muestra de suelo para determinar los nutrientes que posee el terreno en el cual se realizó el estudio, con el propósito de dar el medio adecuado para el desarrollo del cultivo (Anexo N°1).

3.13. Cosecha

Para efecto de la cosecha se tomó en cuenta los días del ciclo vegetativo. La cosecha se efectuó del 70 a 77 días después del trasplante independiente del tratamiento.

3.14. Métodos estadísticos

El diseño estadístico utilizado en el presente trabajo de investigación fue el de Bloques Completamente al Azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. La distribución de los tratamientos se realizó aleatoriamente en las unidades experimentales de cada bloque. En cada uno de los experimentos se realizó el análisis estadístico correspondiente. El modelo aditivo lineal de cualquier observación es:

$$Y_{ij} = U + \alpha_i + \beta_j + e_{ijs}$$

Dónde:

Y_{ij} = Resultado de la i-j-ésima observación.

U = Media general

α_i = Efecto del tratamiento i

β_j = Efecto del bloque j

e_{ij} = Efecto del error experimental

i = 1, 2, ... 6

j = 1, 2, 3, 4, 5, 6

IV.RESULTADO Y DISCUSION

4.1. El efecto de frecuencias de riego en productividad de cultivo de la lechuga

Por las características climáticas de la zona del altiplano de Puno, el cultivo de lechuga requiere suficiente agua para reponer la humedad perdida por evapotranspiración (ET). El riego también servirá para enfriar el cultivo por medio de la transpiración, especialmente en días muy calurosos, además de permitir la lixiviación de sales que se acumulan en la zona de raíces. La mayor cantidad de agua que se requiere en la producción de lechugas se utiliza en los últimos 30 días del cultivo, cuando las tasas de evapotranspiración son máximas. Como se revisará en este capítulo, la cantidad de agua que requiere la lechuga dependerá de las condiciones meteorológicas durante el ciclo de cultivo, de las propiedades físicas de retención de agua en el suelo y de las prácticas de riego. (Saavedra del R., 2017).

De acuerdo a las experiencias de la zona de Puno, los mejores sistemas de riego, que actualmente se están utilizando para el cultivo de la lechuga son, el riego por goteo (cuando se cultiva en invernadero), y las cintas de exudación (cuando el cultivo se realiza al aire libre), como es el caso del sudeste de España. Existen otras maneras de regar la lechuga como el riego por gravedad y el riego por aspersión, pero cada vez están más en recesión, aunque el riego por surcos permite incrementar el nitrógeno en un 20%. Los riegos se darán de manera frecuente y con poca cantidad de agua, procurando que el suelo quede aparentemente seco en la parte superficial, para evitar podredumbres del cuello y de la vegetación que toma contacto con el suelo.

4.1.1. Altura de la planta

Para evaluar la Altura de planta se ha utilizado el diseño bloque completo al azar con cuatro tratamientos y tres bloques, es decir se ha evaluado 12 unidades experimentales, en la cual de acuerdo al análisis de variancia se obtuvo que no existe significancia estadística en comparación de las frecuencias de riegos. El riego es un factor fundamental en el cultivo de lechuga. Debe ser aplicado con precisión y dentro de unos valores que no pueden ser rebasados por defecto o por exceso. Con un déficit de agua la lechuga puede entrar en parada vegetativa, desarrollar necrosis en los bordes y aumentar la incidencia de botritis. Sin embargo, si regamos en exceso

y llegamos a encharcar el suelo, podemos provocar asfixia radicular y disminuir el peso del cogollo.

En base a todo lo explicado anteriormente, podemos llegar a la conclusión de que el riego que mejor se adapta a las exigencias del cultivo de lechuga es el riego por goteo. El goteo permite regar de forma continua y uniformemente el cultivo de lechuga, evitando los encharcamientos y manteniendo la superficie del suelo lo suficientemente seca para evitar que el cuello se pudra por ataques de hongos. El mejor sistema de riego para la lechuga es el riego por goteo, ya que permite una humedad constante en el bulbo y disminuye las incidencias de las enfermedades anteriormente citadas. Existen otros tipos de riego que actualmente se usan en este cultivo, pero cada vez están más en desuso, como por ejemplo el riego por gravedad, por surcos, por aspersión (Tarque, y otros, 2017).

Tabla 16 Análisis de la varianza para la variable altura de la planta a la sexta semana.

| FV | GL | SC | CM | Fcal | Ft(0.05) | Ftab (0.01) |
|-------------|----|------|------|------|----------|-------------|
| Total | 11 | 4,76 | 0,43 | | | |
| Tratamiento | 3 | 2,92 | 0,97 | 3,72 | 4,76 | 9,78 |
| Bloques | 2 | 0,27 | 0,13 | 0,51 | 5,14 | 10,93 |
| Error | 6 | 1,57 | 0,26 | | | |

Fuente: Datos de campo del estudio. CV=3.25%

(Tarque, y otros, 2017), Los tratamientos utilizados para obtener los modelos de límite inferior del índice de estrés hídrico del cultivo, fueron las láminas de 100%ETc y 75%ETc, mientras que para el límite superior se utilizó la lámina de 50%ETc, obteniendo los modelos $T_e - T_a = -2.9315 * DPV + 1.2851$, con un coeficiente de determinación de 0.5151 y coeficiente de correlación de 0.72. El tratamiento con lámina de riego 75%ETc, presenta el modelo de $T_e - T_a = -2.9623DPV + 1.2192$, con un coeficiente de determinación de 0.4918 y un coeficiente de correlación de 0.70 con n=79 y un límite superior de 2.82. (Tarque, y otros, 2017).

En el análisis de varianza para la variable altura de la planta a la sexta semana (Tabla 16), se observa que no existieron diferencias significativas entre tratamientos, y bloques.

Tabla 17 Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta a la sexta semana.

| Tratamientos | Media | Rango |
|--------------|-------|-------|
| T 1 | 16,28 | a |
| T 3 | 16,13 | a |
| T 4 | 15,52 | a |
| T 2 | 15,05 | a |

Las variables agronómicas evaluadas tienen diferencias estadísticas, los tratamientos 100%Etc, 75%Etc respecto al 50%Etc, a excepción de la variable de número de hojas, con referencia a la programación de riego, se la realiza en base a los valores de 0 a 0.23 del (IECH), los valores que presentan un estrés relativo y existe la necesidad del suministro de riego se encuentra en los rangos de 0.24 a 0.31 para obtener rendimientos de 3.17 a 3.44 kg m⁻², la planta presenta un estrés de mayor magnitud cuando se encuentra en los valores de 0.32 a 0.50, donde tiene influencia en el rendimiento del cultivo hasta 1.7 kg m⁻², en cuanto a los valores del índice de estrés hídrico en los rangos 0.56 a 1, las características del cultivo presentarían aparte de una reducción absoluta del rendimiento, la muerte del cultivo.

4.2. Biomasa foliar de la lechuga.

El análisis de crecimiento ha sido practicado con dos procedimientos distintos, el primero denominado análisis clásico, contempla medidas hechas a intervalos relativamente largos de tiempo usando un gran número de plantas; el segundo denominado análisis funcional, comprende medidas a intervalos de tiempo más frecuentes con un pequeño número de plantas y usa el método de regresión (Hunt, Plant Growth analysis: The rationale behind the use of the fitted mathematical function, 1979).

El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas, tales como Peso Seco (W), Área Foliar Total (AF) y Tiempo (T), mientras que las medidas derivadas Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), Relación de Área Foliar (RAF), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Área Foliar Específica (AFE), Índice de Área Foliar (IAF) y Duración de Área Foliar (DAF) son calculadas a partir de las medidas directas. Estos índices permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Hunt, Causton, Shipley, & Askew, 2002).

Tabla 18 Análisis de varianza para la variable masa foliar en g/planta.

| FV | GL | SC | CM | Fcal | Ft (0.05) | Ft(0.01) | |
|-------------|----|----------|----------|-------|-----------|----------|---|
| Total | 11 | 3.452,90 | 313,90 | | | | * |
| Tratamiento | 3 | 3.218,64 | 1.072,88 | 63,91 | 4,76 | 9,78 | * |
| Bloques | 2 | 133,52 | 66,76 | 3,98 | 5,14 | 10,93 | S |
| Eexp | 6 | 3.452,90 | 313,90 | | | | N |

Fuente: Datos de campo del estudio.

CV = 1.83%

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa como materia fresca y seca en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. De esta manera la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo.

Los asimilados o asimilatos (glúcidos, proteínas, lípidos y carbohidratos) producidos por la fotosíntesis en los órganos "fuente" (principalmente las hojas), pueden ser almacenados o distribuidos vía floema entre los diferentes órganos "sumideros" de una planta. Entonces para lograr un rápido crecimiento inicial de las plantas jóvenes, es importante incrementar substancialmente de la superficie foliar en esta fase, debido a que gran parte de la radiación solar incidente no es interceptada. Por lo tanto, en esta fase, una gran parte de los asimilados deben ser destinados a la formación de las hojas (Challa, Heuvelink, & Van Meeteren, 1995).

En el análisis de varianza para la variable masa foliar (Tabla 18), se observa diferencias muy significativas entre tratamientos, mientras que los bloques no presentan diferencias significativas.

Tabla 19 Prueba de Tukey al 5% para la variable masa foliar en g/planta.

| Tratamientos | Media | Tukey (0.05) |
|--------------|--------|--------------|
| T 1 | 243,15 | a |
| T 3 | 236,65 | a |
| T 2 | 212,84 | b |
| | 203,46 | b |

Fuente: Datos de campo del estudio Peso masa foliar g/planta.

En la prueba Tukey al 5% para la variable masa foliar se identifican dos rangos: el primero es estadísticamente igual

4.3. Rendimiento del cultivo de lechuga en condiciones de Invernadero.

La producción en su mayoría es efectuada por pequeños productores en zonas de minifundio, y dentro del contexto nacional el departamento participa con el 10% de la producción de lechuga (6215t), 15% de repollo (10607t) y 12% de brócoli(1177t), lo que aporta 416738 millones de pesos al producto interno bruto departamental (Romero, 2015).

Por esta razón, es importante incorporar tecnologías sostenibles de producción, entre las que se destaca la utilización de sistemas de riego, con el fin de producir en épocas en las que son marcadas las deficiencias hídricas y lograr mayor competitividad. Uno de los agravantes de la situación actual en cuanto al déficit hídrico, es debido al calentamiento de la temperatura del Océano Pacífico ocasionado por el fenómeno

El Niño, donde la zona andina colombiana reporta una reducción de las lluvias entre 20 y 30% (IDEAM, 2015), lo que ha afectado los cultivos de hortalizas como lechuga, repollo y brócoli, ya que uno de los principales requisitos de producción de estas especies es el adecuado suministro de agua para una buena productividad (Seidel, Werisch, Schutze, & Laber, 2017).

Tabla 20 Análisis de varianza para el rendimiento (t/ha.)

| F de V | GL | SC | CM | Fc | Ft (0.05) | Ft (0.01) | |
|------------|----|-------|-------|-------|-----------|-----------|---|
| Total | 11 | 49,72 | 4,52 | | | | * |
| Tratamient | 3 | 46,35 | 15,45 | 63,91 | 4,76 | 9,78 | * |
| Bloques | 2 | 1,92 | 0,96 | 3,98 | 5,14 | 10,93 | S |
| Eexp | 6 | 1,45 | C | | | | |

Fuente: Datos de campo del estudio. CV=1.83

En el análisis de varianza para la variable rendimiento (Tabla 15), se observa diferencias muy significativas entre tratamientos, mientras que los bloques no presentan diferencias significativas.

Tabla 21 Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de lechuga en t/ha.

| Tratamientos | Media (Tn/ha) | Rango |
|--------------|---------------|-------|
| T 1 | 29,18 | a |
| T 3 | 28,40 | a |
| T 2 | 25,54 | b |
| T 4 | 24,42 | b |

Pesos rendimiento t/ha

En la prueba Tukey al 5% para la variable rendimiento se identifican dos rangos: el primero es estadísticamente igual también.

Tabla 22 Validez y confiabilidad mediante “R” de Pearson 1ra y 2da semana Correlaciones.

| | | Semana 1 | semana 2 |
|----------|------------------------|----------|----------|
| Semana 1 | Correlación de Pearson | 1 | ,599** |
| | Sig. (bilateral) | | ,000 |
| | N | 72 | 72 |
| semana 2 | Correlación de Pearson | ,599** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | |
| | N | 72 | 72 |

Sometida a la prueba de validez y confiabilidad de los datos según la prueba estadística de “R” de Pearson siendo de 0,599 al nivel de 0,01, el cual es significativa, queda demostrado la validez y confiabilidad de la presente investigación. Cuya base de datos se adjunta al final.

Tabla 23 Validez y confiabilidad mediante “R” de Pearson 1ra y 2da semana Correlaciones.

| | | semana 3 | Semana 4 |
|----------|------------------------|----------|----------|
| semana 3 | Correlación de Pearson | 1 | ,669** |
| | Sig. (bilateral) | | ,000 |
| | N | 72 | 72 |
| Semana 4 | Correlación de Pearson | ,669** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | |
| | N | 72 | 72 |

Sometida a la prueba de validez y confiabilidad de los datos de la tercera y cuarta semana, según la prueba estadística de “R” de Pearson es de 0,669 al nivel de 0,01, el cual es significativa, queda demostrado la validez y confiabilidad de la presente investigación. Cuya base de datos se adjunta al final.

Tabla 24 Validez y confiabilidad mediante “R” de Pearson 5ta y 6ta semana Correlaciones.

| | | Semana 5 | Semana 6 |
|----------|------------------------|----------|----------|
| Semana 5 | Correlación de Pearson | 1 | ,604** |
| | Sig. (bilateral) | | ,000 |
| | N | 72 | 72 |
| Semana 6 | Correlación de Pearson | ,604** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | |
| | N | 72 | 72 |

Sometida a la prueba de validez y confiabilidad de los datos de la tercera y quinta y sexta semana, según la prueba estadística de “R” de Pearson es de 0,604 al nivel de 0,01, el cual

es significativa, queda demostrado la validez y confiabilidad de la presente investigación. Cuya base de datos se adjunta al final.

Tabla 25 Validez y confiabilidad mediante “r” de Pearson 7ma y 8va semana Correlaciones.

| | | Semana 7 | Semana 8 |
|----------|------------------------|----------|----------|
| Semana 7 | Correlación de Pearson | 1 | ,500** |
| | Sig. (bilateral) | | ,000 |
| | N | 72 | 72 |
| Semana 8 | Correlación de Pearson | ,500** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | |
| | N | 72 | 72 |

Sometida a la prueba de validez y confiabilidad de los datos de la séptima y octava semana, según la prueba estadística de “R” de Pearson es de 0,500 al nivel de 0,01, el cual es significativa, queda demostrado la validez y confiabilidad de la presente investigación. Cuya base de datos se adjunta al final.

Tabla 26 Validez y confiabilidad de “R” de Pearson de 9na y 10ma semana Correlaciones.

| | | Semana 9 | Semana 10 |
|----------|------------------------|----------|-----------|
| Semana 7 | Correlación de Pearson | 1 | ,576** |
| | Sig. (bilateral) | | ,000 |
| | N | 72 | 72 |
| Semana 8 | Correlación de Pearson | ,576** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | |
| | N | 72 | 72 |

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Sometida a la prueba de validez y confiabilidad de los datos de la séptima y octava semana, según la prueba estadística de “R” de Pearson es de 0,576 al nivel de 0,01, el cual es significativa, queda demostrado la validez y confiabilidad de la presente investigación. Cuya base de datos se adjunta al final.

Tabla 27 Validez y confiabilidad de “R” de Pearson de 9na y 10ma semana Correlaciones.

| | | Semana 10 | Semana 11 |
|----------|------------------------|-----------|-----------|
| Semana 7 | Correlación de Pearson | 1 | ,206** |
| | Sig. (bilateral) | | ,000 |
| | N | 72 | 72 |
| Semana 8 | Correlación de Pearson | ,206** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | |
| | N | 72 | 72 |

Sometida a la prueba de validez y confiabilidad de los datos de la séptima y octava semana, según la prueba estadística de “r” de Pearson es de 0,206 al nivel de 0,01, el cual es significativa, queda demostrado la validez y confiabilidad de la presente investigación. Cuya base de datos se adjunta al final.

4.4. Análisis económico y financiero de riego por goteo en el cultivo de lechuga.

En la región de Puno, la lechuga es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja; se consume en ensaladas, es ampliamente conocida y se cultiva casi en todas las regiones de nuestro país. Durante los últimos años la producción de hortalizas ha experimentado un significativo progreso en cuanto a rendimiento y calidad, dentro de ello la superficie cultivada de lechuga ha ido incrementándose, debido en parte a la introducción de nuevos cultivares y el aumento de su consumo. Es por ello que es importante determinar la producción y rendimiento de estos nuevos cultivares en diferentes épocas de siembra y sistemas de producción como el cultivo orgánico que cada día cobra mayor importancia, ya que representa una nueva tendencia que promueve el uso de insumos alternativos a fin de lograr el aprovechamiento adecuado de los recursos existentes localmente para llegar a una producción agropecuaria limpia y sostenida (Eric & Asesor, 2009).

Tabla 28 Análisis Financiero (Ingresos, B/C, Rentabilidad) producción de lechuga.

| Frecuencia | Costo/ha | P. Unitario | Ingreso Total | Ingreso Neto | P.U. Prod. | B/C | Rentabilidad |
|------------|----------|-------------|---------------|--------------|------------|------|--------------|
| T 1 | 8133.98 | 0.8 | 23341.99 | 15208.01 | 0.28 | 2.87 | 186.97% |
| T 2 | 8642.66 | 0.8 | 20432.9 | 11790.24 | 0.34 | 2.36 | 136.42% |
| T 3 | 7820.3 | 0.8 | 22718.61 | 14898.31 | 0.28 | 2.91 | 190.51% |
| T 4 | 7875.11 | 0.8 | 19532.47 | 11657.36 | 0.32 | 2.48 | 148.03% |

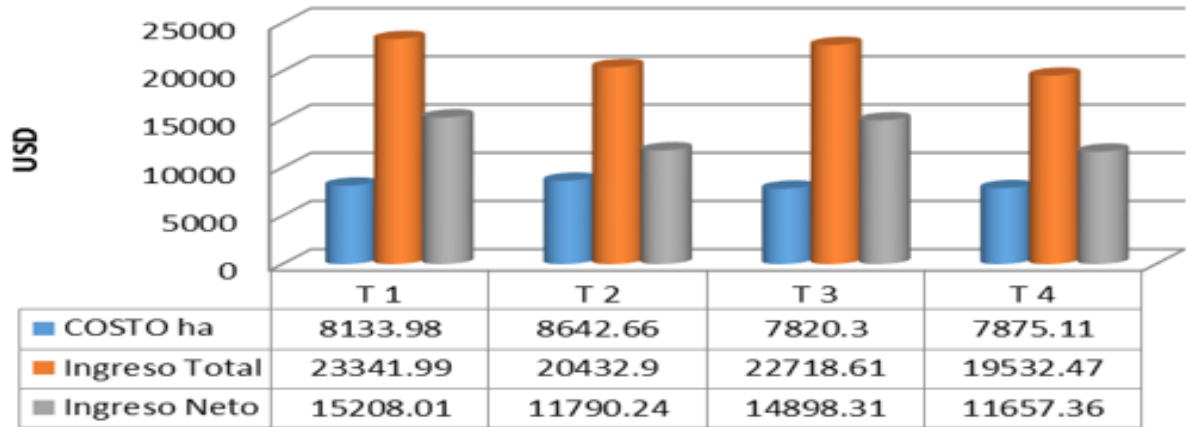


Figura 2 Gráfica del análisis financiero (Costo de producción/ha, Ingreso Total, Ingreso Neto).

Los costó de producción por hectárea de cada tratamiento fueron: riego cada dos días (T2) con USD 8.642,66, riego por cada un día (T1) con USD 8.133,98, riego por cada cuatro días (T4) con USD 7.875,11, y riego por cada tres días (T3) con USD 7.820,30. Ingresos Totales T1 con USD 23.341,99, T3 con USD 22.718,61, T2 con USD 20.432,90, T4 con USD 19.532,47. Ingresos Netos T1 con USD 15.208,01, T3 con USD 14.898,31, T2 con USD 11.790,24, T4 con USD 11.657,36.

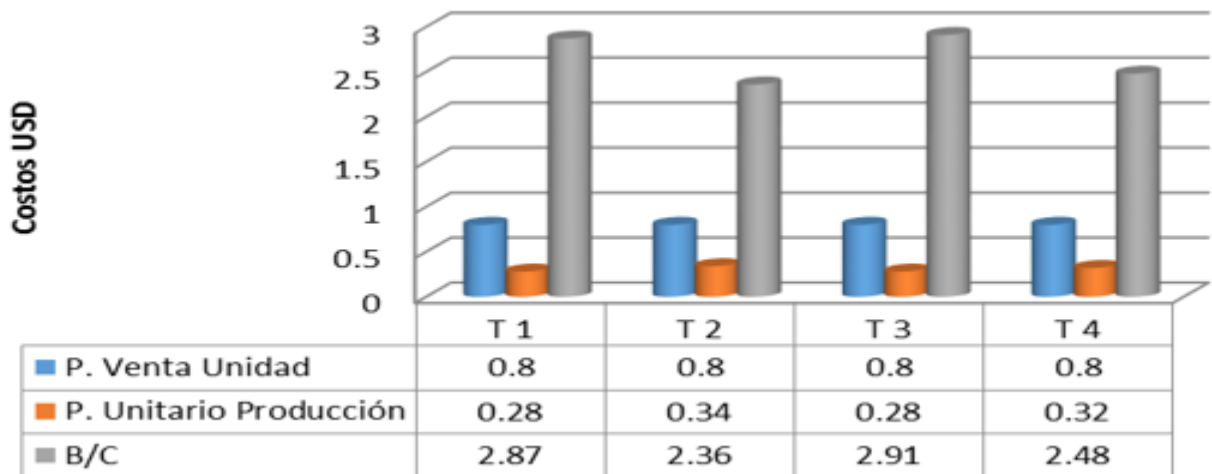


Figura 3 Gráfica de Análisis Financiero (B/C, Precio de venta kg, Precio de producción kg).

Los sistemas de riego que mayor Beneficio/Costo (B/C) presentaron fueron: riego por cada tres días (T3) con 2,91, y riego por cada un día (T1) con 2,87. Seguidamente del sistema de riego por cada cuatro días (T4) con 2,48, y el riego por cada dos días (T2) con 2,36.

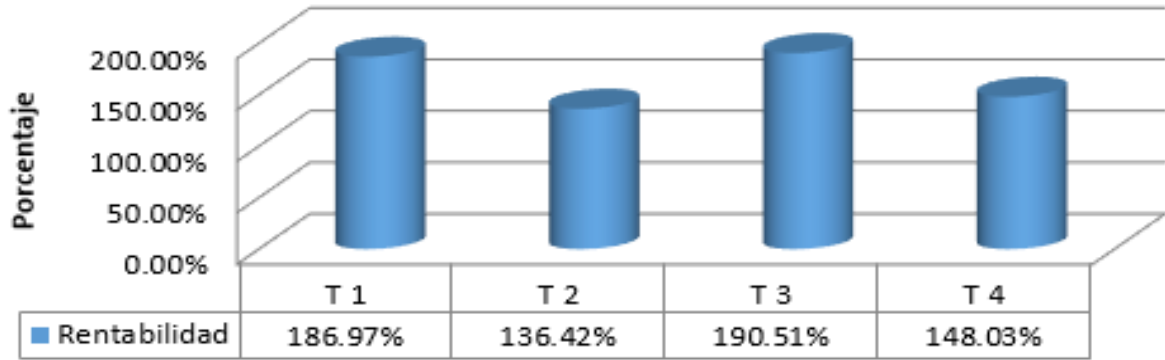


Figura 4 Gráfica de análisis financiero (Rentabilidad).

Una vez terminada la investigación, y realizar el análisis de rentabilidad, se puede determinar que los sistemas de riego cada día y tres días fueron los más ventajosos. Teniendo al riego por cada tres días (T3) como el más rentable con el 190,51% así mismo se considera en el tiempo en las frecuencias de riego es más conveniente, seguidamente del riego por cada un día (T1) con 186,97%, es rentable, pero en el tiempo de riego de las frecuencias de riego es menos favorable. Los tratamientos menos rentables son el riego por cada cuatro días (T4) con 148,03%, y riego cada dos días (T2) con 136,42%.

V.CONCLUSIONES

Para las condiciones en que se realizó la evaluación, la mayor productividad de la lechuga se obtuvo con la frecuencia de riego de un día y tres días de frecuencia se obtuvo 29.18 y 28.40 ton/ha, que ocuparon los primeros lugares y los dos y cuatro días con rendimientos 25.54 y 24.42 ton/ha ocuparon los últimos lugares y con precios unitarios de producción 0.34; siendo una diferencia altamente significativa en relación al resto de tratamientos.

El tratamiento que presentó mayor uniformidad de bulbos de la lechuga fue cuando se aplicó riego a una frecuencia de dos días entre riego y riego, con un 92% de uniformidad.

Las diferentes frecuencias de riego, no manifestaron diferencias entre cada uno de los tratamientos, sobre la madurez fisiológica en el cultivo de lechuga, pues a los 72 y 73 días después del trasplante, las frecuencias 2 y 4 ya habían llegado a un 80% de falsos tallos doblados, mientras que las frecuencias 1 y 3, lo hicieron a los 77 y 78 días.

Se pudo determinar que los sistemas de riego cada día y tres días fueron los más ventajosos. Teniendo al riego por cada tres días (T3) como el más rentable con el 190,51% así mismo se considera en el tiempo en las frecuencias de riego es más conveniente, seguidamente del riego por cada un día (T1) con 186,97%, es rentable, pero en el tiempo de riego de las frecuencias de riego es menos favorable. Los tratamientos menos rentables son el riego por cada cuatro días (T4) con 148,03%, y riego cada dos días (T2) con 136,42%.

VI. RECOMENDACIONES

Para la producción de lechuga y de hortalizas en general, se recomienda el uso de los sistemas riego por goteo en invernaderos, ya que, al mantener la superficie del suelo seca, ayuda a prevenir problemas como: aparición de babosas, pudriciones de la base del tallo de la planta y el crecimiento de malas hierbas.

Si el sitio donde se instalará el sistema de riego presenta alta incidencia solar, se recomienda el uso del sistema de riego goteo subterráneo, ya que, al no estar expuesto a las condiciones del clima, la vida útil del sistema se alarga.

Se recomienda realizar estudios posteriores tendientes a determinar el beneficio en la comercialización de las hortalizas en general, con la instalación de sistemas de riego

Para las condiciones en que se realizó este estudio, se recomienda, la aplicación de frecuencia de riego diario, con tiempos de 30 minutos, ya que fue en esta frecuencia, en la que se obtuvo mayor rendimiento y beneficios económicos.

VII. REFERENCIAS

- ALA, A. D. (2009). Evaluacion de los Recursos Hidricos en la Cuenca del Rio Ilave. Puno Peru: Ministerio de Agricultura.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome: [:http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm](http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm).
- Arapa, Q. J. (2006). Sistemas de Riego a Presión Teoría y Problemas. Lima Peru: Universidad nacional Agraria La Molina. 18-54 p.
- Bear, F. (1963). Suelos y Fertilizantes. . Barcelona España.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). Cultivos en hidroponia. Buenos Aires Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad nacional de la Plata.
- Challa, H., Heuvelink, E., & Van Meeteren, U. (1995). Crop growth and development. Long-term responses. Crop growth. In: Bakker, J.C.; Bot, G.P.A.; Challa, H.; Van de Braak, N.J. Greenhouse climate control: an integrated approach. Wageningen: Wageningen Pers.
- Doorembos, J., & Kassam, A. (1979). Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO.
- Doorembos, J.; Pruit, W. (1977). Las necesidades del agua de los cultivos. Roma Italia: Estudio FAO. Riego y Drenaje N° 24.
- Eric, J., & Asesor, S. (2009). Estudio de los sistemas de riego localizado por goteo y exudación, en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. alface stella), BAJO INVERNADERO.
- FAO. (1990). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Italia Roma: Estudio FAO Riego y Drenaje:Publicacxion N° 56.
- Fuentes, J. L. (2003). Técnicas de riego. 4a edición revisada y ampliada ed. Madrid: Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid España: Ediciones Mundi-Prensa; p. 483.
- Gonzales, C., Julio, V., & Roncancio, F. (2011). Evapotranspiración en plantas de rosa cv. Charlotte en condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/269996252>.
- Hunt, R. (1979). Plant Growth analysis: The rationale behind the use of the fitted mathematical function. Ann. Bot. 43.

- Hunt, R., Causton, D., Shipley, B., & Askew, P. (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of botany* 90. Disponible en línea en: www.aob.oup.journals.org, 485-488.
- IDEAM, I. d. (2015). Por fenómeno de El Niño, ha llovido menos en regiones Andina y Caribe. En: Cambio climático. . <http://www.minambiente.gov.co>.
- Liliana, M. (2012). Comportamiento del tomate con distintos sustratos y frecuencias de riego bajo condiciones protegidas . Por. Lopez y Garcia, T. (2015). X congreso de la asociación española de economía agraria. España.
- Lopez, & Garcia, T. (2015). X congreso de la asociación española de economía agraria.
- Mendoza, M. A. (2013). Riego por goteo. El Salvador: CENTA.
- Pizarro, C. F. (1996). Riegos Localizados de Alta Frecuencia. (E. E. Mundi-Prensa, Ed.) Barcelona España: 3ra edición.
- Porras, J., & Zenaida, R. (2015). Evaluación del sistema de riego por goteo y exudación en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el INIA - La Molina. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria La Molina: URI: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1841>.
- Ramirez, C., & Nienhuis, J. (2012). Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.303>.
- Romero, C. (2015). Perfil económico: Departamento de Nariño. En: Perfiles económicos por departamentos. <http://www.mincit.gov.co/publicaciones.php?id=16724>; consulta: octubre, 2015.
- Roncal, R. M. (2008). Cultivos semihidroponicos, alternativa para reducir las enfermedades digestivas en la ciudad de celendín-cajamarca. *Bosques Estacionalmente Secos del Perú* View project Birds Assessments in Ecosystems of Northwest Peru View project. Recuperado de <http://www.agropinos.com/sistemas-de-riego>.
- Rueda-Magaña, V. O. (2004). El Cambio Climático Global: Comprender el Problema. En Martínez, J. & Fernández-Bremauntz, A. (Comp.).
- Saavedra del R., G. (2017). Manual de Produccion de Lechuga. Santiago de Chile: Editor: Gabriel Saavedra Del R. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Schwarz, D., Heinen, M., & Van, M. (1995). Rooting characteristics of lettuce grown in irrigated sand beds. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/BF00011784>.
- Seidel, S., Werisch, S., Schutze, N., & Laber, H. (2017). Impact of irrigation on plant growth and development of white cabbage. *Agricultural Water Management*. 187:99 - 111. doi: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.011>.

- Tarque, D. M., Chipana, R. R., Mena, H. F., Quino, L. J., Tallacagua, T. R., & Gutierrez, V. S. (2017). Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), mediante termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* versión impresa ISSN 2409-1618.
- Torres, G. (2012). Evaluación de Cinco Frecuencias de Riego Por Goteo, en el Rendimiento ee Bulbo Blanco en el Cultivo de Cebolla (*Allium cepa*; Liliaceae); Asunción Mita, Jutiapa. Universidad Rafael Landívar Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas Licenciatura en Ciencias Agrícolas con Énfasis en Riegos.
- Vilca, F. (2015). Valuación de las aguas subterráneas para el aprovechamiento con fines de riego presurizado en la estacion experimental agraria Illpa. Puno Peru.
- Welch, C., & Shock, T. (2013). El riego por Goteo : Una Introduccion. Oregon State University: Técnicas para la Agricultura Sostenible.
- Xu, G., Levkovitch, I., Soriano, S., Wallach, R., & Silber, A. (2004). Integrated effect of irrigation frequency and phosphorus level on lettuce: P uptake, root growth and yield. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047743.19391.42>.
- Zenaida, R. P. (2015). Evaluación del Sistema de Riego Por Goteo y Exudación en el Cultivo de Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) En El Inia –La Molina. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina Facultad de Ingenieria Agrícola Tesis.



VIII. ANEXOS

Tabla A 1 Certificado de análisis de agua y suelo para fines de agrarios



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 SERVICIO NACIONAL DE LABORATORIOS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE AGUA

| |
|--|
| Análisis N°: 1148 |
| Fecha de Entrada: 17 de Febrero del 2016 |
| Fecha de Certificación: 19 de Febrero del 2016 |
| Sistema de Riego: |

Localización: Invernaderos Jayllihuaya. Milvar Chino Navincho.

| Determinaciones | | |
|-------------------|--------------|----------------------------|
| pH | 7,59 | |
| C.E. | 0,226 | 25*(mS/cm) |
| Sales Totales | 86,00 | (mg/l) |
| Dureza Total | 17,49 | CaCO ₃ (G.H.F.) |
| Alcalinidad total | 2900,00 | CaCO ₃ |
| R.A.S. | 0,21 | |
| S.C.R. | 2,60 | |
| Índice de Scott | | |
| Boro | | (ppm) |
| CACIONES | meq/l | mg/l |
| Calcio | 1,90 | 38,07 |
| Magnesio | 1,60 | 19,36 |
| Potasio | 0,36 | 14,07 |
| Sodio | 0,29 | 6,67 |
| TOTAL | 4,15 | |
| ANIONES | meq/l | mg/l |
| Cloruros | 0,20 | 7,09 |
| Sulfatos | 1,12 | 53,79 |
| Carbonatos | 0,00 | 0,00 |
| Bicarbonatos | 2,90 | 176,92 |
| TOTAL | 4,22 | |

| Representación grafica | Muy baja | Bajo | Normal | Alto | Muy alto |
|------------------------|----------|------|--------|------|----------|
| pH | _____ | | | | |
| C.E. | _____ | | | | |
| Sales Totales | _____ | | | | |
| Dureza Total | _____ | | | | |
| R.A.S. | _____ | | | | |
| S.C.R. | _____ | | | | |
| Índice de Scott | _____ | | | | |
| Boro | _____ | | | | |
| Sodio | _____ | | | | |
| Nitratos | _____ | | | | |
| Cloruros | _____ | | | | |

| Otras Determinaciones | Resultado | |
|-----------------------|-----------|--------|
| | meq/l | mg/l |
| Nitratos | 1,70 | 105,40 |
| | | |
| | | |

| |
|--|
| Clasificación Riverside : C1S1 |
| R.A.S: Aguas de buena calidad aptas para el riego |
| S.C.R: Agua poco Recomendable a Aceptable |
| Tipo de Agua: Semi Blanda |
| Diagnóstico y Recomendaciones: Agua de Buena a Admisible |

INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Analisis
 SALCEDO



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 LABORATORIO DE ANALISIS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Ofc. Principal: Av. La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO EN ANÁLISIS

SOLICITANTE : Milvar Chino Navincho.
 DIRECCION :
 PROCEDENCIA : Jallihuaya.
 PRODUCTO : Suelo.
 TIPO DE ANALISIS : Densidad Aparente, Capacidad de Campo Humedad.
 N° DE ANALISIS : 01.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 17 de Febrero del 2016.
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 22 de Febrero del 2016.

| Determinaciones | 01 |
|-------------------------|-------|
| Humedad % | 12,26 |
| Densidad Aparente gr/cc | 1,40 |
| Densidad Real gr/cc | 2,64 |
| Capacidad de Campo % | 32,00 |

Referencias:

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California. Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression. Octubre 1988. 195p.

Conclusiones:

La muestra analizada de Suelos CUMPLE con los requisitos de documento referencial.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.



INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 Ing° JORGE GANIHUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 SALCEDO

Tabla A 2 Costos de producción

CUADRO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA UNA HECTAREA DE LECHUGA (T1)

T1 = Sistema de riego localizado por goteo superficial (cinta hidrogol gotero a 0,20 m)

| MATERIA PRIMA | | | | | MANO DE OBRA | | | | COSTOS | | | | | |
|-------------------------|-----------|----------|----------------|--------------|---------------------|-------------|------------|----------|-------------------------------|------------------|----------|----------------|-------------|-----------------|
| DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL | ACTIVIDAD | TOTAL HORAS | COSTO HORA | SUBTOTAL | DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL | |
| Plántula | unidad | 120 | 0.025 | 3000 | Preparación | 200 | 1.25 | 250 | Cinta de riego costo ciclo | unidad | 1 | 707.14 | 707.14 | |
| | | | | | Trasplante | 320 | 1.25 | 500 | Sistemas de riego costo ciclo | unidad | 1 | 1591 | 1591 | |
| | | | | | Riego | 200 | 1.25 | 450 | Arriendo terreno costo ciclo | unidad | 1 | 151 | 151 | |
| | | | | | Cultural | 160 | 1.25 | 200 | Humus | unidad | 170 | 3 | 510 | |
| | | | | | | | | | Agua de riego | m ³ | 1484.12 | 0.01 | 14.84 | |
| | | | | | | | | | Gavetas costo ciclo | unidad | 300 | 0.33 | 100 | |
| | | | | | | | | | Transporte Comercialización | viaje | 22 | 30 | 660 | |
| SUB TOTAL | | | | 3000 | SUB TOTAL | | | | 1400 | SUB TOTAL | | | | 3733.98 |
| Costo Producción Unidad | | | | 0.066 | Costo Producción kg | | | | 0.279 | TOTAL | | | | 8,133.98 |
| Precio Venta kg | USD 0,80 | | B/C | 2.87 | | | | | | | | | | |
| Ingreso Total | 23,341.99 | | Rentabilidad | 187.00% | | | | | | | | | | |
| Ingreso Neto | 15,208.01 | | | | | | | | | | | | | |

CUADRO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA UNA HECTAREA DE LECHUGA (T2)

T2 = Sistema de riego localizado por goteo superficial (cinta hidrogol gotero a 0,20 m)

| MATERIA PRIMA | | | | | MANO DE OBRA | | | | COSTOS | | | | | |
|-------------------------|-----------|----------|----------------|--------------|---------------------|-------------|------------|----------|-------------------------------|------------------|----------|----------------|-------------|-----------------|
| DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL | ACTIVIDAD | TOTAL HORAS | COSTO HORA | SUBTOTAL | DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL | |
| Plántula | unidad | 120 | 0.025 | 3000 | Preparación | 200 | 1.25 | 250 | Cinta de riego costo ciclo | unidad | 1 | 707.14 | 707.14 | |
| | | | | | Trasplante | 320 | 1.25 | 500 | Sistemas de riego costo ciclo | unidad | 1 | 2100.68 | 2100.68 | |
| | | | | | Riego | 200 | 1.25 | 450 | Arriendo terreno costo ciclo | unidad | 1 | 151 | 151 | |
| | | | | | Cultural | 160 | 1.25 | 200 | Humus | unidad | 170 | 3 | 510 | |
| | | | | | | | | | Agua de riego | m ³ | 1484.12 | 0.01 | 14.84 | |
| | | | | | | | | | Gavetas costo ciclo | unidad | 300 | 0.33 | 100 | |
| | | | | | | | | | Transporte Comercialización | viaje | 22 | 30 | 660 | |
| SUB TOTAL | | | | 3000 | SUB TOTAL | | | | 1400 | SUB TOTAL | | | | 4243.66 |
| Costo Producción Unidad | | | | 0.066 | Costo Producción kg | | | | 0.338 | TOTAL | | | | 8,642.66 |
| Precio Venta kg | USD 0,80 | | B/C | 2.36 | | | | | | | | | | |
| Ingreso Total | 20,432.90 | | Rentabilidad | 136.40% | | | | | | | | | | |
| Ingreso Neto | 11,790.24 | | | | | | | | | | | | | |

CUADRO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA UNA HECTAREA DE LECHUGA (T4)

T4 = Sistema de riego localizado por goteo superficial (cinta hidrogol gotero a 0,20 m)

| MATERIA PRIMA | | | | | MANO DE OBRA | | | | COSTOS | | | | |
|--------------------------------|--------|----------|----------------|--------------|----------------------------|-------------|------------|-------------|-------------------------------|----------------|--------------|----------------|-----------------|
| DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | GOSTO UNITARIO | COSTO TOTAL | ACTIVIDAD | TOTAL HORAS | COSTO HORA | SUBTOTAL | DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | GOSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
| Plántula | unidad | 120 | 0.025 | 3000 | Preparación | 200 | 1.25 | 250 | Cinta de riego costo ciclo | unidad | 1 | 707.14 | 707.14 |
| | | | | | Trasplante | 320 | 1.25 | 500 | Sistemas de riego costo ciclo | unidad | 1 | 1332.13 | 1332.13 |
| | | | | | Riego | 200 | 1.25 | 450 | Arriendo terreno costo ciclo | unidad | 1 | 151 | 151 |
| | | | | | Cultural | 160 | 1.25 | 200 | Humus | unidad | 170 | 3 | 510 |
| | | | | | | | | | Agua de riego | m ³ | 1484.12 | 0.01 | 14.84 |
| | | | | | | | | | Gavetas costo ciclo | unidad | 300 | 0.33 | 100 |
| | | | | | | | | | Transporte Comercialización | viaje | 22 | 30 | 660 |
| SUB TOTAL | | | | 3000 | SUB TOTAL | | | 1400 | SUB TOTAL | | | | 3475.11 |
| Costo Producción Unidad | | | | 0.066 | Costo Producción kg | | | | 0.0323 | | TOTAL | | 7,875.11 |

| | | | |
|-----------------|-----------|--------------|---------|
| Precio Venta kg | USD 0,80 | B/C | 2.48 |
| Ingreso Total | 19,532.47 | Rentabilidad | 148.00% |
| Ingreso Neto | 11,657.36 | | |

CUADRO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA UNA HECTAREA DE LECHUGA (T3)

T3 = Sistema de riego localizado por goteo superficial (cinta hidrogol gotero a 0,20 m)

| MATERIA PRIMA | | | | | MANO DE OBRA | | | | COSTOS | | | | |
|--------------------------------|--------|----------|----------------|--------------|----------------------------|-------------|------------|-------------|-------------------------------|----------------|--------------|----------------|-----------------|
| DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | GOSTO UNITARIO | COSTO TOTAL | ACTIVIDAD | TOTAL HORAS | COSTO HORA | SUBTOTAL | DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | GOSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
| Plántula | unidad | 120 | 0.025 | 3000 | Preparación | 200 | 1.25 | 250 | Cinta de riego costo ciclo | unidad | 1 | 707.14 | 707.14 |
| | | | | | Trasplante | 320 | 1.25 | 500 | Sistemas de riego costo ciclo | unidad | 1 | 1277.32 | 1277.32 |
| | | | | | Riego | 200 | 1.25 | 450 | Arriendo terreno costo ciclo | unidad | 1 | 151 | 151 |
| | | | | | Cultural | 160 | 1.25 | 200 | Humus | unidad | 170 | 3 | 510 |
| | | | | | | | | | Agua de riego | m ³ | 1484.12 | 0.01 | 14.84 |
| | | | | | | | | | Gavetas costo ciclo | unidad | 300 | 0.33 | 100 |
| | | | | | | | | | Transporte Comercialización | viaje | 22 | 30 | 660 |
| SUB TOTAL | | | | 3000 | SUB TOTAL | | | 1400 | SUB TOTAL | | | | 3420.3 |
| Costo Producción Unidad | | | | 0.066 | Costo Producción kg | | | | 0.0275 | | TOTAL | | 7,820.30 |

| | | | |
|-----------------|-----------|--------------|---------|
| Precio Venta kg | USD 0,80 | B/C | 2.91 |
| Ingreso Total | 22,718.61 | Rentabilidad | 190.50% |
| Ingreso Neto | 14,898.31 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 65 | 18,86 | 19,5 | 20,14 | 19,5 | 22,12 | 22,06 | 20,78 | 21,65 | 18,86 | 19,5 | 20,14 | 19,5 | 22,12 | 22,06 | 20,78 | 21,65 |
| 66 | 19,05 | 19,7 | 20,35 | 19,7 | 22,37 | 22,3 | 21 | 21,89 | 19,05 | 19,7 | 20,35 | 19,7 | 22,37 | 22,3 | 21 | 21,89 |
| 67 | 19,24 | 19,9 | 20,56 | 19,9 | 22,61 | 22,54 | 21,22 | 22,12 | 19,24 | 19,9 | 20,56 | 19,9 | 22,61 | 22,54 | 21,22 | 22,12 |
| 68 | 19,43 | 20,1 | 20,77 | 20,1 | 22,85 | 22,78 | 21,44 | 22,36 | 19,43 | 20,1 | 20,77 | 20,1 | 22,85 | 22,78 | 21,44 | 22,36 |
| 69 | 19,62 | 20,3 | 20,98 | 20,3 | 23,09 | 23,02 | 21,66 | 22,59 | 19,62 | 20,3 | 20,98 | 20,3 | 23,09 | 23,02 | 21,66 | 22,59 |
| 10°S | 19,81 | 20,5 | 21,19 | 20,5 | 23,33 | 23,26 | 21,88 | 22,82 | 19,81 | 20,5 | 21,19 | 20,5 | 23,33 | 23,26 | 21,88 | 22,82 |
| 71 | 20 | 20,7 | 21,4 | 20,7 | 23,57 | 23,5 | 22,1 | 23,06 | 20 | 20,7 | 21,4 | 20,7 | 23,57 | 23,5 | 22,1 | 23,06 |
| 72 | 20,19 | 20,9 | 21,61 | 20,9 | 23,81 | 23,74 | 22,32 | 23,29 | 20,19 | 20,9 | 21,61 | 20,9 | 23,81 | 23,74 | 22,32 | 23,29 |
| | | | | 14 | | | | 15 | | | | 14 | | | | 15 |

Fuente: Elaboración propia.

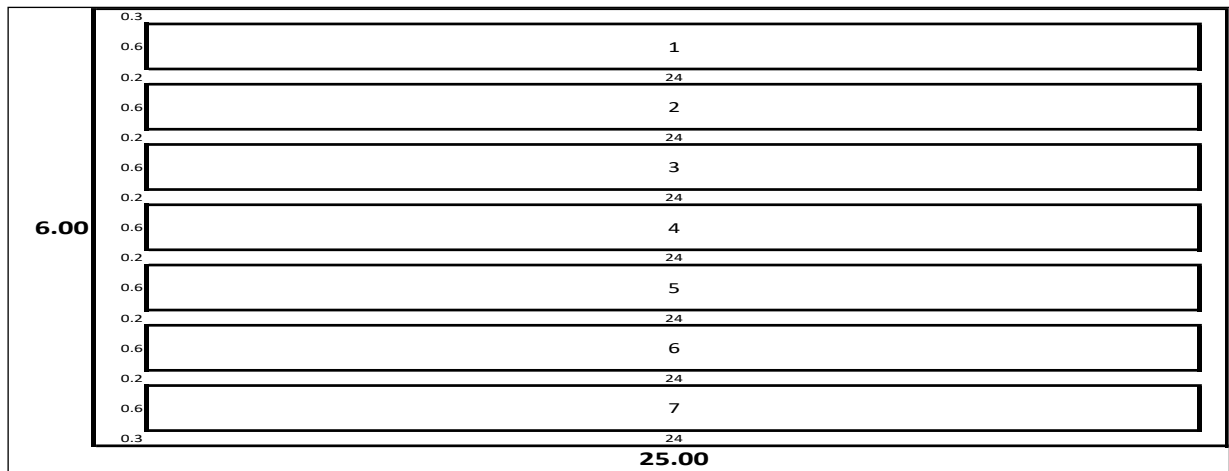


Foto 1 Distribuido de las cintas goteras de riego en unidades experimentales.

Fotografías de los cultivos de la lechuga y zona de experimento



Foto 2 Realizado mediciones a las plantas



Foto 3 Cultivo de la lechuga ya con dos semanas



Foto 4 Cultivo de la lechuga ya con tres semanas



Foto 5 Cultivo de la lechuga ya listo para la cosecha



Foto 6 Midiendo alturas del cultivo de la lechuga