

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**"Efecto de tres técnicas de riego por aspersión en el cultivo del ajo
(*allium sativum* L.) en el caserío de Chupicaloma - Baños del Inca -
Cajamarca"**

T E S I S

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el bachiller:

Percy Alberto Rodríguez López

Asesores

Ing. José Lizandro Silva Mego

M.Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas

CAJAMARCA - PERÚ

- 2014 -

Universidad Nacional de Cajamarca

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE Agronomía

Departamento Académico de Agronomía

Cajamarca - Perú Telefax 0051-044825846 Anexos 107-108



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Cajamarca, a los **diecinueve** días del mes de setiembre del año **dos mil catorce**, se reunieron en el Auditorium 2 C- 201 de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, los integrantes del Jurado designado por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° **280-2014-FCA-UNC**, con el objetivo de Evaluar la sustentación de la Tesis Titulada: **"EFECTO DE TRES TÉCNICAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE AJO (*Allium sativum* L.), EN EL CASERIO DE CHUPICALOMA-BAÑOS DEL INCA"**; a cargo del Bachiller en Agronomía Percy Alberto Rodríguez López para optar el título profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las horas **diecisiete** y **dos** minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del jurado dio por iniciado el acto.

Después de la exposición del Trabajo Tesis, formulación de preguntas y la deliberación del Jurado, el Presidente del Jurado anunció la **aprobación** por **unanimidad** con el calificativo de **quince (15)** por lo tanto, el graduado queda expedito para que se le expida el título profesional correspondiente.

A las **diecinueve** horas y **diez** minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, **19** de setiembre del 2014

.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
PRESIDENTE

.....
M. Sc. Segundo César Guevara Cieza
VOCAL

.....
Ing. M. Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas
ASESOR

.....
Ing. M. Sc. Aníbal Israel Cadenillas Martínez

SECRETARIO

.....
Ing. José Lizandro Silva Mego
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por guiar mi camino.

A mis abuelos Domitila y Abdón, que me inculcaron valores y orientaron mis actitudes a un desarrollo personal y profesional para forjarme un futuro mejor.

A mi hijo Leonardo, que es mi alegría y motivación.

A mi esposa Yanet, por su amor, aliento constante y comprensión.

EL AUTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis asesores, Ing. José Lisandro Silva Mego y M. Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas, por sus orientaciones y sugerencias importantes para fortalecer el presente trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial al Ing. Antenor Floríndez Díaz, por sus consejos, gran apoyo y amistad.

A mis tíos, Segundo y María, por sus consejos y apoyo incondicional.

A las instituciones: Instituto Cuencas, GTZ y SENAMHI; por su apoyo y colaboración para el desarrollo de esta investigación.

A todas las personas que me apoyaron directa o indirectamente para culminar con éxito este trabajo.

EL AUTOR

RESUMEN

Dado el incremento cada vez mayor de productos agrícolas y la escasa disponibilidad de agua para riego en zonas de ladera de la región Cajamarca entre los meses de agosto del 2008 y enero del 2009, se evaluaron los efectos de tres técnicas de riego por aspersión en la producción de ajo (*Allium sativum* L.) en el caserío de Chupicaloma-Baños del Inca, en las coordenadas 17M9213358 y UTM780871 a una altitud de 3 078 m. El cultivo se sembró y se sometió a 3 tratamientos. T1: Lámina y frecuencia de riego por aspersión utilizada por el agricultor, T2: Lámina y frecuencia de riego por aspersión programadas en base al potencial de humedad del suelo leída en el tensiómetro y T3: Lámina y frecuencia de riego por aspersión calculadas teóricamente a través de la fórmula de Hargreaves con MF. Además se utilizaron tensiómetros para medir potencial de humedad del suelo a 0.20 m de profundidad en cada tratamiento. El rendimiento de ajo bajo las condiciones de dicha localidad fue de, 8 896 kg ha⁻¹ para T1, 10 646 kg ha⁻¹ para T2 y 8 775 kg ha⁻¹ para T3. Las otras características agronómicas; altura de planta, diámetro de bulbo, altura de bulbo y número de dientes fueron superiores con el tratamiento T2. Los volúmenes de agua y frecuencias de riego utilizadas variaron entre tratamientos. Para el T1 se incorporó un volumen total 5 780 m³ ha⁻¹, la frecuencia media de riego fue de 12 días, para el T2 el volumen utilizado fue de 5 616 m³ ha⁻¹ con una frecuencia media 8 días y para el T3 se utilizó un volumen total de 6 953 m³ ha⁻¹, con una frecuencia media de riego de 6.6 días. Los potenciales de humedad del suelo con que se ha conducido cada uno de los tratamientos han sido de: 29 cb para el T1, 24 cb para T2 y 17 cb para el T3.

ABSTRACT

Given the growing of agricultural products and increase the availability of water for irrigation in hillside areas of Cajamarca region between the months of August 2008 and January 2009, were evaluated the effects of three irrigation techniques for spray in the production of garlic (*Allium sativum* L.) in the hamlet of Chupicaloma Baños del Inca -at coordinates 17M9213358, UTM780871 and at an altitude of 3078 m. The culture was seeded and subjected to 3 treatments. T1: Art and sprinkler irrigation frequency used by the farmer, T2: Blade and frequency of scheduled sprinkler irrigation based on soil moisture potential read on the tensiometer and T3: Art and frequency sprinkler theoretically calculated through formula of Hargreaves with MF. Also tensiometers were used to measure soil moisture potential at 0.20 m profundad in each treatment. The yield of garlic under the conditions of the town was, 8 896 kg ha⁻¹ for T1, 10 646 kg ha⁻¹ for T2 and 8775 kg ha⁻¹ to T3. The other agronomic traits; plant height, bulb diameter, bulb height and number of teeth were superior to T2. Regarding volumes of irrigation water used frequencies vary between treatments. For T1 total volume was incorporated 5780 m³ ha⁻¹, the mean frequency of irrigation was 12 days for T2 the total volume was 5 616 m³ ha⁻¹ with an average frequency 8 days and for T3 used a total volume of 6 953 m³ ha⁻¹, with an average frequency of 6.6 days irrigation. Potential soil moisture that has led each of the treatments have been: 29 cb for T1, T2 and 24 cb to 17 cb for T3.

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Riego por aspersión.....	3
2.2. Aspectos generales del suelo y la humedad.....	3
2.3. Características generales del cultivo.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Características generales de la zona.....	19
3.2. Materiales.....	19
3.3. Metodología.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	39
4.1. Recopilación y tratamiento de la información de campo.....	39
4.2. Análisis estadístico de los tratamientos en estudio.....	43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
5.1. Conclusiones.....	53
5.2. Recomendaciones.....	53
VI. LITERATURA CITADA.....	54
ANEXOS.....	57

I. INTRODUCCIÓN.

El agua es el recurso más importante para llevar a cabo los procesos químicos y biológicos que ocurren en la tierra. Sin embargo, hay muy poca cantidad de agua dulce disponible para el consumo humano y del resto de especies. Menos del 3 % del agua del mundo es dulce; de esta, el 75 % está congelada y se encuentran en los polos, de la no congelada, el 98 % se encuentra bajo tierra, tal es así que hoy en día las fuentes de agua naturales (puquios, manantiales, ríos, etc.) están en una acelerada vía de extinción producto del cambio climático, a esto se suma el ineficiente uso del recurso disponible; tanto en el sector agrícola, industrial y doméstico; se sabe que el sector agrícola es el mayor consumidor de agua con el 65 % del líquido disponible mundialmente, porque no se cuenta con sistemas de riego eficientes, que permitan racionalizar el uso del agua de acuerdo a las características físico-químicas del suelo y a los requerimientos del cultivo, evitándose pérdidas innecesarias por evaporación, reflujos a los ríos y acuíferos (Toledo, 2007).

En la actualidad los riegos presurizados constituyen una alternativa viable al uso eficiente del agua, principalmente en las zonas agrícolas donde este recurso ya está escaso como es el caso de las zonas de ladera en la sierra peruana. En la región Cajamarca el 23 % de la superficie cultivada se encuentra bajo riego, donde se usa el riego por gravedad con muy baja eficiencia, también se observa que el agua es cada vez más escasa, limitando la producción agrícola durante la época de estiaje y concentrándolo gran parte de esta en el periodo lluvioso que tan solo dura alrededor de 6 meses, en tal sentido el recurso agua constituye un factor limitante bajo las condiciones de sierra como es Cajamarca.

Un riego será eficiente en la medida que se aplique la cantidad de agua necesaria y en el momento oportuno durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, tratando que el contenido de humedad del suelo sea lo suficientemente homogénea para todas las plantas de la parcela regada. El riego por aspersión es una tecnología reciente que juntamente con otros sistemas de riego presurizado están siendo incorporados en la producción agrícola, con este método es posible tener un mejor control del agua para riego; asimismo es posible disminuir las pérdidas excesivas de agua y lograr una mayor

producción y productividad de cultivos, por lo tanto es posible el uso racional del agua en la agricultura mediante las prácticas del riego tecnificado.

Frente a las pocas fuentes de agua con que se cuenta en la zona y la falta de información adecuada sobre la programación del riego por aspersión de acuerdo a las condiciones de clima y suelo del lugar, se ha creído conveniente en el presente trabajo de investigación evaluar el efecto de tres técnicas de riego por aspersión en el cultivo del ajo (*Allium sativum L.*), este estudio nos permitirá definir cuál de ellas es la más adecuada para lograr el uso eficiente del agua para riego en el caserío de Chupicaloma Distrito de Baños Del Inca. Reconociendo que este cultivo al igual que otros hoy en día constituye una alternativa potencial en la región y por ende en esta localidad para mejorar en cierta escala la economía de los agricultores, los que desconocen los parámetros técnicos del uso eficiente del agua. Es así que el presente trabajo de investigación tiene como objetivo.

- Determinar la técnica de riego por aspersión más adecuada en el rendimiento del ajo (*Allium Sativum L.*), en el caserío de Chupicaloma - Baños del Inca –Cajamarca.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Riego por aspersión

Torres *et al* (2004) menciona que el riego por aspersión consiste en la distribución del agua en forma de lluvia. Por otro lado Tarjuelo citado por Romero (2010) afirma que el riego por aspersión consiste en la aplicación del agua en forma de lluvia artificial, mediante emisores especiales que pueden controlar el volumen y el tiempo, siempre y cuando los trabajos de diseño en los proyectos hayan sido convenientemente diseñados e instalados. Es la aplicación de agua a presión en forma de lluvia fina y controlada a los cultivos andinos, aprovechando la topografía del lugar (Asociación Evangélica Luterana de ayuda para el Desarrollo comunal, 2011).

Para Torres *et al.* (2004) la aplicación de un cierto sistema de riego dependerá de los siguientes factores:

- Topografía del terreno.
- Tipo de cultivo.
- Disponibilidad de agua.
- Inversión y costos de mantenimiento del sistema.
- Disponibilidad de mano de obra.

Según Michiel y Has (2000) el sistema de riego por aspersión tiene tres componentes: la infraestructura, la organización para su mantenimiento y operación y el sistema de producción bajo riego. Se deben tratar los tres componentes en conjunto para que los proyectos sean sistemas de riego coherentes, es decir cuyas partes forman un conjunto funcional. Podemos captar agua de manantiales (caudales de 0.2 l s^{-1} o mayor), quebradas, canales de riego; por lo tanto cuando se dispone de un pequeño caudal de agua (manantes), el riego por aspersión es el que se adapta mejor.

2.2. Aspectos generales del suelo y la humedad

Castañón (2000) menciona que un suelo puede contener cantidades variables de agua, comprendidas entre unos límites que van desde el encharcamiento total o suelo saturado hasta la desecación casi completa. Al respecto Pizarro (1990) sostiene que el

exceso de agua disminuye el espacio aéreo del suelo, lo que tiene consecuencias negativas sobre los cultivos por su efecto directo sobre la respiración de las raíces y por alterar la actividad microbiana. En el manejo del riego se debe mantener la humedad del suelo entre dos límites: un inferior para que las plantas no sufran la falta de agua y que se caracteriza, no por el contenido de humedad sino por el potencial hídrico del suelo y uno superior que garantice la aireación mínima del suelo. Sin embargo Castañón (2000) menciona que el agua que se va a aportar a un suelo, viene condicionada por la máxima cantidad que puede almacenar el terreno, según su textura y estructura. En este aspecto las prácticas culturales de laboreo y conservación, tienen una importancia decisiva, permitiendo aumentar la capacidad de retención de agua. Al respecto Torres *et al.* (2004) indica que en condiciones de campo, la absorción y distribución del agua de lluvia depende de la textura del suelo. Los suelos arenosos absorben rápidamente la lluvia y permiten una rápida infiltración hasta el nivel del agua freática. Los suelos de arcilla oponen gran resistencia a los movimientos del agua, pero se pueden observar diferencias que dependen de la estructura y de la presencia de horizontes compactos.

2.2.1. Textura del suelo y su relación con el almacenamiento de agua

La textura es una expresión sintética de las características de cada horizonte que depende de la proporción de los distintos tamaños de partículas (...), de esta depende la capacidad de agua disponible para las plantas, suministro y facilidad de la circulación del agua (Porta *et al.*, 2003).

Castañón (2000) afirma que la resistencia del cultivo a la sequía es el punto que hay que considerar, ya que puede determinar la frecuencia de riego y que los cultivos muy sensibles deben regarse con mayor frecuencia. También menciona que la dosis neta de riego (lámina neta) es la cantidad de agua que deben recibir las plantas para cubrir sus necesidades hídricas; esta dosis depende de las condiciones físicas del suelo y de la profundidad de las raíces del cultivo.

2.2.2. Necesidades hídricas de un cultivo

Dépez citado por Romero (2010) sostiene que la necesidad de agua de un cultivo, se define como la cantidad de agua necesaria para reponer las pérdidas de agua producida por el proceso de la evapotranspiración. En otras palabras es la

cantidad de agua que necesita el cultivo para crecer y desarrollarse de una manera óptima. En este sentido conocer la demanda de agua del cultivo es un paso previo indispensable para establecer los volúmenes de riego con que se debe complementar o suplir las lluvias. Este procedimiento forma la base para la planificación del riego y la formulación de los proyectos de riego (Florindez, 2011).

Tarjuelo citado por Romero (2010) menciona que una gran frecuencia de riego suele aumentar el consumo de agua, sobre todo cuando el cultivo no cubre la superficie total del suelo, debido a que existen mayores pérdidas por evaporación. El aumento en la frecuencia de riegos lleva consigo una mayor disponibilidad de agua en el suelo, al ser menor la tensión con que esta es retenida.

Heredía y Conti (1997) sostienen que la cantidad de agua usada en el riego debería ser exactamente igual a la cantidad de agua evaporada y la transpirada por el cultivo. Al respecto Villón (2003) dice que la evaporación varía con la latitud, época del año, hora del día y condiciones de nubosidad, y que la evapotranspiración está constituida por las pérdidas totales de agua; es decir: evaporación de la superficie del suelo y agua más transpiración de las plantas.

2.2.3. La Evapotranspiración

La FAO (s.f.) menciona que la evapotranspiración (ETP) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. Por otro lado Villón (2003) lo define como la pérdida total del agua, que ocurriría si en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo, para el uso de la vegetación.

Para Santos (2010) la evapotranspiración puede medirse directamente a través de lisímetros o indirectamente con métodos micrometeorológicos, pero puede estimarse mediante diferentes modelos más o menos empíricos a partir de registros periódicos de distintas variables climáticas. Mientras las dos primeras posibilidades son propias del campo de la investigación, la tercera alternativa es la más extendida en la práctica del riego.

Soto (2002) también menciona que la determinación de las necesidades de agua de un cultivo puede hacerse por diversos métodos: a) **Método directo** a través de lisímetros y b) **métodos empíricos**, estos métodos empíricos evalúan la evapotranspiración a partir de datos climáticos y de otra clase. Entre ellos destacan los cuatro métodos expuestos por Doorembos y Pruitt en la publicación de FAO "Las Necesidades de Agua de los Cultivos, utilizados generalmente, como métodos de predicción.

- Método de Blaney-Criddle.
- De la radiación.
- De Penman.
- Método de Hargreaves

Estudios comparativos realizados han permitido concluir que las fórmulas que toman en cuenta los factores climáticos más importantes (temperatura, humedad, viento, luz solar y elevación) son las más convenientes y las que ofrecen un mayor grado de correlación. En muchos casos la elección de la fórmula está limitado a la disponibilidad de la información climatológica (...), puesto que las estaciones climatológicas disponibles en la cuenca no disponen de algunos parámetros tales como velocidad del viento y horas de sol, por lo que, el método propuesto por George Hargreaves con MF, resulta apropiado porque requiere solo registros de temperatura y humedad relativa. La fórmula es como sigue.

$$ETP = MF \cdot (1.8T + 32) \cdot CH$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm mes⁻¹)

MF = Factor mensual dependiente de la latitud

T = Temperatura promedio mensual en °C,

CH = Factor de corrección para la humedad relativa (HR), usado para humedades excedentes a 64%, CH, se determina a través de la siguiente expresión.

$$CH = 0.166(100-HR)^{1/2}$$

(http://www.ana.gob.pe/media/296523/estudio_hidrologico_acari.pdf).

Soto (2002) considera que la evapotranspiración de cualquier cultivo se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$ETc = ETP \times Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración de cultivo, expresado en mm día⁻¹,

ETP = Evapotranspiración potencial o de referencia, en mm día⁻¹

Kc = Coeficiente del cultivo.

El valor del coeficiente del cultivo (Kc) depende de las características de la planta y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su período vegetativo. Esta variación es más evidente en cultivos estacionales, que cubren todo su ciclo en un período reducido de tiempo. Florindez (2011) coincide al decir que el Kc refleja las variaciones en el consumo de agua de las plantas en sus distintos estados de desarrollo, desde la siembra hasta la cosecha. Es decir, cada cultivo (especie y variedad) tiene coeficientes diferentes de consumo de agua en cada fase de su período vegetativo.

El mismo autor menciona que en la práctica, la evapotranspiración real (ETR) de un cultivo difiere de la ETP, entre otros, por el «estrés hídrico» en el suelo, el tipo de cultivo, su estado de crecimiento, etc. Para conocer la demanda de agua por la ETR a partir de los datos de referencia sobre la ETP se utiliza un coeficiente de cultivo (Kc). Este coeficiente es un factor que ha sido establecido experimentalmente y relaciona el requerimiento de agua de un cultivo en un determinado período con la ETP producto del clima en la zona.

El tiempo de riego está determinado por la cantidad de agua que la planta requiera para su desarrollo y esta debe estar a capacidad de campo (70 %, suelo que al tomar un puño con la mano, esta mojado, pero no escurre el agua y no se pega en las manos). Si el riego llega a ser mayor se incrementa la posibilidad de tener problemas de pudrición en la raíz (Calderón, 2003).

2.2.4. Constantes de humedad del suelo

2.2.4.1. Saturación

Órlate (2003) es cuando el agua ocupa todos los espacios vacíos del suelo (macro microporos) es decir el agua ha desplazado todo el aire en el suelo. Cuando se llega a este estado se dice que el suelo está 100 % de contenido de humedad.

2.2.4.2. Capacidad de campo (CC)

Cuando el suelo retiene la máxima cantidad de agua que le permita sus microporos y cuando se ha recompuesto el aire en los macroporos. De esta manera se afirma que la capacidad de campo se constituye en el estado más favorable de humedad para el crecimiento de las plantas y a donde debe llegarse con el riego (Orlate 2003). La capacidad de campo representa la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en contra de las fuerzas gravitatorias, o sea la cantidad de agua remanente en el suelo cuando el drenaje descendente ha disminuido significativamente (FAO, s.f.).

2.2.4.3. Punto de marchitez permanente (PMP)

La FAO (s.f.) menciona que en ausencia de una fuente de agua, el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo se reducirá como resultado del consumo de agua por el cultivo. A medida que aumenta el consumo de agua, el agua remanente será retenida con mayor fuerza por las partículas del suelo, lo que reducirá su energía potencial y hará más difícil su extracción por las plantas. Eventualmente, se alcanzará un punto donde el cultivo no podrá extraer el agua existente en el suelo. En este momento la extracción de agua será nula y se habrá alcanzado el punto de marchitez permanente. El punto de marchitez permanente es el contenido de humedad en el suelo en el cual las plantas se marchitan permanentemente.

Un suelo está en punto de marchitez permanente, cuando retiene una mínima cantidad de agua, pero ya no puede ser aprovechable por las raíces, lo cual ocasiona un marchitamiento irreversible de las hojas y consecuentemente la muerte de la planta (Órlate, 2003).

2.2.4.4. Humedad disponible (HD)

Debido a que contenidos de humedad por encima de capacidad de campo no pueden ser retenidos en contra de las fuerzas de gravedad y son drenados, y debido a que contenidos de humedad por debajo del punto de marchitez permanente no pueden ser extraídos por las raíces de las plantas, el total de agua disponible en la zona radicular será la diferencia entre los contenidos de humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (FAO, s.f.). Soto (2002) coincide al decir que la humedad disponible es el agua que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

La lamina total de agua disponible en la zona radicular del suelo (ADT), representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular y cuya magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad radicular. A pesar de que en teoría existe agua disponible hasta alcanzar el punto de marchitez permanente, la cantidad de agua extraída por el cultivo se reducirá significativamente antes de alcanzar el punto de marchitez permanente. (...), a medida que disminuya la cantidad de humedad en el suelo, el agua será retenida más fuertemente por las partículas de suelo y será más difícil de extraer para el cultivo. Cuando el contenido de humedad del suelo disminuya a un nivel que el cultivo no pueda satisfacer la demanda transpiratoria, este comenzara a sufrir de estrés. Por lo tanto a la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico es denominada agua fácilmente aprovechable en el suelo, este valor se encuentra por encima del PMP (FAO, s.f.).

No es recomendable que las raíces de la planta tengan que «exprimir» toda el agua del suelo hasta llegar al punto de marchitez. Es mucho mejor regar antes de llegar a este extremo, de tal manera que para el cultivo sea siempre fácil encontrar agua libremente disponible en el suelo. En este sentido, el Fa (factor de agotamiento) expresa la tolerancia del cultivo a la disminución de humedad en el suelo; es una proporción de la HD que es fácil de absorber por el cultivo antes de requerir una nueva aplicación de riego, se expresa en unidades de altura de agua (mm.) (Floríndez, 2011).

2.2.5. Determinación de las constantes de humedad de un suelo

El siguiente cuadro, elaborado por especialistas de la FAO, presenta algunos datos sobre los porcentajes de humedad en estado de capacidad de campo, punto de marchitez y humedad disponible para diferentes tipos de suelos.

Tabla 1. Índice de contenido de humedad en el suelo.

Tipo de suelo	Características de la humedad del suelo		
	CC (%)	PMP (%)	HD (%)
Arenoso	7-17	2-7	5-11
Areno Franco	11-19	3-10	6-12
Franco arenoso	18-28	6-16	11-15
Franco	20-30	7-17	13-18
Franco limoso	22-36	9-21	13-19
Limoso	28-36	12-22	16-20
Franco arcillo limoso	30-37	17-24	13-18
Arcillo limoso	30-42	17-29	13-19
Arcilloso	32-40	20-24	12-20

Fuente: Allen et al. 2006

Por otro lado Soto (2002) menciona que existen varios métodos para calcular la Capacidad de campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP), entre ellos están: El método gravimétrico, con valores que solo se pueden medir en laboratorio, pero existe un método empírico que permite medir la CC y el PMP en base a la composición de la textura del suelo, obteniendo resultados satisfactorios para fines prácticos. Menciona que estos métodos fueron señalados por Fuentes Yagüe, José Luis en la publicación del I.R.Y.D.A. del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España "Técnicas de Riego".

- La Capacidad de Campo viene dada por:

$$CC = 0.48 Ar + 0.162 Li + 0.023 Ao + 2.62$$

Donde:

CC = humedad a CC expresada en % de Pss

Ar = contenido de arcilla, expresada en % Pss

Li = contenido de limo, expresado en % Pss

Ao = contenido de arena, expresada en % Pss

- El Punto de Marchitamiento Permanente viene dado por:

$$\text{PMP} = 0.302 \text{ Ar} + 0.102 \text{ Li} + 0.0147 \text{ Ao}$$

Donde:

PMP = humedad de PMP expresado en % de Pss

Ar, Li, Ao tienen el mismo significado que en la fórmula anterior.

El mismo autor señala que existen otros métodos que permiten conocer la humedad del suelo como: Del Girasol, tensiómetros, medidores de la resistencia eléctrica y sonda de neutrones.

Olarte (2003) indica que para la aplicación de una cantidad determinada de agua al suelo es necesario conocer su velocidad de infiltración la cual viene a ser la relación entre lámina de agua infiltrada en suelo y el tiempo que demora en infiltrar dicha lámina; la cual varía de acuerdo a la clase textural del suelo lo que permite elegir el tipo de aspersor a utilizar.

El siguiente cuadro presenta algunos datos de referencia sobre la velocidad de infiltración básica en distintos tipos de suelo.

Tabla 2. Velocidad de infiltración básica según textura de los suelos.

Textura	Velocidad de infiltración básica (mm h ⁻¹)
Arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso	2, 5 - 7,5
Franco arcillo arenoso, franco arcilloso, franco arcillo limoso	6,5 - 19
Franco arenoso fino, franco, franco limoso	12,5 - 38
Franco arenoso	25 - 75
Arenoso franco	50 - 100
Arenoso	> 57

Fuente: XI Curso Internacional de Ingeniería de Regadíos 1982, basado en el USDA, citado por Olarte 2003.

2.2.6. Programación del riego

Ferreira *et al.* (2005) el manejo del riego consiste en lograr reponer a la planta el agua requerida para su desarrollo, en la cantidad y momento adecuado. El manejo de riego se puede dividir en dos etapas. Una que corresponde a la programación o

calendarización del riego y otra al control de éste. La programación del riego localizado se realiza a partir del cálculo de la demanda bruta de agua del cultivo (Db).

Para Florindez (2011) el riego se planifica con base en la demanda de agua de los cultivos y la cantidad de agua libre que puede retener el suelo en la zona de las raíces. En ello hay dos aspectos principales por determinar: el volumen de agua a aplicar en cada riego y la frecuencia entre las sucesivas aplicaciones. La cantidad de agua con que se debe «reabastecer» el suelo se denomina la lámina neta de riego (Ln). Esta lámina se refiere al espesor de agua requerido para humedecer el suelo hasta su capacidad de campo en la zona de las raíces de las plantas. Por ello es función de la profundidad de las raíces (Pr) y el factor de agotamiento (Fa).

$$Ln = HD \times Pr \times Fa \times 10$$

Donde:

Ln = Lámina neta de riego recomendada (mm.)

HD = Humedad disponible (CC – PMP) (% volumétrico)

Pr = Profundidad de raíces (m.)

Fa = Factor de agotamiento

En base a estos parámetros podemos estimar cada cuánto tiempo debemos regar; es decir, cuál es el intervalo de riego (Ir), entendido como el tiempo que puede transcurrir entre un riego y el siguiente. El riego debe aplicarse antes que el cultivo empiece a sufrir estrés hídrico y por este motivo se calcula en función a la lámina neta de riego recomendada.

Para Muña (1997) estas definiciones no tienen un carácter totalmente estático o rígido, puesto que las condiciones climáticas y las del cultivo pueden variar mucho al interior de un determinado mes. En este sentido, debe tomarse en cuenta que el intervalo de riego depende también de otros factores, como la presencia momentánea de nubosidad, precipitaciones pluviales repentinas, ausencia de brillo solar, entre otras.

2.2.7. Tensiómetro como medidor de la humedad del suelo

Un tensiómetro es un instrumento que mide la presión con que el suelo retiene el agua, e indica de forma relativa, si el contenido de humedad disponible es suficiente para el crecimiento de las plantas (Campos y Gonzales, 2012). Martín (2010) dice que es un instrumento que indica el esfuerzo que han de realizar las raíces del cultivo para extraer del suelo la humedad que necesita, actuando como una raíz artificial debido a que el suelo se seca las partículas retienen el agua con mayor fuerza.

Se compone de un tubo depósito impermeable lleno de agua, un vacuómetro, una cámara de reserva de agua y una tapa con rosca en la parte superior provista en el interior de un tapón de neopreno para un cierre hermético. En su extremo inferior, porta una cápsula de cerámica porosa. El tensiómetro actúa como una raíz artificial. Si el contenido de humedad en el suelo es bajo, el líquido del tensiómetro tiende a salir a través de la cápsula porosa, creando una tensión negativa o succión que sigue aumentando si el suelo continúa perdiendo humedad. Por el contrario, cuando el suelo se humedece nuevamente, ya sea por lluvia o por riego, la tensión disminuye al fluir el agua del suelo hacia el tensiómetro (Campos y Gonzales, 2012).

Soto (2002) sostiene que los tensiómetros tienen un rango de 0 a 1 bar o atmósferas, como se puede ver solo se pueden utilizar para medir en el momento que el suelo alcanza la CC. Estos vienen graduados en escalas de 0 a 100 centibares (cb). Estos instrumentos deben ser calibrados antes de utilizarse.

La interpretación de las lecturas es la siguiente:

Lecturas de 0 a 10 cb: indican que el suelo está saturado o cuanto menos "La capacidad de campo". Son normales si se considera un periodo de un día o dos después de un riego, aunque si perduran indican exceso de humedad, generalmente debido a un riego demasiado abundante.

Lecturas de 10 a 20 cb: indican que la humedad está a disposición de la planta con un esfuerzo mínimo. Con el riego por goteo generalmente se procura

mantener las lecturas dentro de esta gama, cuando se coloca el tensiómetro a una distancia aproximadamente de medio metro del gotero.

Lecturas de 30 a 60 cb: en esta gama de lecturas está asegurada una buena oxigenación de las raíces. En zonas cálidas y cuando se trate de regar zonas muy arenosas, es recomendable iniciar los riegos con lecturas de 40 a 45 cb. En las zonas frescas o en las tierras con un gran poder de retención, se iniciarán con lecturas de 45 a 60 cb.

Lecturas de 70 cb o superiores: indican que la planta está padeciendo estrés y se acerca al punto de marchitamiento ya que le resulta muy difícil extraer la humedad del suelo.

(www.inea.uva.es/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/Medidores%20de%20humedad.pdf).

La ventaja es que determina el momento y la dosis óptima de riego. Un perfeccionamiento de esto es la posibilidad de automatizar el riego en función del potencial hídrico del suelo y nos permita conocer los momentos en que predomina la infiltración (movimiento descendente) o la capilaridad (movimiento ascendente) (Martín, 2010).

Para Florindez (2011) la cantidad de agua a aplicar en cada riego y la frecuencia de riego dependen mucho del tipo de suelo y su capacidad de retención de la humedad, del tipo de cultivo y de la etapa de desarrollo de éste.

2.3. Características generales del cultivo

2.3.1. Taxonomía

Según Cáceres (1998), taxonómicamente pertenece a la familia Liliaceae, Género *Allium* y especie *Sativum*, el nombre científico es *Allium sativum* L. García (1998) también coincide al decir que el ajo taxonómicamente pertenece a la familia Liliaceae y sub familia Allioideae.

2.3.2. Origen

Su origen se identifica en la región montañosa de Asia Central, desde donde fue llevado a Egipto, y posteriormente introducido en América por los españoles, incorporándose como cultivo en México, Estados Unidos, Perú y posteriormente Chile (Aguilera et al, 2002). Para Benavides et al (1999) el ajo, es una planta que solo se conoce en cultivo. Aunque no se conoce con certeza su origen, parece lo más probable que su domesticación comenzase en alguna zona de Asia Central a partir de alguna especie silvestre desconocida.

2.3.3. Características morfológicas del cultivo

Las raíces son fibrosas y su volumen más activo se ubica entre los 20 cm y 30 cm de profundidad. Las hojas son planas y de sección longitudinal en forma de "v". Hojas y bulbillos están unidos por su base al tallo subterráneo que tiene forma de disco. Los bulbillos son las yemas axilares de las hojas y están constituidos por 2 hojas verdaderas y 1 yema vegetativa. La hoja exterior forma una funda protectora y tiene una superficie fibrosa, la que se adelgaza y muere en la madurez. Al interior de la funda protectora se encuentra la hoja de acumulación de reservas y, al interior de ésta y en su base, se encuentra la yema que crecerá en la temporada siguiente (Aljaro et al, 2009).

Los rangos de profundidad de raíz son de 0.30 a 0.50 m., los valores mayores son para suelos que no posean capas u otras características que puedan restringir el desarrollo radicular y los menores pueden ser usados para programar el riego (FAO, s.f.).

El periodo vegetativo de este cultivo es de 4 a 6 meses al estado comercial, sin embargo también se puede cultivar con el afán obtener semilla botánica pero este periodo dura 2 años. El ajo es una planta herbácea de raíces fibrosas, blancas y cortas, el tallo al estado comercial es reducido, produce hojas fusionadas por sus márgenes formando túnicas, la planta puede alcanzar hasta los 50 cm de altura y cuenta con un tallo cilíndrico y recto que se curva después de la floración, sus hojas presentan nervios paralelos y son finas y planas en la parte baja; nacen de un bulbo subterráneo (la tradicional cabeza de ajo) que es la parte que se emplea (Martínez,

1995). Delgado (2001) coincide al mencionar que es una planta bianual, que florece durante el segundo año, sin embargo en climas templados raramente florea, y si lo hace, no produce semillas.

2.3.4. Factores ambientales

Burba citado por Delgado (2001) sostiene que el ajo se encuentra distribuido desde los 10 hasta los 3 700 m., mostrando gran facilidad de adaptación. Sin embargo, los valles de altura serranos o pre-cordilleranos (entre 1000 – 1800 m.) pueden brindar excelentes condiciones para la producción.

Prefiere un clima templado, en el campo una temperatura entre 12 – 18 °C y baja humedad relativa favorece su desarrollo. También se cultiva en la costa, Arequipa es el principal productor en el Perú, se exporta a Cuba y Puerto Rico. No es una planta muy exigente en clima, pero adquiere un sabor más picante en climas fríos (Martínez, 1995).

García (1998) menciona que la planta del ajo es bastante rústica, por lo que resiste bien condiciones climatológicas adversas. Sin embargo su desarrollo vegetativo y productivo más óptimo se consiguen en clima templado o templado-cálidos, idénticos a los de las zonas de sus supuesto origen botánico. El ajo es muy exigente en iluminación, lo que condiciona en gran medida, los marcos de plantación.

En cuanto a los suelos, indica que el ajo se adapta a una multitud de suelos siempre y cuando estos estén bien drenados, por este motivo los suelos excesivamente arcillosos pueden tener ciertas limitaciones en el sentido de su facilidad para su encharcamiento. Suelos con pH 6 a 7, son los óptimos para su cultivo.

2.3.5. Riego

Burba (2003) para tener conocimiento del contenido hídrico del suelo durante todo el ciclo de la planta se recomienda el uso de instrumental convenientemente calibrado y ubicado en lugares representativos del campo como: Tensiómetros,

sensores de humedad, etc., que permitan definir la frecuencia de riego según corresponda.

García (1998) indica que para optimizar la producción, en un regadío, nunca hay que hacer pasar sed al cultivo del ajo antes que la planta manifieste los primeros síntomas de madurez. Sin embargo, cuando los bulbos toman carta de naturaleza se debe suspender el riego para permitir una buena formación del mismo y un secado adecuado. La planta del ajo se desarrolla mejor en suelos con un contenido en agua cercano a su capacidad de campo en los primeros 40 cm. Un exceso de humedad mientras madura la planta del ajo incrementa el riesgo de podredumbres. Los riegos siempre deben suspenderse 20 a 25 días antes de la colección. Suarez (2004) coincide al indicar que los riegos deben ser controlados tanto al inicio como al final del periodo vegetativo. Deben retirarse unos 30 días antes de la cosecha con una frecuencia entre 10 – 15 días, hasta el inicio del desarrollo de los frutos se necesita 8 000 – 9 000 m³ de agua.

Carrillo citado por Terán (s.f.) señala que el ajo es exigente al riego por tener un sistema radicular pobre, por lo que estos deben ser frecuentes y ligeros desde la siembra y no dejar que en ningún momento exista deficiencia de agua, hasta la formación del bulbo. Concluida la siembra debe aplicarse el riego y repetirse esta labor cada 8-12 días según la textura del suelo.

Burba (2003) recomienda realizar en la región andina no menos de 30 riegos durante el cultivo, que representan un intervalo de aproximadamente 7 días, asegurando una adecuada provisión de agua. El ajo, que posee un sistema radicular en cabellera de relativamente escasa profundidad, no tiene periodos críticos para sequía, en realidad todos lo son, por lo que se debe mantener el suelo prácticamente a capacidad de campo. En invierno se puede tener una frecuencia de 10 días y en verano en suelos francos entre 6 y 5 días, asegurando una lámina de 900 mm (9000 m³ ha⁻¹).

Un estudio realizado por Huez *et al.* (2009), para determinar la evapotranspiración (ET) del cultivo de ajo, además de la eficiencia del uso del agua, evaluaron, tres diferentes densidades de plantación, 310,000 (D1), 460,000 (D2) y

625,000 (D3) plantas ha⁻¹, que fueron irrigadas bajo tres esquemas de riego por goteo basados en cuatro valores de Kc. Encontraron que los valores finales de ET fueron 447, 483 y 525 mm ha⁻¹ para los tratamientos de riego R1, R2 y R3. Los rendimientos de ajo fueron 20.3, 24 y 27 t ha⁻¹ para D1, D2 y D3 respectivamente. Mencionan que el peso y diámetro promedio de bulbo disminuyó significativamente conforme la densidad R3 respectivamente. Además observaron que el cultivo de ajo sembrado a dos hileras (D1) e irrigado con el tratamiento de riego de 483 mm. (4830 m³ ha⁻¹), produjo los mayores pesos promedios de bulbo, sin embargo la EUA (Eficiencia de Utilidad de Agua) fue mayor en ajos sembrados a tres hileras (D2) e irrigados con el tratamiento R2 (4830 m³ ha⁻¹).

Berzoza y Chávez (2001) citado por Pais (2004), compararon riego por goteo con riego gravitacional. En el caso de riego gravitacional se obtuvieron rendimientos de 11,2 t ha⁻¹ con un consumo de 10 200 m³ ha⁻¹ de agua y para riego por goteo el rendimiento fue de 16.5 t ha⁻¹ con un consumo de 7 900 m³ ha⁻¹ de agua. Observándose claramente una mayor eficiencia en el uso del agua en el riego por goteo, ya que se utilizó menos agua y, además, aumentaron los rendimientos en un 47%.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características generales de la zona

3.1.1. Ubicación

El trabajo de investigación se realizó en el caserío de Chupicaloma, Distrito de Baños del Inca, Provincia y Departamento de Cajamarca, hidrográficamente se localiza en la margen derecha de la cuenca del río Chonta, en las coordenadas: 17M 9 213 358 y UTM 780871 a una altitud de 3 078 m.

El lugar se caracteriza por la presencia de suelos superficiales y de baja fertilidad por efecto de la erosión, presenta un clima templado frío con una precipitación media anual de 690 mm. Antes de instalar el presente trabajo de investigación, en el campo experimental se han cultivado: maíz, alfalfa y papa; en la última campaña se ha instalado el cultivo de maíz asociado con frijol, en la anterior a esta se había instalado pastos (alfalfa con rye grass) y la más anterior el cultivo de papa. La pendiente del campo experimental varía de 5 a 8 %.

3.2. Materiales

- **Material biológico experimental.** Las semillas fueron bulbillos de ajo (*Pisum sativum L.*) del cultivar pata de perro, cuya reproducción se da de forma asexual.

- **Equipo de riego**
 - Aspersores.
 - Tensiómetro.
 - Bomba de vacío.
 - Pluviómetro de 200 cm².
 - Probeta graduada de 10 ml.
 - Tuberías de Polietileno (PE) de ¾ de pulgada.
 - Tubos de PVC de ½ pulgada.
 - Accesorios de riego (codos, tee, adaptadores, etc.)

➤ Otros materiales, equipos y herramientas

Durante la instalación, conducción y evaluación del experimento se utilizaron los siguientes materiales, equipos y herramientas.

- Balanza de campo
- Cámara fotográfica
- GPS navegador
- Cinta rafia
- Tarjetas de identificación
- Estacas de 80 cm
- Libreta de campo
- Material de impresión
- Balde.
- Pico
- Palana
- Rastrillo
- Planillas de observación.
- Letrero de identificación
- Regla milimétrica
- Vernier
- Wincha de 10 m.
- Líquido Hirrometer
- Agua destilada.
- Computadora
- Impresora

3.3. Metodología

3.3.1. Tratamientos en estudio

Con la finalidad de encontrar la relación que existe entre los métodos empíricos con la utilización de fórmulas e instrumentos para determinar la cantidad de agua a suministrar a un cultivo y el momento oportuno de hacerlo; se consideró como variables (tratamientos) a estudiar, **tres técnicas de riego por aspersión**; este

estudio nos permitirá encontrar la programación de riego (láminas de agua y frecuencias de riego) más apropiadas para lograr un uso eficiente del recurso hídrico.

Estas técnicas se indican a continuación.

CLAVE	TRATAMIENTOS
T: 1	Lámina y frecuencia de riego que usa el agricultor.
T: 2	Lámina y frecuencia de riego regulado por tensiómetros.
T: 3	Lámina y frecuencia de riego calculada teóricamente.

Cada tratamiento en estudio ha tenido un tensiómetro instalado en la unidad experimental, este equipo permitió conocer el potencial de humedad del suelo como resultado de la incorporación de cada una de las láminas de agua.

3.3.2. Descripción de los tratamientos

Tratamiento 1 (T1): Este tratamiento fue regado según las prácticas que realiza el agricultor.

Tratamiento 2 (T2): Este tratamiento consistió en regar con el volumen de agua y la frecuencia estimadas en base a la humedad del suelo, determinado con la ayuda de un tensiómetro instalado en la unidad experimental, usando las características de fabricación de dicho equipo.

Tratamiento 3 (T3): Para este tratamiento la lámina de agua y la frecuencia de riego fueron estimados con la fórmula de Hargreaves con MF, en función de los datos meteorológicos de las estaciones más cercanas al lugar de la investigación, además de las características físicas del suelo.

Con los resultados del análisis de suelo realizado en el laboratorio de del INIA, se determinaron las constantes de humedad para el T3, cuyos resultados damos a continuación.

Tabla 3. Características de suelo del campo experimental

Descripción	Valor
Textura	Franco Arcillosa
Densidad aparente en gr/cm ³	1.2
Capacidad de campo %	33
Punto de marchitez permanente en %	19
Humedad disponible %	14
Porosidad en %	54

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de análisis de suelo realizado en INIA

Las características del suelo y las constantes de humedad nos sirven para determinar los parámetros de riego (lámina de agua y frecuencia de riego) para el tratamiento T3, cuyo procedimiento de cálculo se detalla a continuación.

a. Determinación de la demanda hídrica del cultivo para el T3

La demanda hídrica de un cultivo representa la cantidad de agua necesaria para compensar el déficit de agua en el suelo durante su periodo vegetativo. Esta demanda de agua debe ser compensada por las lluvias o por la aplicación del riego respectivo. Para determinar la demanda hídrica del cultivo se debe conocer la evapotranspiración (ETp).

➤ **Cálculo de la evapotranspiración.**

La evapotranspiración potencial (ETp) ha sido calculada utilizando el método de Hargreaves con MF, en base a la siguiente fórmula.

$$ETp = CH \times MF \times T(^{\circ}F)$$

Donde:

ETp = Evapotranspiración potencial en mm mes⁻¹

CH = Factor de corrección para la humedad relativa (HR),

representado por la siguiente expresión = $0.166 \times \sqrt{100 - HR_x}$, cuando

la humedad relativa (HR) > a 64 %, si la ésta es < de 64 %, CH = 1.

MF = Factor que depende de la latitud (encontrado en tabla).

T(^{\circ}F) = Temperatura media mensual en grados Fahrenheit

Tabla 4. Valores para calcular la ETp

Parámetro	ago.	set.	oct.	nov.	dic.	ene.
T (°F)	50.90	51.98	51.44	51.98	52.52	52.34
HR (%)	53.00	63.00	65.00	64.00	66.00	67.00
MF	2.08	2.24	2.43	2.40	2.47	2.48
CH	1.00	1.00	0.98	1.00	0.97	0.95

La tabla 4, ha sido construida en función de los datos meteorológicos obtenidos de la estación de Huacataz, ubicada a una altitud de 3130 m, con estos datos se calculó la evapotranspiración potencial (ETp) en mm mes^{-1} y mm día^{-1} , los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Evapotranspiración potencial o de referencia

Parámetro	ago.	set.	oct.	nov.	dic.	ene.
ETp (mm mes^{-1})	105.67	114.88	122.96	124.25	125.62	123.78
ETp (mm día^{-1})	3.41	3.83	3.97	4.14	4.05	3.99

Tabla 6. Valores de coeficientes de cultivo (Kc) para Ajo

Parámetro	Coeficiente de cultivo (Kc)						
	Mes	Mes I	Mes II	Mes III	Mes IV	Mes V	Mes VI
Kc		0.4	0.62	0.75	1.03	0.95	0.88

Fuente: Elaborado por Boris A. Pozo Villaruel.

Por otro lado la FAO (s.f.) indica que el cultivo de ajo tiene un "Kc"; inicial de 0.7, máximo de 1.00 y un final de 0.7.

El procedimiento de cálculo de la demanda hídrica del cultivo de ajo se resume en el cuadro siguiente.

Tabla 7. Cálculo de la demanda hídrica para una hectárea de cultivo de ajo.

Paso	Parámetro por determinar	Fuente de dato u operación	Meses					
			ago.	set.	oct.	nov.	dic.	ene.
1	ETP(mm mes ⁻¹)	Estación meteorológica	68.17	114.88	122.96	124.25	125.62	71.87
2	Kc	Coefficiente de cultivo	0.40	0.62	0.75	1.03	0.95	0.88
3	ETR (mm mes ⁻¹)	Paso 1*paso 2	27.27	71.22	92.22	127.98	119.34	63.25
4	PP (mm mes ⁻¹)	Estación meteorológica	6.00	34.80	99.10	88.10	84.10	55.00
5	Pe (mm mes ⁻¹)	= (1-Ce) x P ; Ce = 0,5	3.00	17.40	49.55	44.05	42.05	27.50
6	Rn (mm mes ⁻¹)	Paso 3-paso 5	24.27	53.82	42.67	83.93	77.29	35.75
7	Ea	Aspersión 75 %.	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00
8-a	Rb (mm mes ⁻¹)	= Rn / Ea x 100	32.36	71.76	56.89	111.91	103.05	47.66
8-b	Rb (m ³ ha ⁻¹ mes ⁻¹)	Paso 8-a*un factor 10	323.59	717.64	568.93	1119.07	1030.47	476.63
9	MR (l s ⁻¹ ha ⁻¹)	= Rb x 0,004	0.12	0.27	0.22	0.43	0.39	0.18
10	A (ha)	Área de cultivo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
11	Qc (l s ⁻¹)	MR*A (9*10)	0.12	0.27	0.22	0.43	0.39	0.18

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7, se resume el procedimiento de cálculo para determinar la demanda hídrica de 1 ha de cultivo de ajo. El paso 8-b representa la cantidad de agua de riego (en m³ ha⁻¹mes⁻¹) a suministrar al cultivo para satisfacer sus necesidades hídricas al utilizar el método de riego por aspersión con un 75 % de eficiencia, el requerimiento bruto (Rb) total es de 4 236 m³ ha⁻¹. Para el área que representa el tratamiento T3 se estima que el volumen de agua incorporada fue de 68 m³.

b. Programación del riego para el T3

El riego estuvo planificado en base a la demanda hídrica del cultivo y a la cantidad de agua libre que puede retener el suelo en la zona de las raíces, encontrando el volumen de agua a aplicar en cada riego y el intervalo entre sucesivas aplicaciones. Los parámetros a encontrar son: La lámina neta, lámina bruta, intervalo de riego (frecuencia de riego) y el tiempo de riego.

➤ Cálculo de la lámina neta de riego (Ln)

Estuvo en función de la siguiente fórmula.

$$Ln = HD * Da * Pr * Fa * 10$$

Donde:

- Ln = Lámina neta de riego recomendada (mm.)
- HD = Humedad disponible (CC-PMP, % volumétrico).
- Da = Densidad aparente (g cm^{-3})
- Pr = Profundidad de raíces (m.)
- Fa = Factor de agotamiento.

Los valores asignados para determinar la lámina neta de agua representan los valores procesados a partir del análisis del suelo realizado para la investigación, (Tabla 3); donde: La CC = 33%, PMP = 19%, Da. = 1.2 g cm^{-3} , el suelo es de textura franca arcillosa, la profundidad de raíz considerada fue de 0.25 m. para un estado de pleno desarrollo, con un factor de agotamiento (Fa) de 0.3.

Estos valores encontrados están dentro de los parámetros establecidos para el tipo de suelo. La FAO (s.f.) indica que, el factor de agotamiento para el cultivo de ajo es de 0.30, la profundidad de raíz es de 0.30 m. a 0.50 m. y que la profundidad inferior debe utilizarse para realizar las programaciones del riego.

Entonces la lámina neta (Ln) de riego para el T3, es la siguiente:

$$Ln = 14 * 1.2 * 0.25 * 0.3 * 10$$

$$Ln = 13 \text{ mm.}$$

➤ **Cálculo de lámina bruta de riego (Lb)**

Es necesario conocer que la dotación de agua que se aplique al cultivo en cada riego es mayor a la lámina neta de riego; teniendo en cuenta que en la práctica no existe un riego totalmente eficiente, considerando este hecho, la eficiencia de riego considerada es del 75 %, por lo tanto la aplicación total es equivalente a la lámina bruta de riego (Lb). Definido por la siguiente fórmula.

$$Lb = Ln / Ea \times 100$$

En donde:

Lb = Lámina bruta de riego (mm.)

Ln = Lámina neta de riego (mm.)

Ea = Eficiencia de aplicación de riego (%)

Entonces la lámina bruta (Lb) de riego para el T3, es la siguiente:

$$Lb = 13 / 75 \times 100; \quad Lb = 17 \text{ mm.}$$

Los 17 mm., representa la lámina de agua que se incorporó al cultivo en cada riego para satisfacer sus necesidades hídricas.

➤ **Cálculo del intervalo de riego (Ir)**

El intervalo de riego se determinó utilizando la siguiente relación.

$$Ir = Ln/Rn \times \text{días del mes}$$

Donde:

Ir = Intervalo de riego (días)

Ln = Lámina neta (mm.)

Rn = Requerimiento neto (mm.)

El intervalo de riego fue calculado para cada mes, los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 8. Intervalo de riego para el cultivo de ajo

Parámetro	Meses						x̄
	ago.	set.	oct.	nov.	dic.	ene.	
a. Lámina neta (mm)	8.00*	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	12.17
b. Requerimiento neto (mm mes ⁻¹)	24.27	53.82	42.67	83.93	77.29	35.75	52.95
c. N° de días del mes	20.00	30.00	31.00	30.00	31.00	18.00	26.67
d. Intervalo de riego (días) = (a/b)*c	7	7	9	5	5	7	6.62

Fuente: Elaboración propia

*8 mm. de lámina, porque se consideró solo 0.20 m. de profundidad de raíz para el primer mes. El intervalo medio de riego fue de 6.6 días.

➤ **Cálculo del tiempo de riego (Tr)**

Se determinó de acuerdo a la siguiente expresión.

$$\boxed{Tr = Lb/P}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h).

Lb = Lámina bruta de agua de riego (mm.).

P = Pluviometría del aspersor (mm h⁻¹)

Entonces el tiempo de riego es:

$$Tr = 17 \text{ mm.} / 8.20 \text{ mm.h}^{-1}$$

$$Tr = 2 \text{ h}$$

➤ **Número de riegos (Nr)**

Este parámetro está dado por la relación que existe entre el periodo vegetativo del cultivo y el intervalo medio de riego (6.6 días)

$$Nr = Pv \text{ (días)} / Ir \times \text{(días)}$$

$$Nr = 161 \text{ días} / 6.6 \text{ días}$$

$$Nr = 24 \text{ riegos}$$

Para este tratamiento (T3) se determinó una lámina de riego de **17 mm.**, una frecuencia media de riego de **6.6 días** y un tiempo de riego de **2 horas**.

En cada tratamiento se instaló un tensiómetro de 0.30 m., este equipo nos permitió conocer el potencial de humedad del suelo de acuerdo a la cantidad de agua incorporada.

3.3.3. Diseño Experimental

Se utilizó el método estadístico; de Diseño de Bloques Completamente al Azar, con 3 tratamientos y 3 repeticiones o bloques; los mismos que estuvieron distribuidos en forma aleatoria en el campo experimental.

a. Características del campo experimental

BLOQUE

Número	: 3
Largo/bloque	: 18 m.
Ancho/bloque	: 8 m.
Área del experimento	: 432 m²

PARCELA

Número/bloque	: 3
Largo/parcela	: 8 m.
Ancho/parcela	: 6 m.
Área/parcela	: 48 m²

SURCO

Número/parcela	: 20
Largo/surco	: 6 m.
Ancho/surco	: 0.4 m.
Área/surco	: 2.4 m ²
Distancia entre plantas	: 0.20 m.
Distancia entre surcos	: 0.40 m.
Área/planta	: 0.08 m ²
Número de plantas por parcela	: 600
Número de plantas por bloque	: 1800

Número total de plantas : 5400

CALLE

Calles por bloque:

Cantidad	: 4
Largo	: 22 m.
Ancho	: 1 m.
Área	: 88 m²

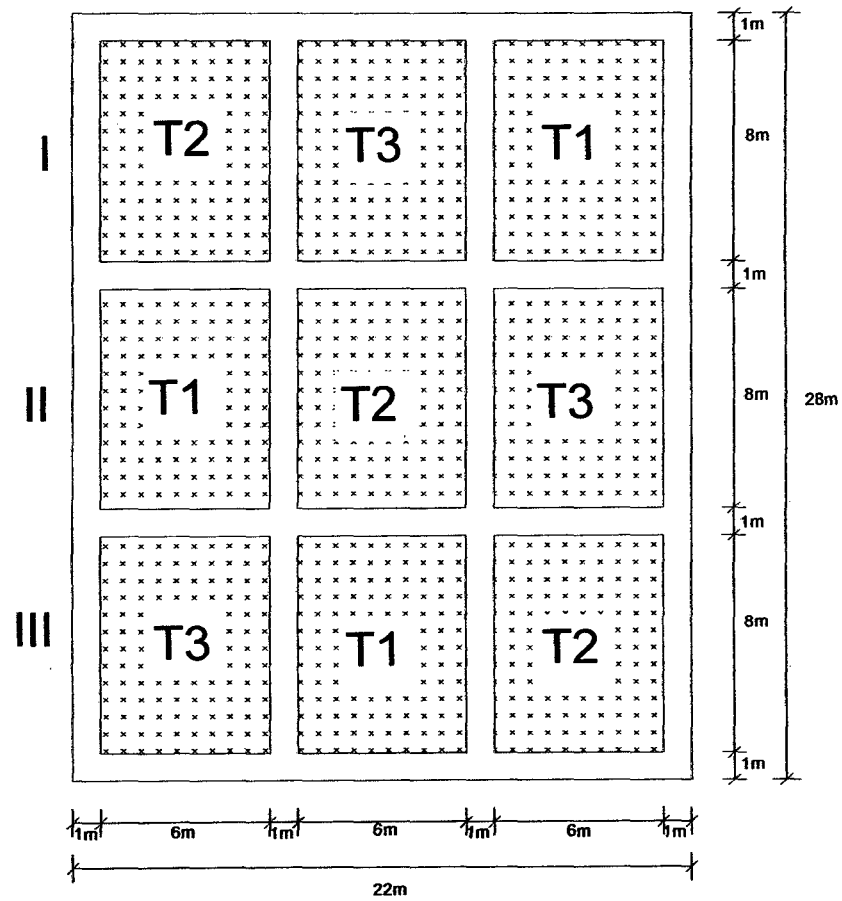
Calles por parcela:

Cantidad	: 4
----------	-----

Largo : 24 m.
 Ancho : 1 m.
 Área : 96 m²
 Área total en calles : 184 m²

AREA

Área neta del experimento : 432 m²
 Área total en calles : 184 m²
 Área total del experimento : 616 m²



Croquis 1. Distribución de los tratamientos en el campo experimental.

I, II y III: Son las repeticiones o bloques.

T1, T2 y T3: Son los tratamientos en estudio.

3.3.4. Realización del trabajo de investigación

3.3.4.1. Fase de información

- Reconocimiento de la zona: Topografía, suelo, clima, cultivos, fuente de agua para riego.
- Consultas bibliográficas. Las fuentes consultadas han sido: Escritas (libros, artículos, revistas, proyectos), electrónicas en línea (internet), comunicaciones personales con profesionales en el área de riegos y referente al cultivo de ajo (*Allium sativum* L.).
- Recopilación de información meteorológica de estaciones más cercanas a la zona donde se realizó la investigación.

3.3.4.2. Fase de campo

Se realizó el reconocimiento de la zona, se eligió el área donde se instaló el trabajo de investigación, considerando la topografía, suelo y la infraestructura de riego que garantice la disponibilidad de agua para la investigación.

La infraestructura de riego lo ha constituido un sistema de riego presurizado regulado por un microreservorio familiar impermeabilizado con arcilla de 2 000 m³ de capacidad, en esta estructura se han almacenado las aguas de escorrentía superficial de la época de lluvias. El agua para riego fue proporcionada a través de redes de tuberías de PVC de 2 y 1.5" de diámetro; con válvula de control e hidrantes ubicados en el campo experimental.

➤ Reconocimiento e instalación de la línea móvil de riego

La línea móvil estuvo constituida por 50 m. de manguera de polietileno (PE) de ¾" C-4, 3 tubos de PVC de ½" C-10, 2 aspersores marca Naandan 427-B de ½" y como accesorios, 1 codo de PVC de 90° de ½", 1 tee PVC de ½" y 2 uniones mixtas de PVC de ½". La manguera de PE fue conectada a un hidrante y conducida al campo experimental, donde se conectó a la tubería de PVC asegurada con una abrazadera en la unión y así prevenir problemas de

desconexión por efectos de la presión en los tubos; luego se determinaron puntos de salida donde se instalaron los elevadores con los aspersores.

➤ **Calibración del equipo de riego**

El dispositivo de riego utilizado en el presente trabajo fue un aspersor Naandan 427-B de ½" de diámetro de baja presión a impacto, material plástico para riego a círculo parcial o completo, permite un ajuste manual que define el área de riego, está provisto de un escudo deflector y un tornillo de control de difusión para ajuste de distancia y el patrón de riego.

Aspersor: Naandan 427- B de ½" : Boquilla de color negro

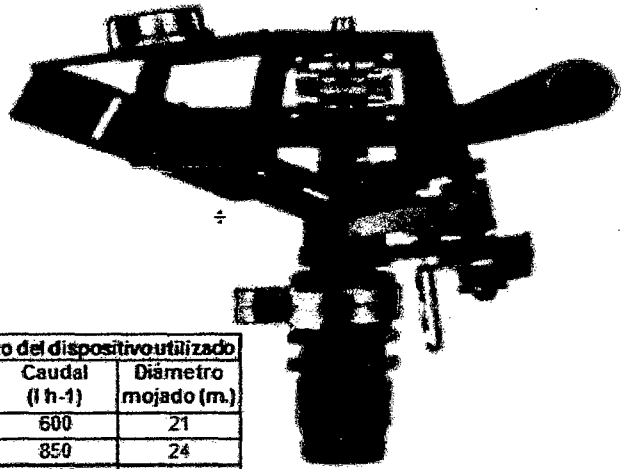


Tabla de rendimiento del dispositivo utilizado			
Boquilla (mm.)	Presión (mca)	Caudal (l h-1)	Diámetro mojado (m.)
4	10	600	21
	20	850	24
	30	1030	26
	40	1180	26

Figura 1. Características del aspersor

Estas características del aspersor han permitido adaptar el riego a las condiciones de diseño de cada uno de los bloques y parcelas en estudio.

De acuerdo a su tabla de rendimiento, este aspersor estaría regando un radio de 12 m. con 17 metros de columna de agua (mca) (presión disponible para el funcionamiento del dispositivo de riego en el campo experimental), sin embargo para efectos de la investigación, tanto el radio como el círculo de riego han sido adaptados al diseño establecido de cada una de las parcelas del experimento. El radio elegido fue de 8 m. con círculo parcial.

Una vez definido las dimensiones de funcionamiento del dispositivo, se procedió a medir el caudal de riego, el proceso consistió en realizar aforos en la boquilla del aspersor y determinar la cantidad de agua que ingresa al suelo en un determinado tiempo para cubrir la demanda hídrica del cultivo.

El resultado de esta práctica fue un caudal de $0.410 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

➤ **Pluviometría del aspersor (P)**

La pluviometría del aspersor se determinó a través de la relación del caudal del aspersor en l h^{-1} , entre el área definida a regar en m^2 , esta práctica nos permitió conocer con mayor exactitud la cantidad de agua incorporada al cultivo en una unidad de tiempo, de acuerdo al desnivel topográfico (en mca) entre la fuente de agua y el campo experimental.

Resultado:

$$P = 0.410 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1} / 50 \text{ m}^2$$

$$P = 8.20 \text{ mm h}^{-1}$$

3.3.5. Instalación y conducción del experimento

3.3.5.1. Análisis Físico-Químico del suelo

Antes de instalar la investigación se extrajo una muestra representativa de suelo, para ello se identificaron diez puntos en toda la unidad experimental y en cada punto se limpió la parte superficial y con la ayuda de una palana derecha se extrajo una capa desde la superficie hasta 0.15 y 0.20 m. de profundidad; cada una de las muestras se recogieron en un recipiente donde fueron combinadas, luego se dejó secar y solo se tomó 0.5 kg de suelo para el análisis respectivo en el laboratorio de análisis físico químico de suelo del INIA, localizado en el Distrito de Baños del Inca, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 9. Resultados del análisis de suelo.

pH	C.e (us cm^{-1})	Da (g cm^{-3})	M.O. (%)	P (ppm)	K (ppm)	Al (meq 100g^{-1})	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
4.1	154	1.2	0.62	9.08	205	0.18	19	29	52

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos del INIA, 2008

Donde:

pH = Potencial de hidrogeniones
C.e. = Conductividad eléctrica
Da = Densidad aparente
M.O = Materia orgánica
P = Fósforo
K = Potasio
Al = Aluminio

3.3.5.2. Trazado del campo experimental

Se realizó con wincha, estacas, cordel y cinta rafia; se dividió y definió cada uno de los bloques y en cada bloque 3 parcelas, haciendo un total de 9 parcelas debidamente diferenciadas con estacas y rafia.

Las calles fueron limpiadas de acuerdo a las dimensiones definidas en el diseño, con el propósito de facilitar el drenaje de las parcelas por el exceso de precipitaciones ocurridas durante la conducción del experimento.

3.3.5.3. Preparación del terreno

Se realizó con yunta y con 20 días de anticipación, una aradura y tres cruza, hasta dejar el suelo en las mejores condiciones para la siembra de los bulbillos de ajo. El surcado del terreno se realizó manualmente con la ayuda de un zapapico, el distanciamiento entre surcos fue de 0.40 m.

3.3.5.4. Abonamiento

Se hizo una sola vez, 15 días antes de la siembra, se utilizó abono orgánico (gallinaza) en una proporción de 3 t ha⁻¹. El abonamiento se hizo en el fondo del surco y en línea continua, esta cantidad fue determinada de acuerdo al análisis físico químico del suelo hecho en el laboratorio del INIA.

3.3.5.5. Preparación, instalación y calibración de tensiómetros

Se utilizaron tres tensiómetros marca IRROMETER de 0.30 m., cuyas características principales se muestran en anexo 03.

Para su correcta utilización, se ha tenido a disposición un equipo mínimo de servicio para tensiómetros Irrometer, constituidos por una bomba de vacío y un bote de líquido Irrometer, especialmente formulado para proteger

la punta cerámica contra la formación de microorganismos como algas u hongos.

➤ **Preparación de tensiómetros para la instalación**

Se realizó, 24 horas antes de instalar los equipos en el campo experimental, consistió en preparar un recipiente (balde de 8 l) con agua limpia, luego se procedió a quitar la funda protectora de la cápsula de cerámica de cada uno de los equipos, se quitó la tapa hermética y se llenó los tensiómetro con agua destilada, luego se colocaron en el recipiente con agua cubriendo totalmente la zona de la cápsula porosa.

➤ **Instalación de tensiómetros en el campo experimental**

Los instrumentos fueron trasladados al campo experimental en el mismo recipiente que fueron preparados. En el lugar se llenaron con la solución de agua destilada con líquido hirmometer.

El proceso de instalación empezó al hacer un hoyo en el suelo de 0.20 m. de profundidad utilizando un tubo de PVC de 1/2" de diámetro, haciendo uso de un lapicero marcador de vidrio se señaló a una longitud de 0.20 m. El tubo PVC se introdujo en el suelo hasta hacer coincidir la señalización con el nivel superficial del suelo; luego se lo retiró cuidadosamente tratando de no deformar el hoyo.

Una vez formado el hoyo se incorporó tierra suelta y húmeda (50 g) a la base, con el afán de rellenar los vacíos originados al momento de construirlo y lograr un mejor contacto entre el suelo y la cápsula porosa del tensiómetro. El equipo se instaló presionando cuidadosamente de la tapa hermética en forma vertical, instalado el tensiómetro se rellenó con tierra alrededor dejando una pequeña altura para evitar concentraciones de agua que interfieran en las lecturas. La altura entre la superficie del suelo y la base del vacuómetro del tensiómetro fue de 0.10 m.

➤ **Calibración de tensiómetros en el campo experimental**

Se utilizó una bomba de vacío manual, se usó para remover el aire del tensiómetro durante la preparación y mantenimiento normal. El proceso consistió en colocar la bomba de vacío en el depósito y bombear hasta que la aguja del vacuómetro marque la lectura máxima permisible a esa altitud, se ejecutó cinco bombeadas y se mantuvo el vacío por un periodo de 15 segundos, luego se desconectó la bomba con cuidado para no dañar el equipo y de inmediato fue cerrado con la tapa hermética.

Al tapar el tensiómetro, la aguja del manómetro nos dio una lectura de 0 cb, significa que hemos expulsado todo el aire del tubo del tensiómetro, obtener las lecturas correctas y estimar el momento oportuno del riego.

3.3.5.6. Etiquetado de los tratamientos

Las etiquetas fueron tableros metálicos de 0.15 m. x 0.15 m. representando la simbología de los tratamientos estudiados (T1, T2 y T3) y fueron instaladas en cada una de las parcelas.

3.3.5.7. Preparación y selección de la semilla

Esta labor fue realizada manualmente, se inició con desgrane de los bulbos madre para seleccionar los bulbillos o dientes semilla, se desgranó y sacó de las túnicas envolventes, solo fueron utilizados como semillas los dientes con mejores condiciones (tamaños homogéneos y sanos), los dientes pequeños fueron destinados para otro uso.

3.3.5.8. Siembra

Se realizó el 11 de agosto del 2008, depositando los bulbillos de ajo a un costado del surco a una profundidad de 0.05 a 0.08 m., se colocaron de asiento con la parte apical. El distanciamiento empleado fue de 0.20 m. entre plantas y 0.40 m. entre surcos, para ello se utilizó 40 Kg de ajo, cultivar conocido con el nombre común pata de perro.

La densidad de siembra influye en el crecimiento, desarrollo, calidad y el rendimiento del cultivo de ajo, la variación de densidades de siembra puede ser de 0.10 a 0.20 m. entre plantas y de 0.20 a 0.40 m. entre surcos de acuerdo al cultivar, topografía, fertilidad del suelo, sistema de siembra y tamaño de la semilla (Aguilera *et al* 2002).

3.3.5.9. Deshierbo y aporques

Se realizaron dos (2) deshierbos utilizando lampas, el aporque se hizo cuando la planta inició a macollar, lo más importante de esta labor es que se forma un medio favorable para la formación y el desarrollo del bulbo, es una actividad que se ha desarrollado con mucho cuidado tratando de no dañar las raicillas del bulbo, efecto que ha sido favorecido por el distanciamiento mayor entre surcos, aparte de generar beneficios para el bulbo ha permitido hacer un control de las malezas y favorecer la aeración del suelo para una mejor distribución del agua.

3.3.5.10. Los riegos

Fueron realizados teniendo en cuenta la frecuencia y lámina de riego por aplicar de acuerdo a los tratamientos en estudio antes mencionados.

Para el tratamiento (T1), fue regado con el volumen de agua (lámina) y frecuencia de riego estimadas por el agricultor, usando su experiencia obtenida en manejo de riego por aspersión en otros cultivos.

El tratamiento (T2), la programación del riego se realizó en base a la humedad del suelo, determinada con ayuda de un tensiómetro; para lo cual se realizaron evaluaciones diarias de los equipos entre las 7 y 8 a.m. con el afán de verificar el comportamiento diario de la tensión de humedad registrada en el báculo del equipo, el rango máximo de tensión de humedad permitida en el tensiómetro ha sido de 30 centibares (cb).

El tratamiento (T3), fue regado de acuerdo a los parámetros de riego establecidos mediante el uso de la fórmula empírica de Hargreaves con MF, establecido en la metodología.

3.3.5.11. Control de plagas y enfermedades

No hubo presencia de plagas durante la conducción del experimento. En cuanto a enfermedades solo se encontró roya amarilla en algunas plantas cuando el cultivo estaba en su fase de maduración.

3.3.5.12. Cosecha

La cosecha se realizó el 18 de enero del 2009, cuando la planta tenía un 70% de las hojas senescentes, el cual se calculó dividiendo el número de hojas senescentes entre el número total de hojas, al respecto García (1998) menciona que el momento de la cosecha en el cultivo de ajo se alcanza con un 90% del follaje seco, en cambio Aljaro et al (2009) señala que el momento adecuado es cuando el 30 al 50% del follaje está seco.

Por condiciones climáticas la cosecha fue colectada y conducida desde el campo experimental a un espacio protegido de las lluvias y dejado por 20 días, hasta que el follaje seque totalmente y se pueda pesar, cuyos valores fueron considerados para determinar el rendimiento en kg ha^{-1} .

3.3.6. Evaluación del experimento

Para evaluar el comportamiento de los diferentes tratamientos en el desarrollo del cultivo, se hizo un muestreo de plantas en todas las parcelas, seleccionando 10 plantas completas, en cuya muestra se evaluaron todas las variables en estudio.

Los parámetros medidos fueron los siguientes:

- Rendimiento (kg).
- Altura de planta (cm).
- Diámetro de bulbo (cm).
- Altura de bulbo (cm).
- Número de dientes

El peso del bulbo, se determinó en kg, por el área evaluada de cada tratamiento en estudio, para lo cual se utilizó una balanza.

Para altura de planta se utilizó una regla graduada en centímetros, se midió desde el cuello de planta hasta el ápice de la hoja terminal debidamente formada, las mediciones fueron realizadas cada 8 días.

El diámetro y altura de bulbo de ajo (*Allium sativum L.*) fueron medidos cuando estos ya habían secado, la medición se hizo en cm, utilizando como herramienta un vernier.

El número de bulbillos (dientes) por bulbo fueron determinados por conteo, para cada bulbo de toda la muestra de la investigación.

Todas las evaluaciones han sido registradas de diez plantas por tratamiento tomadas al azar y de los surcos centrales, tratando de tener un control del efecto de borde.

3.3.7. Gabinete

Obtenida la información producto de las evaluaciones hechas para cada tratamiento, en gabinete se realizó la sistematización, análisis y selección de la información estadística, donde se determinó el tratamiento con los mejores efectos, que serán considerados en condiciones iguales o similares a las características del lugar donde se realizó la investigación.

Los resultados nos permitirán hacer comparaciones de las técnicas de riego por aspersión con las láminas de agua y frecuencias de riego de cada uno de los tratamientos y estimar los efectos de cada una de ellas en el cultivo, cuyos resultados serán condicionantes para la optimización del uso del agua.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Recopilación y tratamiento de la información de campo

4.1.1. Precipitación

Para saber el aporte de agua al cultivo a través de las precipitaciones, se instaló un pluviómetro de 200 cm² de área colectora en el campo experimental; los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10. Registro de la precipitación diaria (mm.)

Fecha	ago.	set.	oct.	nov.	dic.	ene.
1		-	-	20.30	11.8	-
2		-	-	5.00	6.5	2.1
3		-	34.5	14.30	7	2.8
4		-	-	9.10	-	-
5		-	-	0.80	-	-
6		-	4.4	0.15	-	2
7		-	-	-	-	3.6
8		8.7	2.8	3.30	-	-
9	2.1	-	-	4.80	-	20.4
10	1	-	1.1	1.00	4.3	3.6
11	-	3.5	-	-	0.3	2.7
12	-	-	-	1.20	-	4.6
13	-	-	-	8.00	-	12
14	-	1.2	11.5	-	1.1	4.1
15	5	-	-	-	-	8.1
16	-	-	-	-	0.6	10.8
17	0.2	-	7.1	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-
20	0.4	-	3.9	4.20	-	-
21	-	8.9	-	1.50	-	-
22	-	-	-	-	-	-
23	-	15.7	-	-	-	-
24	-	-	10.5	-	-	-
25	-	0.9	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	9.50	-	-
28	-	-	-	-	-	-
29	-	-	11.4	10.00	-	-
30	6.2	3.4	8	-	-	-
31	-	-	12	-	2.9	-
PP Total	14.90	42.30	107.20	93.15	34.50	76.80
PP máx.	6.20	15.70	34.50	20.30	11.80	20.40
PP mín.	0.20	0.90	1.10	0.15	0.30	2.00

El 11 de agosto del 2008 se sembró del cultivo y el 18 de enero del 2009 se cosecha.

4.1.2. Programación del riego

Las tablas construidas (11, 12 y 13) corresponden a datos registrados durante la conducción del experimento, cada tratamiento tiene la siguiente información. De izquierda a derecha, la columna 1 indica la cantidad de riegos, en la columna 2 se encuentra la fecha en que se realizó cada riego, en la columna 3 está la lectura del tensiómetro antes de realizar cada riego, en la columna 4 está la cantidad de días transcurridos entre un riego y el siguiente (frecuencia de riego), en la columna 5 se muestra el tiempo (en horas) de cada riego, en la columna 6 está la cantidad de agua incorporada al cultivo a través de las precipitaciones ocurridas en los días de cada intervalo de riego, en la columna 7 está la cantidad de agua suministrada en cada riego y en la columna 8 se encuentra el total de agua suministrada al cultivo.

4.1.2.1. Parámetros de riego para el tratamiento (T1)

La siguiente información representa el registro de los parámetros de riego utilizados durante la conducción del experimento.

Tabla 11. Programación del riego en el tratamiento (T1)

N° de Riego	Fecha	Lectura de tensiómetro (cb)	Frecuencia de riego (días)	Tiempo de riego (h)	Láminas de agua utilizadas (mm.)		
					Precipitación acumulada*	Riego	Total
1	10/08/2008	-	-	2.50	-	20.50	20.50
2	22/08/2008	35	12	3.00	8.70	24.60	33.30
3	30/08/2008	27	8	2.00	6.20	16.40	22.60
4	04/09/2008	19	5	1.50	0.00	12.30	12.30
5	14/09/2008	22	10	2.00	13.40	16.40	29.80
6	13/10/2008	24	29	2.00	71.70	16.40	88.10
7	18/11/2008	35	36	2.50	132.35	20.50	152.85
8	23/11/2008	25	5	2.00	5.70	16.40	22.10
9	30/11/2008	19	7	1.00	19.50	8.20	27.70
10	09/12/2008	36	9	1.00	25.30	8.20	33.50
11	16/12/2008	31	7	2.50	6.30	20.50	26.80
12	24/12/2008	38	8	2.50	0.00	20.50	20.50
13	03/01/2009	40	10	1.00	7.80	8.20	16.00
Cosecha	18/01/2009	-	-	-	71.90	-	71.90
Total		-	-	-	368.85	209.10	577.95
Promedio		29.25	12.38	1.96	28.37	16.08	41.28

*Cantidad de agua acumulada entre un riego y el siguiente (ver anexo 1: Tabla 3).

La tabla 11, muestra los parámetros de riego con que ha sido conducido este tratamiento; se realizaron 13 riegos, con 29.25 cb de tensión media de

humedad leída en el tensiómetro, la frecuencia media de riego ha sido de 12.38 días; el aporte de agua al cultivo a través de precipitaciones ha sido de 368.85 mm. y la suministrada con el riego 209.10 mm.; haciendo un total de 577.95 mm lo que equivale a 5 780 m³ ha⁻¹.

4.1.2.2. Parámetros de riego para el tratamiento (T2)

La siguiente información representa el registro de los parámetros de riego utilizados durante la conducción del experimento.

Tabla 12. Programación del riego en el tratamiento (T2)

N° de Riego	Fecha	Lectura de tensiómetro (cb)	Frecuencia de riego (días)	Tiempo de riego (h)	Láminas de agua utilizadas (mm.)		
					Precipitación acumulada*	Riego	Total
1	10/08/2008	-	-	2.50	-	20.50	20.50
2	17/08/2008	25	7.00	1.50	8.30	12.30	20.60
3	23/08/2008	24	6.00	1.50	0.40	12.30	12.70
4	28/08/2008	25	5.00	1.50	0.00	12.30	12.30
5	03/09/2008	24	6.00	1.50	6.20	12.30	18.50
6	20/09/2008	20	17.00	0.50	13.40	4.10	17.50
7	29/09/2008	22	9.00	1.00	25.50	8.20	33.70
8	14/10/2008	22	15.00	1.00	57.70	8.20	65.90
9	21/10/2008	18	7.00	1.00	11.00	8.20	19.20
10	18/11/2008	28	28.00	1.50	109.85	12.30	122.15
11	23/11/2008	23	5.00	1.50	5.70	12.30	18.00
12	28/11/2008	16	5.00	1.00	9.50	8.20	17.70
13	08/12/2008	30	10.00	2.00	35.30	16.40	51.70
14	13/12/2008	25	5.00	1.00	4.60	8.20	12.80
15	18/12/2008	25	5.00	1.00	1.70	8.20	9.90
16	22/12/2008	27	4.00	1.50	0.00	12.30	12.30
17	27/12/2008	26	5.00	1.00	0.00	8.20	8.20
18	02/01/2009	30	6.00	0.50	5.00	4.10	9.10
19	06/01/2009	30	4.00	0.50	4.80	4.10	8.90
Cosecha	18/01/2009	-	-	-	69.90	-	69.90
Total		-	-	-	368.85	192.70	561.55
Promedio		24.44	8.47	1.24	19.41	10.14	28.08

* Cantidad de agua acumulada entre un riego y el siguiente (ver anexo 1: Tabla 4)

La tabla 12, muestra los parámetros de riego con que ha sido conducido este tratamiento. Se realizaron 19 riegos, la humedad media del suelo leída en el tensiómetro ha sido 24.44 cb, la frecuencia media de riego, 8.47 días; el aporte de agua al cultivo a través de precipitaciones ha sido de 368.85 mm. y la lámina

incorporada a través del riego de 192.70 mm.; en total 561.55 mm equivalente a 5616 m³ ha⁻¹.

4.1.2.3. Parámetros de riego para el tratamiento (T3)

La siguiente información representa el registro de los parámetros de riego utilizados durante la conducción del experimento.

Tabla 13. Programación del riego para el tratamiento (T3)

N° de Riego	Fecha	Lectura de tensiómetro en (cb)	Intervalo de riego (días)	Tiempo de riego (h)	Láminas de agua utilizadas (mm)		
					Precipitación acumulada*	Riego	Total
1	10/08/2008			2.5		20.50	20.50
2	17/08/2008	18	7	2	8.30	17.00	25.30
3	24/08/2008	16	7	2	0.40	17.00	17.40
4	31/08/2008	21	7	2	6.20	17.00	23.20
5	07/09/2008	17	7	2	0.00	17.00	17.00
6	14/09/2008	14	7	2	13.40	17.00	30.40
7	21/09/2008	13	7	2	8.90	17.00	25.90
8	28/09/2008	16	7	2	16.60	17.00	33.60
9	07/10/2008	12	9	no se regó	42.30	-	42.30
10	16/10/2008	10	9	no se regó	15.40	-	15.40
11	25/10/2008	7	9	no se regó	21.50	-	21.50
12	04/11/2008	9	10	no se regó	80.10	-	80.10
13	09/11/2008	14	5	2	9.05	17.00	26.05
14	14/11/2008	13	5	2	10.20	17.00	27.20
15	19/11/2008	20	5	2	0.00	17.00	17.00
16	24/11/2008	24	5	2	5.70	17.00	22.70
17	29/11/2008	16	5	2	19.50	17.00	36.50
18	04/12/2008	10	5	No se regó	25.30		25.30
19	09/12/2008	20	5	2	0.00	17.00	17.00
20	14/12/2008	24	5	2	5.70	17.00	22.70
21	19/12/2008	20	5	2	0.60	17.00	17.60
22	24/12/2008	22	5	2	0.00	17.00	17.00
23	29/12/2008	23	5	2	0.00	17.00	17.00
24	08/01/2009	40	10	2	13.40	17.00	30.40
cosecha	18/01/2009	-	-	-	66.30	-	66.30
Total		-	-	-	368.85	326.47	695.32
Promedio		17.35	6.57	2.10	15.37	17.18	27.81

* Cantidad de agua acumulada entre un riego y el siguiente (ver anexo 1: Tabla 5)

La tabla 13, muestra los parámetros de riego con que ha sido conducido este tratamiento. Se realizaron 24 riegos, la humedad media del suelo leída en el tensiómetro es de 17.45 cb, la frecuencia media de riego es de 6.6 días; el aporte

de agua al cultivo a través de precipitaciones ha sido de 368.85 mm. y la lámina incorporada a través del riego de 326.47 mm., haciendo un total de 695.32 mm. equivalente a 6 953 m³ ha⁻¹.

En las tablas (11, 12 y 13) se puede ver que, los parámetros para programar el riego (frecuencias de riego y láminas de agua) varían de acuerdo al comportamiento del clima, es decir las condiciones ambientales donde se realizó la investigación influyen en la programación del riego en el cultivo de ajo.

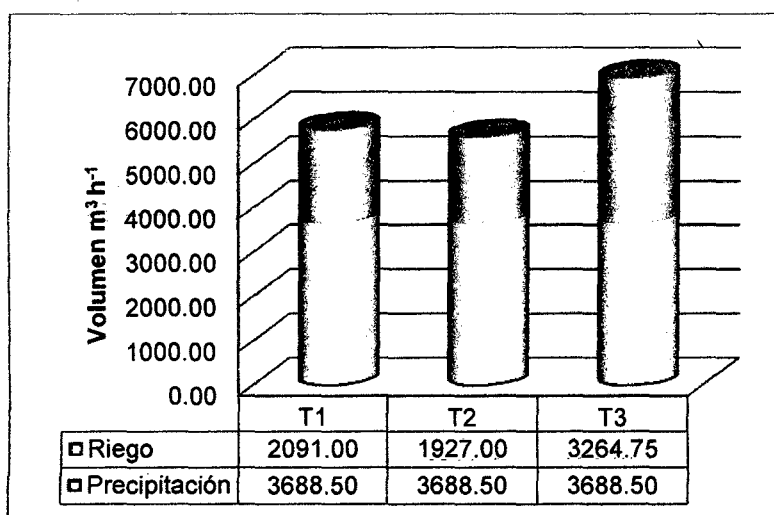


Figura 2. Suministro de agua al cultivo en m³ ha⁻¹

En la figura 2, se muestra la cantidad de agua suministrada a través del riego y el aporte total de las precipitaciones para cada uno de los tratamientos en estudio. En relación al agua de riego, en el tratamiento T3 se utilizó más agua que en tratamiento T2: 3 264.75 m³ ha⁻¹ y 1 927 m³ ha⁻¹ respectivamente.

4.2. Análisis estadístico de los tratamientos en estudio

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la cosecha del experimento, los cuales han sido analizados estadísticamente con el método de Diseño en Bloque Completamente al Azar, los análisis de variancia (ANVA) para cada característica agronómica evaluada en el cultivo se presentan mediante cuadros de la siguiente manera.

Para el caso de rendimiento de ajo del presente experimento el análisis de varianza (ANVA) es el siguiente.

Tabla 14. Análisis de variancia (ANVA) para la variable rendimiento de ajo (*Allium Sativum L.*) en kg ha⁻¹

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	6599148.35	3299574.17		6.94	18.00
Repeticiones	2	480394.13	240197.06	2.49 NS	6.94	18.00
Error	4	5296869.40	1324217.35	0.18 NS		
Total	8	12376411.88	-	-	-	-

$$C.V. = 12.18\%$$

En cuanto al coeficiente de variabilidad del 12.18% se encuentra dentro de un límite aceptable, según Vásquez (1990), este valor se encuentra dentro un límite de precisión bueno, para experimentos en campo. Luna (2006) también sostiene que coeficientes de variabilidad entre 8 y 14% significa que existe un nivel de precisión aceptable, esto indica que el experimento ha sido conducido con todos los cuidados necesarios, por lo tanto no ha existido factores externos al trabajo que afecten los resultados obtenidos.

En la tabla 14, se observa que no existe significación estadística para los tratamientos en estudio y repeticiones, puesto que los valores de F calculadas no superan a los valores F leídos en la tabla de Fisher, con $\alpha = 0,05$ y $0,01$ de probabilidades respectivamente, lo cual indica que las medias de los tratamientos no difieren uno del otro en rendimiento de ajo, son iguales estadísticamente.

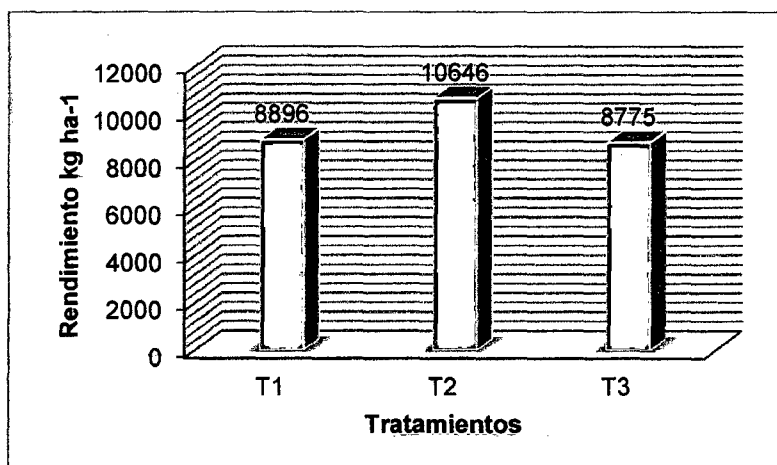


Figura 3. Rendimiento de ajo (kg ha⁻¹).

La figura 3, nos muestra las diferencias numéricas que existen entre tratamientos. El mayor rendimiento lo ocupa el tratamiento T2: Lámina y frecuencia de riego por aspersión regulado por tensiómetro, con un rendimiento de 10 646 kg ha⁻¹, seguido del tratamiento T1: Lámina y frecuencia de riego que usa el agricultor, con un rendimiento de 8 895 kg ha⁻¹ y luego el tratamiento T3: Lámina y frecuencia de riego por aspersión calculadas teóricamente, con un rendimiento de 8 775 kg ha⁻¹ respectivamente.

El riego manejado con el tensiómetro (T2), aumentó el rendimiento del cultivo debido, al constante y frecuente régimen de humedad al que se ha sometido el volumen radicular, lo cual según Neeraja *et al* citado por Barrios *et al* (2006) influye en la solubilización, absorción y translocación de los nutrientes aplicados con los abonos y fertilizantes. Sin embargo mantener el cultivo de ajo con mayor potencial de humedad del suelo, como se dio en el T3 significó una mayor cantidad de agua aplicada y el rendimiento del cultivo no fue superior a los tratamientos T1 y T2 donde se utilizó menos agua. Esta relación probablemente se ajuste a lo manifestado por García (1998), el autor menciona que el ajo se desarrolla mejor en suelos con contenido de agua cercano a su capacidad de campo y que los límites de estrés por déficit o exceso de humedad en suelo no favorecen la producción. Barrios *et al* (2006) también sostiene que el volumen de agua aplicado y el método de riego influyen en el rendimiento y en la calidad de la producción de ajo, como consecuencia del régimen de humedad del suelo.

Estos resultados nos indican la importancia de definir la humedad óptima del suelo para maximizar el rendimiento del cultivo de ajo con los sistemas de riego por aspersión.

Es importante mencionar que en Perú, según el MINAG-OEEE (2011) el rendimiento promedio de ajo (*Allium sativum* L.) en Cajamarca, es de 5 t ha⁻¹ y a nivel nacional es de 10 t ha⁻¹. De acuerdo a estos resultados encontramos que los tres tratamientos (T1, T2 y T3) dieron rendimientos superiores al promedio de la región Cajamarca, sin embargo solo el tratamiento T2 supera el promedio nacional con 10 646 kg ha⁻¹.

Por otro lado la mayor eficiencia de uso de agua para riego se da con el tratamiento T2, donde se ha utilizado menos agua y se ha obtenido mayor rendimiento. El T2 utilizó un volumen de agua de 5 616 m³ ha⁻¹ y se obtuvo un rendimiento de 10 646 kg ha⁻¹, seguido del T1 con 5 780 m³ ha⁻¹ y un rendimiento de 8 895 kg ha⁻¹ y para el T3 se utilizó 6 953 m³ ha⁻¹ y se obtuvo un rendimiento de 8 755 kg ha⁻¹. Estos resultados son mucho menores a lo encontrado por Burba (2003), el autor menciona que en la región andina el cultivo de ajo necesita una lámina de agua de 900 mm ha⁻¹ es decir 9 000 m³ ha⁻¹. La frecuencia de riego debe ser de 15 días en suelos pesados, entre 11 – 12 días en suelos francos y 7 días en suelos arenosos.

Por otro lado Berzoza y Chávez (2001) citado por Pais (2004), obtuvieron rendimientos de 11,2 t ha⁻¹ con un consumo de 10 200 m³ ha⁻¹ de agua con riego por gravedad y 16.5 t ha⁻¹ con un consumo de 7 900 m³ ha⁻¹ de agua en riego por goteo, estas cantidades de agua también son superiores a las utilizadas en la presente investigación. Pero es probable que estas variaciones se deban a las diferencias en las condiciones ambientales en que se han conducido cada una de las investigaciones y los diferentes métodos de riego utilizados.

Sin embargo se debe mencionar que al término de esta investigación no se han encontrado estudios que nos permitan corroborar los volúmenes de agua utilizados en una hectárea de cultivo de ajo, manejada con riego por aspersión.

Para el caso de altura de planta de ajo del presente experimento el análisis de varianza (ANVA) se muestra en los siguientes cuadros.

Tabla 15. Análisis de variancia (ANVA) para la variable altura de planta de ajo (*Allium Sativum L.*) en cm planta⁻¹

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	8.962	4.481	0.32 NS	6.94	18.00
Repeticiones	2	83.170	41.585	2.99 NS	6.94	18.00
Error	4	55.643	13.911			
Total	8	147.775	-	-	-	-

C.V. = 5.91%

En cuanto al coeficiente de variabilidad de 5.91 % también se encuentra dentro de un límite aceptable, lo cual nos indica que no han existido factores externos al trabajo que afecten los resultados obtenidos.

La tabla 15, muestra claramente que no existe significación estadística en lo que altura de planta se refiere, tanto para los tratamientos en estudio y repeticiones, puesto que los valores de F calculadas no superan a los valores de F leídos en la Tablas de Fisher, con $\alpha = 0,05$ y $0,01$ de probabilidades, lo cual indica que las medias de altura de planta, correspondientes a los tratamientos no difieren uno del otro.

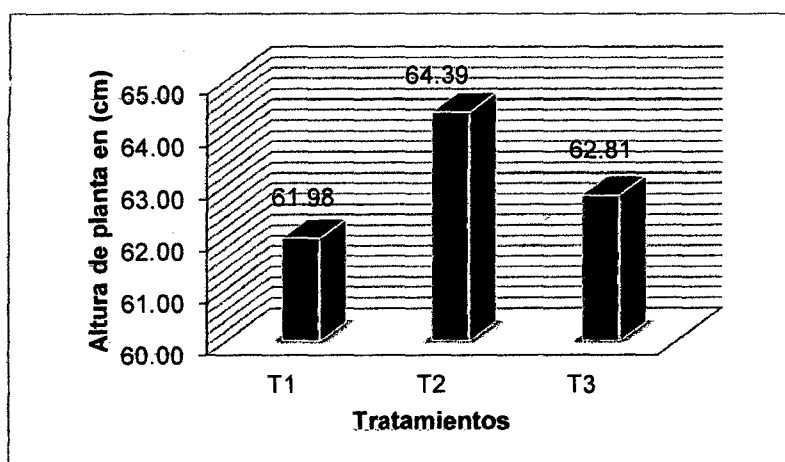


Figura 4. Altura de planta de ajo.

En la figura 4, se ve las diferencias numéricas entre tratamientos en cuanto a altura planta, el tratamiento T2 es superior a los demás tratamientos con 64.39 cm; solo que, en esta característica el que le sigue es el tratamiento T3 con 62.81 cm a diferencia del rendimiento que era el T2. Esto probablemente se deba a la mayor concentración de

humedad en el suelo para el T3 que favorece el crecimiento de la planta y efecto adverso se daría para el T1 donde el contenido de humedad en el suelo ha sido menor.

Estas alturas de planta son aceptables, considerando que Martínez (1999) sostiene que el ajo (*Allium sativum L.*) es una planta que solo puede alcanzar hasta 50 cm de altura, sin embargo Aljaro *et al* (2009) sostiene que de acuerdo a los cultivares, el ajo pueden desarrollar hasta 1 metro de altura.

Referente al diámetro de bulbo de ajo del presente estudio, el análisis de varianza (ANVA), se indican en los siguientes cuadros.

Tabla 16. Análisis de variancia (ANVA) para la variable diámetro de bulbo de ajo (*Allium Sativum L.*) en cm planta⁻¹.

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	2.502	1.251	1.68 NS	3.84	7.01
Repeticiones	2	0.289	0.144	0.19 NS	4.46	8.65
Error	4	2.985	0.746			
Total	8	5.775	-	-	-	-

$$C.V. = 13.80\%$$

En cuanto al coeficiente de variabilidad del 13.80% es bajo para condiciones de campo, lo cual nos indica que no han existido factores externos al trabajo que afecten los resultados obtenidos.

La tabla 16, del análisis de variancia nos muestra claramente que también no existe significación estadística tanto para los tratamientos en estudio y repeticiones, puesto que los valores de F calculadas no superan los valores de las F tabulares leídos en la tabla de Fisher, con $\alpha = 0,05$ y $0,01$; lo cual indica que las medias de diámetro de bulbo de los tratamientos son iguales estadísticamente.

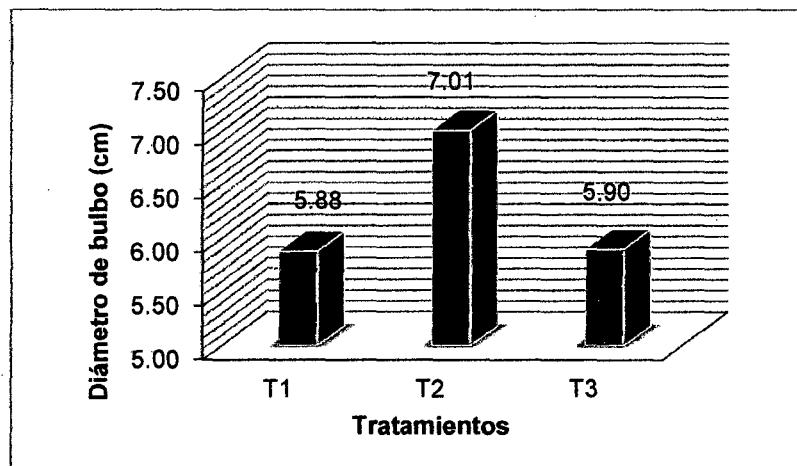


Figura 5. Diámetro de bulbo por planta de ajo.

La figura 5, muestra las diferencias numéricas de los tratamientos, en cuanto al diámetro promedio de bulbo por planta de ajo. Al igual que las anteriores características evaluadas el T2, ha tenido el mayor diámetro de bulbo con 7.02 cm, seguido del T3 con 5.98 cm y el T1 con 5.88 cm. Esto probablemente se deba a la variación en el contenido de humedad en el suelo, donde contenidos altos y bajos de humedad no favorecen al desarrollo del diámetro de bulbo. Sin embargo el diámetro de bulbo del T2 es superior al encontrado por Delgado (2001), donde reporta un diámetro promedio de bulbo de 6.57 cm (con un rendimiento promedio de 11.98 t ha⁻¹).

Por otro lado Burba (2003) sostiene que la clasificación de los bulbos se hace teniendo en cuenta los calibres exigidos por los compradores y que bulbos con diámetros entre 26 y 45 mm son considerados chicos, entre 46 y 65 mm son medianos y entre 66 y 95 mm son grandes estos últimos son los que mayor oportunidad de mercado presentan. Con esta clasificación, los diámetros de bulbo encontrados para el T1 y T3 están en la categoría de medianos y T2 en la categoría de grande.

Teniendo en cuenta la característica altura de bulbo de ajo, haciendo el análisis de varianza (ANVA), se muestra los siguientes resultados.

Tabla 17. Análisis de variancia (ANVA) para la variable altura de bulbo de ajo (*Allium Sativum L.*) en cm planta⁻¹

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	1.561	0.781	4.46 NS	6.94	18.00
Repeticiones	2	0.106	0.053	0.30 NS	6.94	18.00
Error	4	0.700	0.175			
Total	8	2.367	-	-	-	-

C.V. = 10.19%

En cuanto al coeficiente de variabilidad, el valor de 10.19% es aceptable, nos indica que no han existido factores externos al trabajo que afecten los resultados obtenidos y que los resultados son confiables.

La tabla 17, también se muestra claramente que no existe significación estadística tanto para los tratamientos en estudio y repeticiones, puesto que los valores de F calculadas no superan a los valores de F leídos en la Tabla de Fisher, con $\alpha = 0,05$ y 0,01; lo cual indica que las medias de altura de bulbo por planta, correspondiente a los tratamientos no difieren uno del otro, son iguales estadísticamente.

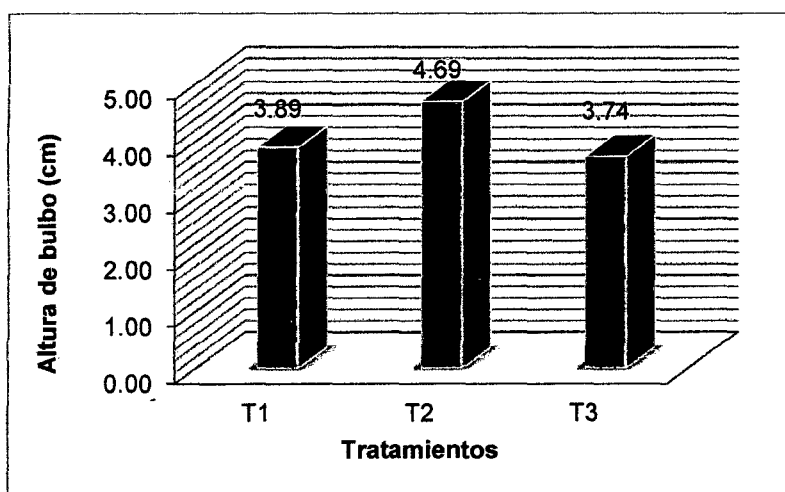


Figura 6. Altura de bulbo por planta de ajo.

La figura 6, muestra las diferencias numéricas de los tratamientos, en cuanto al altura promedio de bulbo por planta de ajo. Al igual que las anteriores características evaluadas el T2, ha tenido el mayor diámetro de bulbo con 4.69 cm, seguido del T1 con

3.89 cm y el T3 con 3.74 cm. Estas diferencias también se deben a la variación en el contenido de humedad en el suelo, donde los contenidos altos de humedad para T3 probablemente influyen desfavorablemente en el desarrollo de la altura de bulbo de ajo y los contenidos bajos de humedad en el que se ha conducido el T1 tengan menos influencia en el desarrollo de altura de bulbo. Sin embargo, esta característica encontradas en T1, T2 y T3 son inferiores a los valores encontrados por Delgado (2001), donde reporta una altura promedio de bulbo de 5.15 cm por planta de ajo.

Referente al número de dientes de ajo, el resultado del análisis de varianza (ANVA), se dan a continuación.

Tabla 18. Análisis de variancia (ANVA) para la variable número de bulbillos de ajo (*Allium Sativum L.*).

[Datos transformados con $Y=(X)^{1/2}$]

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	0.368	0.184	2.15 NS	6.94	18.0
Repeticiones	2	0.124	0.062	0.72 NS	6.94	18.0
Error	4	0.342	0.086			
Total	8	0.834	-	-	-	-

C.V. = 8.66%

En cuanto al coeficiente de variabilidad del 8.66% también es aceptable en este tipo de estudios; esto nos indica que no han existido factores externos al trabajo que afecten los resultados obtenidos.

En la tabla 18, del análisis de variancia (ANVA), se muestra también claramente que no existe significación estadística tanto para los tratamientos en estudio y repeticiones, puesto que los valores de F calculadas no superan a los valores de F tabulares leídos en la tabla de Fisher, con $\alpha = 0,05$ y $0,01$ de probabilidades, respectivamente, lo cual indica que las medias del número promedio de bulbillos de ajo por planta, no difieren el uno del otro, son iguales estadísticamente.

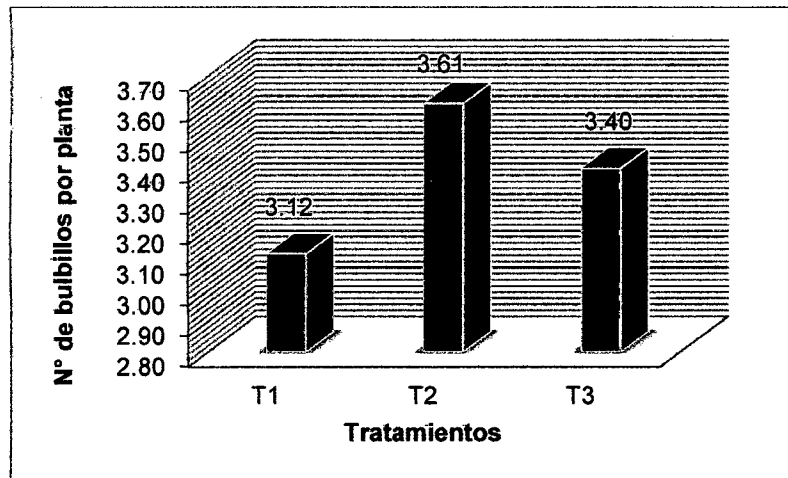


Figura 7. Número de bulbillos por planta de ajo.

En número de dientes o bulbillos también existen diferencias numéricas entre tratamientos. El tratamiento T2 es superior que los T3 y T1; con 13.03, 11.60 y 9.83 bulbillos por bulbo de ajo (*Allium sativum L.*), como se puede ver le sigue el T3, esto probablemente se deba al mayor potencial de humedad en que se ha manejado este tratamiento. La cantidad de bulbillos por bulbo encontrados en los tratamientos son aceptables, considerando que Barrios et al (2006) sostiene que esta característica varía entre 8 y 14 bulbillos por bulbo de ajo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

1. Las tres técnicas de riego por aspersión evaluadas estadísticamente dieron resultados similares, no significativos en el cultivo de ajo, referente a rendimiento, altura de planta, diámetro de bulbo, altura de bulbo y número de dientes respectivamente.
2. Numéricamente en rendimiento de ajo con el tratamiento T2 es superior al T1 y T3, donde se ha obtenido rendimientos de 10 646 kg ha⁻¹ con un volumen de agua total de 5 616 m³ ha⁻¹, con el T1 se obtuvo rendimientos de 8 895 kg ha⁻¹ con un volumen de agua 5 780 m³ ha⁻¹ y con el tratamiento T3 se obtuvo rendimientos de 8 755 kg ha⁻¹ con un volumen de 6 953 m³ ha⁻¹.
3. La mayor eficiencia de uso de agua para riego se ha logrado con el tratamiento T2, donde se ha utilizado 5 616 m³ ha⁻¹ de agua y se obtuvo un rendimiento de 10 646 kg ha⁻¹, lo cual representa un ahorro de agua de 1157 m³ con relación al T3 y 164 m³ en relación al T1.

5.2. Recomendaciones.

1. Considerar los parámetros definidos en esta investigación en cuanto a la humedad del suelo controlado con tensiómetros en condiciones semejantes al lugar donde se realizó el presente trabajo de investigación.
2. Replicar la investigación en otros lugares y con otros cultivos, utilizando tensiómetros y con distintos niveles de tensión de humedad y/o frecuencias de riego.

VI. LITERATURA CITADA

Aguilera A. et al. 2002. Cultivo del Ajo (*Allium sativum* L.) para la zona sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura. Temuco-Chile. 154 p.

Allen, RG. et al. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje publicación N ° 56 Roma.

Administración Técnica del Distrito de Riego Acari-Yauca-Puquio, ACARI 2004 (en Línea). Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Acari. Informe Final. 84 p. Disponible en http://www.ana.gob.pe/media/296523/estudio_hidrologico_acari.pdf.

Aljaro A. et al. 2009. Manual de cultivo del ajo (*allium sativum* l.) y cebolla (*allium cepa* l.). Nodo Hortícola. Chile 2009. 49 p.

Asociación Evangélica Luterana de Ayuda para el Desarrollo comunal. 2011. Operación Mantenimiento del Sistema de Riego por Aspersión. Primera Edición. Lima – Perú. 20 p.

Barrios et al. 2006. Efecto del sistema de riego y tensión de humedad del suelo en el rendimiento y calidad del ajo rendimiento. Mexico. 81 p.

Benavides, A. et al. 1999. Departamento de horticultura- UNA. Los fitonutrientes del ajo una especie medicinal y alimentaria. 30 p.

Blanco G, S. (s.f.) Medidores de humedad (en línea). Consultado 14 de junio de 2008. Disponible en [ww.inea.uva.es/web/ateriales/web/riego/anuncios/trabajos/Medidores/humedad](http://www.inea.uva.es/web/ateriales/web/riego/anuncios/trabajos/Medidores/humedad).

Burba J. 2003. Producción de ajo. Estación Experimental Agropecuaria la Consulta Pro ajo/INTA – Documento 069. Mendoza – Argentina. 43 p.

Campos B. y Gonzales J. 2012. El tensiómetro: Su uso, Instalación y Mantenimiento. IPAFA. No. 22: 4-5.

- Castañón, G. 2000. Ingeniería del riego: Uso racional del agua. Primera edición. Editorial Paraninfo. Madrid-España. 198 p.
- Delgado R., N. 2001. Influencia de los abonos orgánicos versus fertilizante químico en el rendimiento del cultivo de ajo (*Allium sativum L.*) en el caserío de la Grama, provincia de San Marcos. Tesis Ing. Agrónomo. Cajamarca-Perú. UNC. 67 p.
- FAO (s.f.). Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos. 322 p.
- Ferreira R. et al. 2005. Manejo del Riego Localizado y Fertirrigación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Cruz – Chile. 53 p.
- Florindez, A. 2011. Sistemas de riego predial Regulados por Microreservorios. Lima – Perú. 145 p.
- García, I. y Briones, G. 1997. Sistema de Riego por Aspersión y Goteo. Primera edición. Editorial Trillas. México. 257 p.
- Heredia S. y Conti M. 1997. Interpretación de análisis de agua para riego complementario en la región pampeana. Congreso Internacional sobre aguas. Libro de resúmenes: III – 82. Argentina.
- Huez M. et al. 2009. Productividad de Ajo (*Allium sativum L.*) Bajo riego por goteo en la Costa de Hermocillo- México. Biotecnia. 10 (2). 10 p.
- Luna A. 2006. Censo 2005: Un Proyecto con Enfoque Sistemático. Revista ib. No 1. CANDANE. Bogotá-Colombia.
- Martínez P., M. 1995. Agricultura Práctica. Segunda edición. Editorial Ramón Sopena S.A. Horticultura. 412 p.
- Matín E. 2010. Métodos para medir la Humedad del suelo para la Programación del Riego. Dhe Universite of Arisona. 8 p.
- Michiel, A. y Has W. 2000. Diseño de Pequeños Sistemas de Riego por Aspersión en Ladera. Cajamarca – Perú. 70 p.

- Muña, P. 1997. Gestión de los sistemas de riego. Experiencia del PLAN MERISS INKA en la cuenca del Vilcanota. Cusco (Perú). PLANMERISS. 156 p.
- Olarte H, W. 2003. Diseño y Gestión de Riego por Aspersión en Laderas. Proyecto MASAL. Cusco – Perú. 175 p.
- Terán O. (s.f.). El cultivo de Ajo. Editorial PLURAL. La Paz-Bolivia. 102 p.
- Pais J. 2004. Evaluación Técnica y Económica de la producción de Ajo bajo Riego por Goteo. Universidad de Chile. Santiago de Chile. 66 p.
- Porta J. *et al.* 2003. Edafología para los agricultores y el medio ambiente. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid-España. 929 p.
- Salazar J. 2010. Frecuencia de agua de riego por aspersión en cultivo de Rye Grass más trébol en el caserío de San Mateo de Quilcate – San Miguel de Pallaques. Tesis. Ing. Agrónomo. Cajamarca - Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 53 p.
- Suarez M., Ismael 2004. El cultivo y formas de utilización del ajo (*Allium Sativum L.*). Monografía Ing. Agrónomo. Cajamarca-Perú. UNC. 51 p.
- Santos L. *et al.*, 2010. El riego y sus tecnologías. Primera edición. CREA-UCLM. Albasete-España. 112 p.
- Soto J. 2002. Manual para el Diseño y Gestión de Pequeños Sistemas de Riego por Aspersión en Laderas. Cusco –Perú. 157 p.
- Toledo A. 2007. Curso Gestión Integrada del Agua en la Región Cajamarca: Marco conceptual sobre el plan regional de riego en Cajamarca (Diapositivas). 68 diapositivas. Color.
- Torres, *et al.* 2004. Manual para Educación Agropecuaria: Riego y Drenaje. Editorial Trillas. Séptima reimpresión – México. 100 p.
- Villón, M. 2003. Hidrología. Segunda edición.

ANEXOS

ANEXO 1. Registro de información de campo.

Tabla 19. Datos climatológicos, estación Huacataz: período de 16 años 1977-1992.

Meses	PP (mm.)	T (°C)	T (°F)	HR (%)	MF	Nº DIAS	CH	ETP mm mes ⁻¹	ETP mm día ⁻¹
Enero	94.80	11.3	52.34	67	2.480	31	0.95	123.78	3.99
Febrero	115.70	11.2	52.16	70	2.223	28	0.91	105.43	3.77
Marzo	118.30	11	51.8	71	2.363	31	0.89	109.42	3.53
Abril	86.10	11.2	52.16	71	2.097	30	0.89	97.78	3.26
Mayo	38.70	10.6	51.08	68	1.965	31	0.94	94.25	3.04
Junio	11.00	10.2	50.36	65	1.782	30	0.98	88.13	2.94
Julio	8.00	9.7	49.46	63	1.890	31	1	93.48	3.02
Agosto	11.50	10.5	50.9	53	2.076	31	1	105.67	3.41
Setiembre	34.80	11.1	51.98	63	2.210	30	1	114.88	3.83
Octubre	99.10	10.8	51.44	65	2.434	31	0.98	122.96	3.97
Noviembre	88.10	11.1	51.98	64	2.400	30	0.996	124.25	4.14
Diciembre	84.10	11.4	52.52	66	2.471	31	0.97	125.62	4.05
Promedio/año	790.2	10.84	-	65.5	-	-	-	108.80	3.58

Tabla 20. Factor de evapotranspiración potencial MF, en mm por mes.

Lat. Sur	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	Jul.	ago.	set.	oct.	nov.	dic.
1	2.288	2.117	2.354	2.197	2.137	1.990	2.091	2.218	2.258	2.858	2.234	2.265
2	2.321	2.134	2.357	2.192	2.106	1.956	2.050	2.194	2.251	2.872	2.263	2.301
3	2.353	2.154	2.360	2.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.486	2.290	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888	1.993	2.150	2.240	2.398	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854	1.960	2.126	2.234	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.205	2.363	2.117	1.980	1.820	1.976	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.478	2.221	2.363	2.099	1.969	1.785	1.893	2.078	2.210	2.433	2.397	2.467
8	2.496	2.237	2.362	2.081	1.927	1.750	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510
9	2.538	2.261	2.360	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.610
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.832	1.644	1.754	1.970	2.180	2.470	2.497	2.577
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.608	1.719	1.950	2.169	2.477	2.520	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.572	1.684	1.922	2.157	2.484	2.543	2.675
14	2.680	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.490	2.566	2.706
15	2.707	2.328	2.334	1.937	1.700	1.500	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.730
16	2.734	2.339	2.327	1.914	1.660	1.464	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.353	2.311	1.867	1.590	1.391	1.504	1.780	2.088	2.508	2.651	2.830
19	2.811	2.368	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	1.750	2.072	2.510	2.671	2.859
20	2.835	2.377	2.293	1.818	1.529	1.318	1.431	1.719	2.056	2.512	2.691	2.889

Tabla 21. Registro de precipitación diaria (mm) y lectura de tensiómetros (cb) para el tratamiento T1

N°	ago.		sep.		oct.		nov.		dic.		ene.	
	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb
1				13		13	20.30	8	11.80	8		38
2				15		12	5.00	8	6.50	9	2.10	45
3				18	34.50	8	14.30	7	7.00	9	2.80	40
4				19		8	9.10	5		10		20
5				15		9	0.80	10		16		25
6				16	4.40	10	0.15	11		21	2.00	37
7				20		13		12		17	3.60	44
8			8.70	17	2.80	13	3.30	12		28		44
9	2.10			17		14	4.80	10		36	20.40	9
10	1.00			19	1.10	14	1.00	9	4.30	12	3.60	9
11		14	3.50	20		16		11	0.30	13	2.70	9
12		14		20		18	1.20	14		15	4.60	9
13		16		22		24	8.00	13		19	12.00	7
14		18	1.20	22	11.50	14		18	1.10	25	4.10	6
15	5.00	19		10		12		23		27	8.10	5
16		20		12		13		27	0.60	31	10.80	3
17	0.20	22		12	7.10	15		30		15		4
18		26		13		14		35		19	2.00	6
19		29		15		16		15		26		
20	0.40	30		17	3.90	18	4.20	26		28		
21		32	8.90	15		19	1.50	24		30		
22		35		12		22		24		32		
23		10	15.70	7		23		25		35		
24		12		8	10.50	17		10		38		
25		14	0.90	10		10		9		14		
26		15		11		10		13		18		
27		19		14		11	9.50	14		21		
28		23		17		12		13		23		
29		25		17	11.40	7	10.00	18		28		
30	6.20	27	3.40	14	8.00	8		19		31		
31		12			12.00	7		12	2.90	32		
Total	14.90	-	42.30	-	107.20	-	93.15	-	34.50	-	76.80	-
Max.	6.20	35	15.70	22	34.50	24	20.30	35	11.80	38	20.40	45
Pro.	2.48	20.57	6.04	15.23	9.75	13.55	6.30	15.65	4.31	22.13	6.12	20.00

PP= Precipitación, cb = lectura de tensiómetro en centibar.

Las celdas marcadas de color verde indican la fecha en que se realizó el riego de acuerdo a la lectura del tensiómetro.

Tabla 22. Registro de precipitación diaria (mm) y lectura de tensiómetros (cb) para el tratamiento T2

N°	ago.		sep.		oct.		nov.		dic.		ene.	
	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb
1				20		12	20.30	6	11.80	15		29
2				23		12	5.00	7	6.50	9	2.10	30
3				24	34.50	9	14.30	8	7.00	12	2.80	19
4				8		5	9.10	10		15		22
5				10		7	0.80	9		17		27
6				13	4.40	10	0.15	8		22	2.00	30
7				16		10		8		25	3.60	20
8			8.70	19	2.80	11	3.30	7		30		21
9	2.10			10		12	4.80	9		10	20.40	8
10	1.00			11	1.10	13	1.00	9	4.30	12	3.60	8
11		14	3.50	12		13		10	0.30	14	2.70	7
12		14		11		16	1.20	13		18	4.60	5
13		16		12		19	8.00	10		23	12.00	5
14		17	1.20	11	11.50	22		13	1.10	15	4.10	6
15	5.00	19		11		12		16		16	8.10	5
16		23		14		13		22	0.60	20	10.80	2
17	0.20	25		16	7.10	11		25		23		3
18		12		17		13		28		25		7
19		15		19		14		15		15		
20	0.40	19		20	3.90	15	4.20	19		20		
21		20	8.90	13		18	1.50	20		24		
22		23		11		13		25		27		
23		24	15.70	9		16		28		13		
24		12		8	10.50	19		16		16		
25		13	0.90	10		10		22		20		
26		18		12		12		25		23		
27		22		14		14	9.50	27		26		
28		24		17		18		16		16		
29		12		22	11.40	8	10.00	10		18		
30	6.20	14	3.40	13	8.00	7		8		23		
31		16			12.00	6			2.90	26		
Total	14.90	-	42.30	-	107.20	-	93.15	-	34.50	-	76.80	-
Máx.	6.2	25	15.7	24	34.5	22	20.3	28	11.8	30	20.4	30
Prom.	2.48	17.71	6.04	14.20	9.75	12.58	6.30	14.97	4.31	18.97	6.12	14.11

PP= Precipitación, cb = lectura de tensiómetro en centibar.

Las celdas marcadas de color verde indican la fecha en que se realizó el riego de acuerdo a la lectura del tensiómetro.

Tabla 23. Registro de precipitación diaria (mm) y lectura de tensiómetros (cb) para el tratamiento T3

N°	ago.		sep.		oct.		nov.		dic.		ene.	
	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb	PP	cb
1				9		12	20.30	7	11.80	6		19
2				9		13	5.00	8	6.50	7	2.10	33
3				10	34.50	8	14.30	8	7.00	8	2.80	37
4				12		8	9.10	9		10		38
5				13		9	0.80	9		12		40
6				15	4.40	9	0.15	10		14	2.00	46
7				17		12		13		15	3.60	48
8			8.70	8	2.80	12	3.30	14		18		40
9	2.10			7		12	4.80	14		20	20.40	8
10	1.00			9	1.10	14	1.00	13	4.30	12	3.60	7
11		10	3.50	11		9		9	0.30	11	2.70	7
12		12		10		8	1.20	12		16	4.60	6
13		12		11		9	8.00	10		21	12.00	4
14		14	1.20	14	11.50	11		13	1.10	24	4.10	5
15	5.00	17		8		9		15		12	8.10	2
16		16		8		10		17	0.60	12	10.80	2
17	0.20	18		13	7.10	8		19		13		3
18		8		14		11		20		18		6
19		9		17		12		20		20		
20	0.40	8		18	3.90	13	4.20	12		12		
21		11	8.90	13		15	1.50	13		16		
22		13		10		17		17		19		
23		15	15.70	7		17		22		20		
24		16		7	10.50	11		24		22		
25		6	0.90	9		7		10		12		
26		7		11		8		13		16		
27		9		13		9	9.50	17		19		
28		12		16		10		15		21		
29		16		17	11.40	5	10.00	16		23		
30	6.20	19	3.40	13	8.00	4		8		13		
31		21			12.00	5			2.90	16		
Total	14.90	-	42.30	-	107.20	-	93.15	-	34.50	-	76.80	-
Máx.	6.2	21	15.7	18	34.5	17	20.3	24	11.8	24	20.4	48
Pro.	2.48	12.81	6.04	11.63	9.75	10.23	6.30	13.57	4.31	15.42	6.12	19.50

PP= Precipitación, cb = lectura de tensiómetro en centibar.

Las celdas marcadas de color verde indican la fecha en que se realizó el riego de acuerdo a la lectura del tensiómetro.

Anexo 2. Resultados de las evaluaciones realizadas

Tabla 24. Rendimiento de ajo (*Allium Sativum L.*) en kg ha⁻¹

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III		
1	7775	8538	10375	26688	8896
2	11638	10500	9800	31938	10646
3	8213	9025	9088	26325	8775
TOTAL	27625	28063	29263	84950	

Tabla 25. Altura de planta de ajo (*Allium Sativum L.*) en cm.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III		
1	57.42	70.30	58.22	185.94	61.98
2	61.12	65.42	66.62	193.16	64.39
3	62.10	66.10	60.24	188.44	62.81
TOTAL	180.64	201.82	185.08	567.54	63.06

Tabla 26. Diámetro de bulbo de ajo (*Allium Sativum L.*) por planta en cm.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III		
1	4.96	5.65	7.03	17.64	5.88
2	7.64	6.98	6.40	21.02	7.01
3	5.49	6.23	5.97	17.69	5.90
TOTAL	18.09	18.86	19.40	56.35	6.26

Tabla 27. Altura de bulbo por planta de ajo (*Allium Sativum L.*) en cm.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III		
1	3.58	3.73	4.37	11.68	3.89
2	5.15	4.55	4.37	14.07	4.69
3	3.53	3.68	4.01	11.22	3.74
TOTAL	12.26	11.96	12.75	36.97	4.11

Tabla 28. Número de bulbillos de ajo (*Allium Sativum L.*) por planta

(Datos originales)

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III		
1	7.60	8.90	13.00	29.50	9.83
2	13.70	13.10	12.30	39.10	13.03
3	10.40	12.70	11.70	34.80	11.60
TOTAL	31.70	34.70	37.00	103.40	11.49

Tabla 29. Número de bulbillos de ajo (*Allium Sativum L.*) por planta.

[Datos transformados con $Y=(X)^{1/2}$]

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III		
1	2.76	2.98	3.61	9.35	3.12
2	3.70	3.62	3.51	10.83	3.61
3	3.22	3.56	3.42	10.21	3.40
TOTAL	9.68	10.17	10.53	30.38	3.38

ANEXO 3. Características del tensiómetro utilizado (marca IRROMETER)

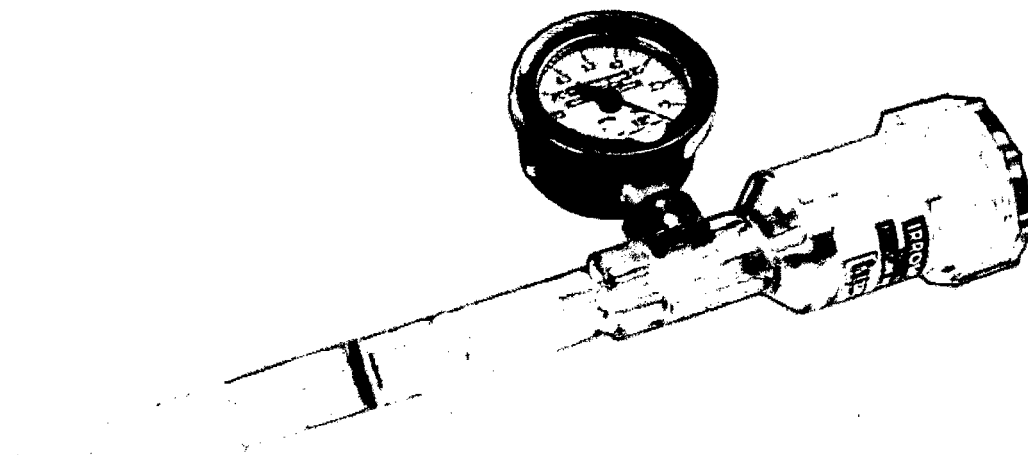


Figura 8. Descripción de las principales características del tensiómetro

Característica	Descripción
Cápsula cerámica.	Es roscada, especialmente formulada para responder instantáneamente a las variaciones de nivel de humedad en el suelo.
Vacuómetro hermético (0-100 cb).	Presenta un diafragma especial que sirve para compensar por las variaciones en la temperatura ambiental y en la presión barométrica.
Tapa hermética.	Sirve para reponer el nivel de líquido en el tubo, basta aflojar la tapa para que el líquido de reserva descienda del depósito.
Depósito.	Con capacidad suficiente para lograr el relleno correcto del tubo a lo largo de varios ciclos de riego.
Juntas totalmente estancas.	No permiten la entrada de aire en el vacuómetro, que modificaría la precisión de las lecturas.
Tubo.	Fabricado de un plástico especial totalmente resistente a las condiciones ambientales y reacciones químicas del suelo.

ANEXO 4. Panel fotográfico

a. Aforo de aspersor en parcela experimental



b. Instalación de pluviómetro



c. Preparación de tensiómetros



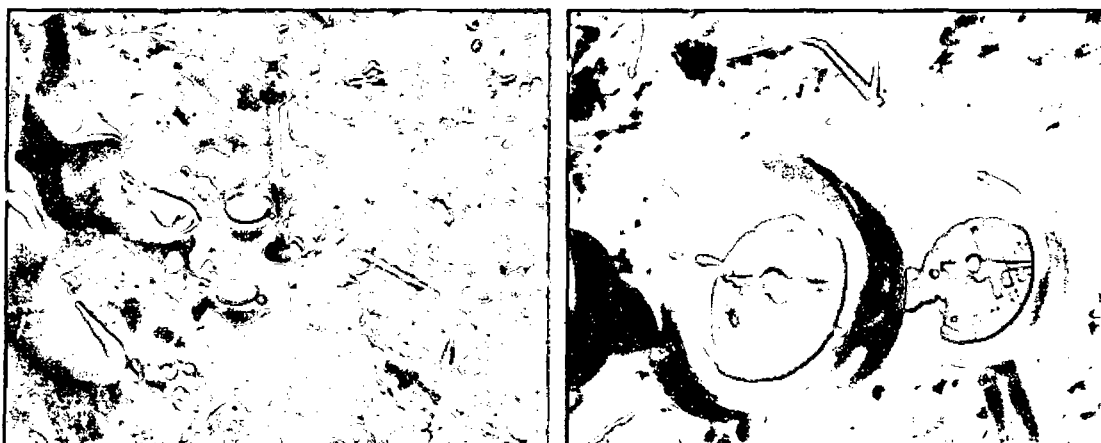
d. Llenado de tensiómetros con líquido HIRROMETER y preparación de hoyo



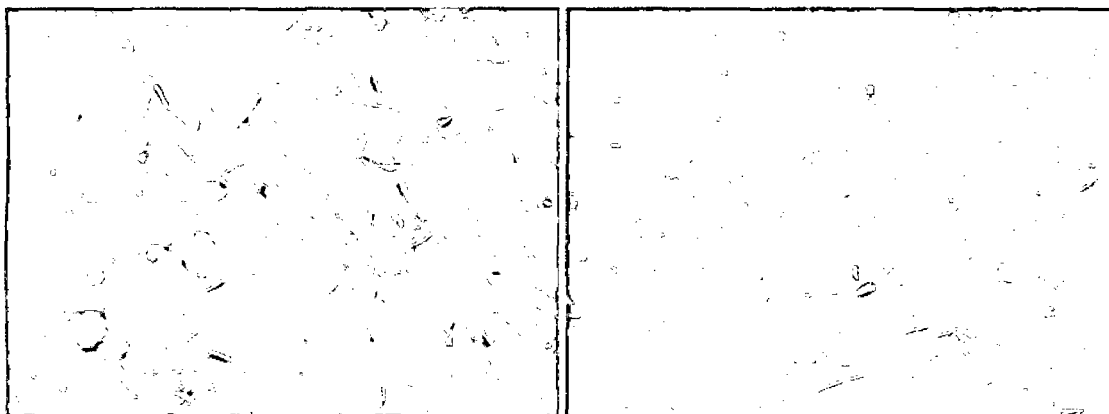
e. Instalación de tensiómetros en parcela experimental



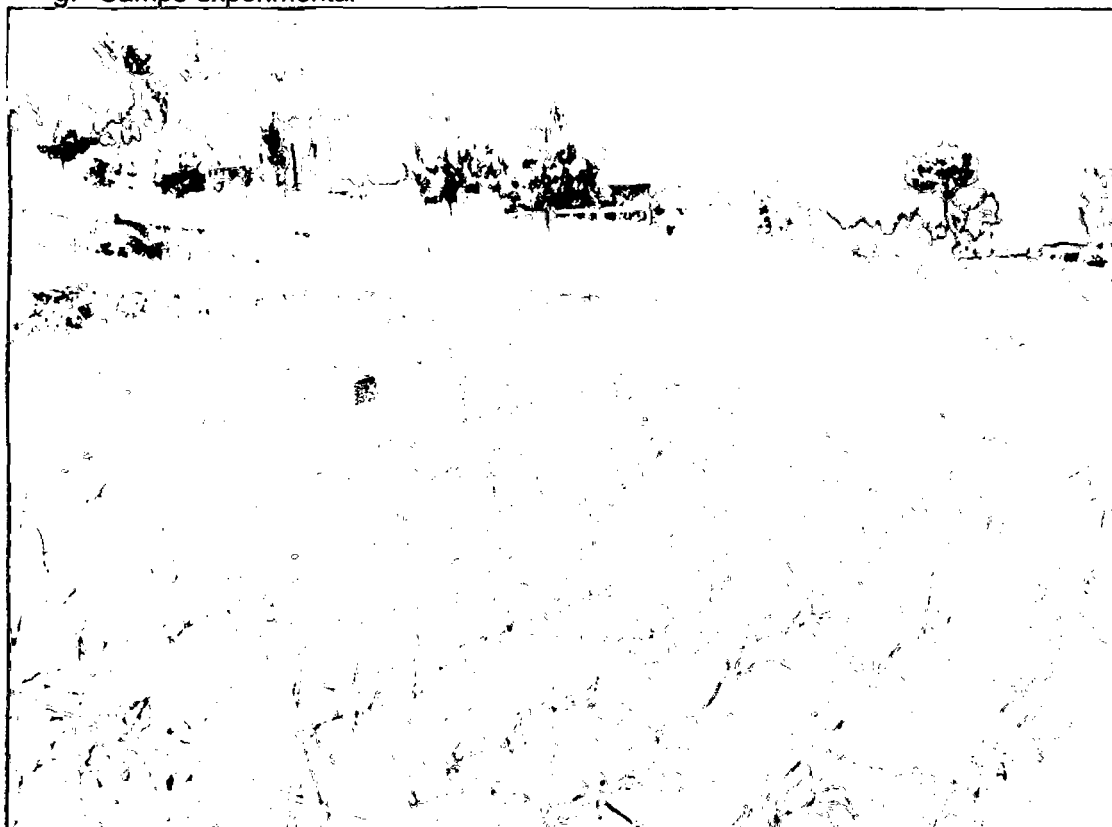
f. Calibración de tensiómetros.



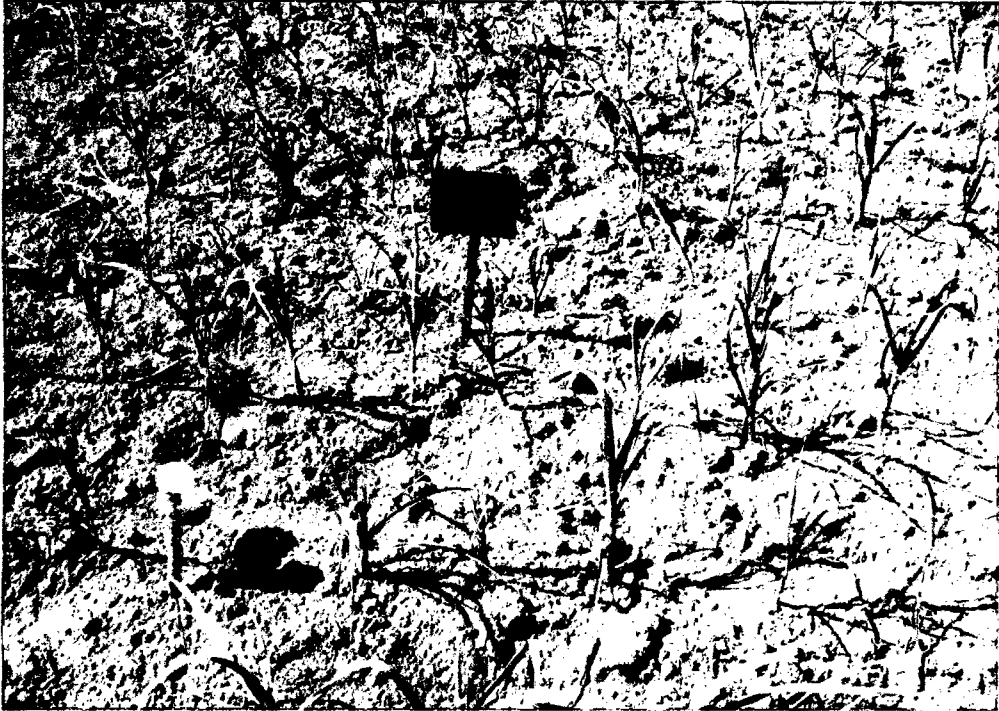
k. Crecimiento del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.)



g. Campo experimental



➤ Tratamiento T1



➤ Tratamiento T2



➤ Tratamiento T3

