

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EFFECTO DEL TIPO DE CUBIERTA TÚNEL Y FERTILIZACIÓN
NITROGENADA EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO
DEL PUERRO (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)**

José Luis Gutierrez Garcia

**La Paz, Bolivia
2005**

**Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Agronomía
Carrera de Ingeniería Agronómica**

**EFFECTO DEL TIPO DE CUBIERTA TÚNEL Y FERTILIZACIÓN
NITROGENADA EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO
DEL PUERRO (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)**

**Tesis de Grado presentada como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo**

José Luis Gutierrez Garcia

Asesores:

Ing. M. Sc. Jorge Guzmán Calla

Ing. M. Sc. Celia Fernández Chávez

Comité Revisor:

Ing. Rafael Díaz Soto

Ing. Eduardo Oviedo Farfán

APROBADA

Decano:

Ing. M. Sc. Jorge Pascuali Cabrera

**La Paz, Bolivia
2005**

Dedicatoria:

Con amor, gratitud,
admiración y respeto a mi
querida madre: María
Cleofé García de
Gutierrez, quien me ha
enseñado a luchar en la
vida para forjarme un
mañana mejor. Asimismo, a
mi amada esposa Irene y
mi querido hijo Saúl.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer:

A Dios, por permitirme concluir la carrera y nunca apartarse de mi lado.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, por haberme cobijado en sus aulas.

Al señor Decano de la Facultad de Agronomía Ing. M. Sc. Jorge Pascuali Cabrera y en especial al señor Vicedecano Ing. M. Sc. Félix Rojas Ponce, por su colaboración y confianza en mi persona.

A los asesores Ing. M. Sc. Jorge Guzmán Calla e Ing. M. Sc. Celia Fernández Chávez, por brindarme su amistad así como su constante apoyo y colaboración desinteresada.

A los señores revisores Ing. Eduardo Oviedo Farfán, Ing. Rafael Díaz Soto e Ing. Victor Churquina Mamani, por las acertadas observaciones que contribuyeron a enriquecer la investigación.

A mi señor padre Luis Jorge Gutierrez Flores, como a mis queridos hermanos: Vicky, Lupe, Wilson y Lidia por su cariño. Asimismo, a mis estimados suegros Andrés y Martha como a mi cuñada Carola por el apoyo brindado.

A todos mis amigos y compañeros de la Facultad en especial a: Eloy, Henry, Gonzalo, René y Felipe por compartir su amistad sincera.

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x

ÍNDICE GENERAL

I INTRODUCCIÓN.....	1
II OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
2.3 Hipótesis.....	3
III REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 Ambientes protegidos.....	4
3.1.1 Generalidades de los túneles.....	4
3.1.2 Túneles destapables y móviles.....	5
3.1.3 Dimensiones.....	5
3.1.4 Materiales de aislamiento.....	6

3.1.5 Aspectos físico ambientales.....	6
3.1.5.1 Orientación.....	6
3.1.5.2 Iluminación.....	7
3.1.5.3 Humedad y ventilación.....	7
3.2 El nitrógeno.....	8
3.2.1 El nitrógeno en la planta.....	8
3.2.2 Absorción del nitrógeno por la planta.....	8
3.2.3 Funciones del nitrógeno.....	9
3.2.4 Síntomas de deficiencia de nitrógeno.....	9
3.2.5 Fertilizantes nitrogenados.....	10
3.2.5.1 Nitrato de amonio.....	10
3.3 El puerro (<i>Allium ampeloprasum</i> (L.) var. <i>porrum</i> J. Gay.)	11
3.3.1 Origen.....	11
3.3.2 Descripción taxonómica.....	11
3.3.3 Composición química.....	12
3.3.4 Botánica del puerro.....	12
3.3.5 Variedades.....	14
3.3.6 Requerimientos del cultivo.....	15
3.3.6.1 Clima.....	15
3.3.6.2 Suelo.....	15
3.3.6.3 Riego.....	16
3.3.6.4 Fertilización.....	16
3.4 Análisis de costos.....	17
3.4.1 Presupuesto parcial.....	17
3.4.2 Costos variables.....	17
3.4.3 Precio de campo de un insumo.....	17
3.4.4 Tamaño de la parcela.....	17
3.4.5 Rendimientos ajustados.....	18
3.4.6 Precio de campo del producto.....	18
3.4.7 Beneficio bruto de campo.....	18
3.4.8 Beneficio neto.....	18

3.4.9	Análisis de dominancia.....	19
3.4.10	Tasa de retorno marginal.....	19
3.4.11	Relación beneficio / costo.....	19
IV	MATERIALES Y MÉTODO.....	20
4.1	Localización.....	20
4.2	Materiales.....	21
4.2.1	Material biológico.....	21
4.2.2	Material de campo y equipo.....	21
4.2.2.1	Construcción de túneles.....	21
4.2.2.2	Riego.....	22
4.2.3	Insumos agrícolas.....	22
4.3	Diseño experimental.....	22
4.3.1	Descripción de los factores de estudio.....	23
4.3.2	Tratamientos.....	23
4.3.3	Descripción del campo experimental.....	24
4.3.4	Croquis del experimento.....	24
4.4	Método experimental.....	25
4.4.1	Preparación del almácigo.....	25
4.4.2	Siembra.....	25
4.4.3	Muestreo de suelo.....	25
4.4.4	Preparación del terreno de cultivo.....	25
4.4.5	Instalación del sistema de riego.....	26
4.4.6	Delimitación de las unidades experimentales.....	26
4.4.7	Trasplante.....	26
4.4.8	Construcción de los túneles.	27
4.4.9	Evaluación de prendimiento.....	27
4.4.10	Aplicación del fertilizante.....	27
4.4.11	Labores culturales.....	28
4.4.12	Cosecha.....	28
4.4.13	Obtención de datos experimentales.....	28

4.4.14	Análisis de los costos.....	29
4.5	Variables estudiadas.....	29
4.5.1	Variables de producción.....	29
4.5.1.1	Rendimiento en materia verde	29
4.5.1.2	Rendimiento en materia seca	29
4.5.1.3	Altura de la planta.....	29
4.5.1.4	Diámetro del tallo falso	30
4.5.1.5	Diámetro del bulbo falso	30
4.5.1.6	Número de hojas	30
4.5.2	Variables económicas.....	30
4.5.2.1	Precio de campo del producto.....	30
4.5.2.2	Rendimientos ajustados	30
4.5.2.3	Beneficio bruto	31
4.5.2.4	Beneficio neto	31
4.5.2.5	Tasa de retorno marginal.....	31
4.5.2.6	Relación beneficio / costo	31
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
5.1	Características del suelo.....	32
5.2	Características agroclimáticas.....	33
5.3	Efecto de los tratamientos en el cultivo.....	35
5.3.1	Rendimiento en materia verde.....	35
5.3.1.1	Tipos de cubierta túnel.....	35
5.3.1.2	Bloques dentro de tipos de cubierta.....	36
5.3.1.3	Fertilización nitrogenada.....	36
5.3.1.4	Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada.....	36
5.3.1.5	Análisis de efectos simples para el rendimiento en materia verde.....	37
5.3.2	Rendimiento en materia seca.....	40

5.3.2.1	Tipos de cubierta túnel.....	40
5.3.2.2	Bloques dentro de tipos de cubierta.....	41
5.3.2.3	Fertilización nitrogenada.....	41
5.3.2.4	Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada.....	42
5.3.2.5	Análisis de efectos simples para el rendimiento en materia seca del puerro.....	42
5.3.3	Altura de planta.....	45
5.3.3.1	Tipos de cubierta túnel.....	45
5.3.3.2	Bloques dentro de tipos de cubierta.....	46
5.3.3.3	Fertilización nitrogenada.....	46
5.3.3.4	Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada.....	46
5.3.4	Diámetro del tallo falso.....	50
5.3.4.1	Tipos de cubierta túnel.....	50
5.3.4.2	Bloques dentro de tipos de cubierta.....	51
5.3.4.3	Fertilización nitrogenada.....	51
5.3.4.4	Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada.....	52
5.3.5	Diámetro del bulbo falso.....	52
5.3.5.1	Tipos de cubierta túnel.....	53
5.3.5.2	Bloques dentro de tipos de cubierta.....	53
5.3.5.3	Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada.....	53
5.3.5.4	Fertilización nitrogenada.....	53
5.3.6	Número de hojas por planta.....	55
5.3.6.1	Tipo de cubierta túnel.....	55
5.3.6.2	Bloques dentro de tipos de cubierta.....	55
5.3.6.3	Fertilización nitrogenada.....	56
5.3.6.4	Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada.....	56

5.7	Análisis de costos.....	57
5.7.1	Descripción de los costos.....	57
5.7.2	Beneficios netos.....	58
5.7.3	Análisis de dominancia.....	59
5.7.4	Análisis marginal.....	60
5.7.5	Relación beneficio / costo.....	61
5.8	Relación entre las variables estudiadas.....	63
5.8.1	Relación entre el rendimiento en materia verde y la altura de planta.....	63
5.8.2	Relación entre el rendimiento en materia verde y el diámetro del tallo falso.....	64
5.8.3	Relación entre el rendimiento en materia verde y el diámetro del bulbo falso.....	65
VI	CONCLUSIONES.....	66
VII	RECOMENDACIONES.....	70
VIII	LITERATURA CONSULTADA.....	71
IX	ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE CUADROS

1. Composición química del puerro por cada 100 g de parte comestible cruda.....	12
2. Detalle de los tratamientos con los factores de estudio en el cultivo del puerro (<i>Allium ampeloprasum</i> (L.) var. <i>porrum</i> J. Gay.).....	23
3. Análisis físico químico del suelo experimental.....	32
4. Registro de temperaturas, humedad relativa y precipitación en la localidad de Tiwanaku 2001-2002.....	33
5. Análisis de varianza para el rendimiento en materia verde en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	35
6. Análisis de varianza de los efectos simples del tipo de cubierta túnel en la fertilización nitrogenada respecto al rendimiento en materia verde del puerro en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	37
7. Análisis de varianza para el rendimiento en materia seca del puerro en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	40
8. Análisis de varianza de los efectos simples del tipo de cubierta túnel en la fertilización nitrogenada respecto al rendimiento en materia seca del puerro en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	42
9. Análisis de varianza para la altura de planta del puerro en cm.....	45
10. Análisis de varianza de los efectos simples del tipo de cubierta túnel en la fertilización nitrogenada respecto a la altura de planta en cm.....	47
11. Análisis de varianza para diámetro del tallo falso en mm.....	50
12. Prueba de Duncan en el factor fertilización nitrogenada para el diámetro del tallo falso en mm.....	51
13. Análisis de varianza para diámetro del bulbo falso en mm.....	52
14. Prueba de Duncan en el factor fertilización nitrogenada para el diámetro del bulbo falso en mm.....	54
15. Análisis de varianza para el número de hojas por planta.....	55
16. Costos de producción de los tratamientos para el cultivo de puerro bajo túneles en $\text{Bs}\cdot\text{ha}^{-1}$	57
17. Comparación de los beneficios netos de los tratamientos para el cultivo del puerro.....	58
18. Análisis de dominancia de los tratamientos para el cultivo del puerro.....	59
19. Análisis marginal de los tratamientos para	

el cultivo del puerro.....	60
20. Relación beneficio / costo de los tratamientos para el cultivo de puerro.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Descripción de la planta de puerro.....	13
2. Ubicación del área experimental en la comunidad Khasa Achuta.....	20
3. Croquis experimental.....	24
4. Temperaturas registradas en la localidad de Tiwanaku gestión 2001-2002.....	34
5. Efecto de la interacción de los factores en el rendimiento en materia verde.....	38
6. Efecto de la interacción de los factores en el rendimiento en materia seca.....	43
7. Efecto de la interacción de los factores en la altura de planta.....	48
8. Curva de Beneficios netos de los tratamientos no dominados.....	62
9. Relación del rendimiento en materia verde con la altura de planta.....	63
10. Relación del rendimiento en materia verde con el diámetro de tallo falso.....	64
11. Relación del rendimiento en materia verde con el diámetro del bulbo falso.....	65
12. Curva de normalidad para el rendimiento en materia verde del puerro (<i>Allium ampeloprasum</i> (L.) var. <i>porrum</i> J. Gay.) en t·ha ⁻¹	75
13. Curva de normalidad para el rendimiento en materia seca del puerro (<i>Allium ampeloprasum</i> (L.) var. <i>porrum</i> J. Gay.) en t·ha ⁻¹	75
14. Curva de normalidad para la altura de planta del puerro (<i>Allium ampeloprasum</i> (L.) var. <i>porrum</i> J. Gay.) en cm.....	76
15. Curva de normalidad para el diámetro de tallo falso del puerro (<i>Allium ampeloprasum</i> (L.) var. <i>porrum</i> J. Gay.) en mm.....	76
16. Curva de normalidad para el diámetro del bulbo falso del puerro (<i>Allium ampeloprasum</i> (L.) var. <i>porrum</i> J. Gay.) en mm.....	77
17. Corte transversal del túnel de cubierta simple.....	87
18. Corte transversal del túnel de cubierta doble.....	87
19. Almacigo del cultivo de puerro.....	88

20. Medición del área experimental.....	88
21. Instalación del riego por goteo.....	89
22. Preparación de los túneles.....	89

RESUMEN

Con el propósito de estudiar el comportamiento agronómico del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en dos tipos de cubierta túnel, y tres niveles de nitrógeno con nitrato de amonio al 33,5 %, se efectuó el experimento en la población de Khasa Achuta ubicada en Tiwanaku, tercera sección de la provincia Ingavi a 72 km de la ciudad de La Paz. Geográficamente a 16 ° 27 ' y 16 ° 40 ' de latitud sur, 68 ° 35' y 68 ° 57 ' de longitud oeste, altitud de 3843 m, temperatura promedio de 7,9 ° C. Se emplearon semillas de puerro variedad Monstruoso de Carentan, fierros en el anclaje de los túneles, tubos de polietileno flexible en la estructura y agrofilm mas nylon transparente como cubiertas con 1,0 m de ancho, 0,85 m de alto y 36 m de largo. Seis fueron los tratamientos de la combinación de dos tipos de cubierta túnel simple y doble con 0, 50 y 100 kg N·ha⁻¹. La semilla fue almacenada, se trasplantó a 0,30 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. La aplicación del nitrato de amonio fue localizada y en dos partes, 50 % tres semanas después del trasplante y dos semanas después el resto. La cosecha fue a 156 días de la siembra, permitiendo rechazar la hipótesis nula respecto al comportamiento agronómico similar bajo las cubiertas simple y doble, ya que los rendimientos fueron significativamente diferentes. La utilización de una doble cubierta túnel fue más apropiada reflejando un rendimiento mayor de 4,134 kg·m⁻², superior en 1,256 kg·m⁻² a los 2,878 kg·m⁻² obtenido con cubierta simple. La fertilización nitrogenada también afectó al rendimiento, con la aplicación de 100 kg N·ha⁻¹ se tuvo 3,996 kg·m⁻², y con 50 kg N·ha⁻¹ el promedio fue 3,822 kg·m⁻², reportando una diferencia de 0,174 kg·m⁻², no significativa, pero amplia diferencia de ambas respecto a 0 kg N·ha⁻¹, del que se obtuvo 2,7 kg·m⁻². Por lo tanto se recomienda emplear la cubierta doble con 50 kg N·ha⁻¹, por proporcionar resultados de 4,678 kg·m⁻², y al incrementar nitrógeno se obtuvo 4,781 kg·m⁻² con costos mayores. Económicamente, se recomienda el tratamiento de cubierta túnel simple con 100 kg N·ha⁻¹ por su relación beneficio-costo de 1,55. El análisis

marginal asignó una amplia ventaja al mismo con una tasa de retorno marginal del 709 %, significando un aumento en el beneficio neto en 7,09 veces, respecto a los costos, valor que fue adecuado y superior a la mínima aceptable del 100 %.

Abstract

With the purpose of studying the agronomic behavior of the leek (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) in two types of covered tunnel, and three nitrogen levels based on ammonium nitrate to 33,5 %, it was carried out the experience in the population of Khasa Achuta, located in Tiwanaku, third section of the county Ingavi, to 72 km of the of the La Paz city. Geographically it is located at 16° 27 ' and 16° 40 ' South latitude, 68° 35 ' and 68° 57 ' West longitude, with altitude of 3843 m, environmental half temperature of 7,9 ° C. It was used: "Monstrous of Carentan" leek variety, irons in the anchorage of the tunnels, tubes of flexible polyethylene in the structure and agrofilm with transparent nylon as covered, with measures: wide 1,0 m, long 36 m and high 0,85 m. The six treatments were of the combination of two types of covered tunnel (simple and double) with 0, 50 and 100 kg N·ha⁻¹. The seed was seeded, after it was transplanted 0,30 m between furrows and 0,20 m among plants. The ammonium nitrate was applied in form located in two parts, 50 % three weeks after the transplant and two weeks later the rest. The crop took place 156 days after the seed, obtaining data that allowed to reject the null hypothesis regarding the similar agronomic behavior under the simple and double covers, because the yields were significantly different. The use of the double covered tunnel was more appropriate reflecting a bigger yield of 4,134 kg·m⁻², superior in 1,256 kg·m⁻² at the 2,878 kg·m⁻² obtained with simple cover. The nitrogen also affected to the yield, it is so, with the application of 100 kg N·ha⁻¹ one had 3,996 kg·m⁻², and with 50 kg N·ha⁻¹ the average was 3,822 kg·m⁻², not reporting a difference of 0,174 kg·m⁻², significant, but wide difference of both regarding 0 kg N·ha⁻¹, of what was obtained 2,7 kg·m⁻². Therefore the experience of the investigation work, allows recommending the employment of the type of double cover with 50 kg N·ha⁻¹. Because this combination provided results of 4,678 kg·m⁻², and when increasing nitrogen it was obtained 4,781 kg·m⁻² but incurring in more costs. Economically, the best treatment was tunnel simple cover with 100 kg N·ha⁻¹, a relationship benefit-cost of 1,55; the

marginal analysis also gave it a wide advantage with a rate of marginal return of 709 % that meant an increase in the net profit in 7,08 times, regarding the costs, this value was adapted and superior to the minimum of 100 %.

I INTRODUCCIÓN

El altiplano boliviano ocupa aproximadamente un 33 % del total de nuestro territorio y corresponde a terrenos con altitudes por encima de los 3800 m. En ellos no existe una amplia diversidad de cultivos tal como en otras zonas del país. Los cambios bruscos de temperatura tanto en el día como en la noche, permiten cultivar especies propias de la región. Asimismo, las heladas que se presentan en gran parte del año ocasionan pérdidas considerables, por ello, el productor no tiene acceso a nuevos cultivos sobre todo en la producción hortícola.

El cultivo de hortalizas es afectado por las temperaturas bajas y precipitaciones escasas, ello repercute sobre todo en los cultivos a cielo abierto, ya que éstos son perjudicados por la época fría del año. Por ello surgieron maneras de proteger los cultivos con cubiertas artificiales, entre ellas: invernaderos, carpas solares, walipinis, camas orgánicas, túneles, etc. De esta manera se logra crear un microclima que permita el desarrollo y crecimiento del cultivo para el que se emplee.

No se tienen reportes, respecto a trabajos de investigación referidos al cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) bajo túneles en el altiplano. Sin embargo, la respuesta de las hortalizas en general es favorable cuando se las protegen con estos, además que se puede cultivar en periodos de temperaturas bajas, (Raymond, 1985). Asimismo, al fertilizar el suelo con nitrógeno, se proporciona a la planta un macroelemento fundamental para el crecimiento del follaje. Esto especialmente en las hortalizas cuyos órganos de consumo incluyen las hojas, (Huerres, 1991) y el puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), es una de ellas.

El problema radica en que no existe producción de hortalizas durante la época invernal en el altiplano. Las temperaturas bajas en el periodo de marzo a septiembre, provocan que los cultivos detengan su desarrollo y crecimiento o peor aún que estos mueran.

Los ambientes protegidos minimizan los efectos climáticos negativos, de tal modo que el cultivo responde mejor dentro de estos. Sin embargo, su elevada inversión inicial, impide que el productor pueda emplearlos como una alternativa viable en su economía. Es por ello que se pretende minimizar los costos, para brindar opciones de producción con la utilización de túneles, para el cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.). Aparte del clima, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo es fundamental para obtener rendimientos aceptables en hortalizas de hoja. Por lo que se proponen dosis de fertilización nitrogenada con nitrato de amonio al 33,5 % de nitrógeno.

El trabajo de investigación pretende aportar con información respecto a túneles, que son ambientes protegidos caracterizados por una baja inversión inicial. Asimismo, por su fácil instalación y manejo, no es muy exigente en la preparación técnica para su utilización, se pretende además complementar con el reporte de la respuesta agronómica de la especie a diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Así se puede ofrecer ésta información al productor hortícola de la zona del altiplano.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del tipo de cubierta túnel y fertilización nitrogenada en el comportamiento agronómico del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

2.2 Objetivos específicos

- Estudiar el comportamiento agronómico del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) bajo dos tipos de cubierta túnel.
- Comparar el comportamiento agronómico del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada.
- Evaluar la relación beneficio-costo de los tratamientos.

2.3 Hipótesis

- No existen diferencias en el comportamiento agronómico del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), bajo los dos tipos de cubierta túnel.
- Los niveles de fertilización nitrogenada, no afectan al comportamiento agronómico del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)
- La relación beneficio-costo es similar para todos los tratamientos.

III REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Ambientes protegidos

Según Alpi (1991), los ambientes protegidos proporcionan a los cultivos condiciones de temperatura y humedad apropiadas para su desarrollo. Asimismo, acortan su ciclo vegetativo para obtener cultivos totalmente fuera de temporada

Los ambientes protegidos en el altiplano y valles dependen exclusivamente de la radiación solar y pocas veces se usa otra fuente de energía. Desde un punto de vista técnico-productivo, ayudan a prolongar la época de producción del año. Asimismo, posibilitan el cultivo de especies agrícolas en estaciones no adecuadas para la zona, (Hartmann, 1990)

3.1.1 Generalidades de los túneles

Según Blanco *et al.*, (1999), los túneles son construcciones de forma alargada y cubiertos con materiales traslúcidos en forma de arco. Estos pueden tener varios metros de longitud con el fin de evitar la pérdida de materiales.

Hartmann, (1990) indica que los túneles son utilizados para la producción de cultivos anuales en el altiplano, así como a principios o fines de invierno. En los valles se utilizan durante todo el invierno. Su característica es conservar el calor y crear un microclima en su interior. Estos son de construcción muy sencilla pues consiste en arcos de fierro o tubos de PVC cubiertos de agrofilm y pueden ser fijos, destapables y móviles.

Según Fersini (1979), los túneles son instalaciones técnicas destinadas al forzamiento parcial del ciclo vegetativo de las hortalizas. Todos son capaces de

producir condiciones termohidrométricas favorables alrededor de cada planta o del cultivo para el que se utilice.

3.1.2 Túneles destapables y móviles

Según Alpi (1991), un perfeccionamiento del túnel se realiza mediante jaulas o armaduras de cinco metros de largo, sobre las que se coloca la lámina de plástico, luego se sujetan los extremos por un sistema de tirantes muy sencillo. De esta manera se puede levantar y bajar a uno de sus lados y así se puede realizar el intercambio de aire.

Según Hartmann (1990), los túneles destapables tienen la capacidad de ser utilizados durante todo el desarrollo del cultivo. Debido a que la cubierta de agrofilm se puede levantar durante el día para airear, facilitar el riego, y otras labores culturales, en la noche se debe volver a cubrirlo nuevamente.

Los túneles pueden ser fijos o móviles según se establezcan al terreno en forma definitiva o no, esto puede efectuarse mediante cimientos y anclajes profundos, Por otra parte estos pueden desarmarse y trasladarse con facilidad de un lugar a otro, (Fersini, 1979)

3.1.3 Dimensiones

Según Alpi (1991), el rendimiento térmico del túnel es mayor cuanto mayor es su dimensión, debiendo ser lo más grande posible, por lo general varía entre 50 y 150 cm de ancho y entre 40 y 60 cm de alto. Las distancias entre los soportes varían según el tamaño.

Según Hartmann (1990), las dimensiones de los túneles varían según los cultivos y los recursos disponibles en cuanto a material. Por lo general el ancho fluctúa entre los 90 y 150 cm y el alto entre 40 y 60 cm dependiendo del ancho de la

lámina de agrofílm, características de la especie a cultivar, número de surcos que se desea cubrir y las condiciones locales de topografía.

3.1.4 Materiales de aislamiento

Alpi (1991), menciona que para reducir los gastos que suponga la mano de obra y la instalación de los sistemas de renovación del aire se va difundiendo la utilización de láminas o filmes de plástico conocidas comercialmente como agrofílm que permiten un aislamiento térmico eficiente.

Hartmann, (1990) afirma que en regiones frías como el altiplano la temperatura baja a más de lo apropiado, así que para el buen crecimiento de las plantas se puede utilizar polietileno regular, con varias ventajas, entre ellas la más importante es su bajo costo.

Según Raymond, (1985) para una mejor protección del frío es importante que exista una capa de aire entre las plantas y la superficie de los filmes de los túneles.

3.1.5 Aspectos físico ambientales

3.1.5.1 Orientación

Según Blanco *et al.*, (1999), la orientación contribuye a lograr la máxima captación de luz solar y de calor durante el día, por lo que se consideran algunos aspectos para la ubicación correcta de los túneles, como:

- Trayectoria entre la naciente y poniente del sol
- Dirección de los vientos dominantes
- Sistemas de ventilación
- Disposición de los cultivos dentro del túnel

Con estos aspectos recomiendan orientarlos ligeramente al noreste de 15 ° a 20 °.

Según Hartmann (1990), el túnel debe orientarse hasta 20 ° hacia el norte, de esta manera el eje longitudinal estará de Este a Oeste, con el objeto de captar la mayor cantidad de radiación solar.

3.1.5.2 Iluminación

Según Bernat y Martínez (1987), la iluminación cumple una función importante en el crecimiento y formación definida de las plantas, flores y frutos pues de ella depende la fotosíntesis.

Según Fersini (1979), la intensidad de la luz es muy importante para un adecuado fotoperiodismo de las especies cultivadas, lo cual se da de mejor manera con el uso de materiales translúcidos como el plástico.

3.1.5.3 Humedad y ventilación

Según Hartmann (1990), la humedad dentro de ambientes protegidos está relacionada con la cantidad de agua existente en el suelo. Asimismo, la mayoría de las plantas se desarrolla en ambientes donde la humedad relativa fluctúa entre el 30 y 70 %, debajo del 30 % las hojas y tallos se marchitan. Sin embargo, en humedades relativas por encima del 70 % la incidencia de enfermedades es un problema serio.

La ventilación debe ser bien controlada para poder evitar el enfriamiento excesivo dentro del túnel, por ello se aconseja ventilar durante las horas de mayor calor y radiación solar que usualmente se da entre las 10 : 00 y 16 : 00, por otra parte, en días nublados, es mejor reducir éste periodo al mínimo, (Hartmann, 1990)

3.2 El nitrógeno

3.2.1 El nitrógeno en la planta

Según Domínguez (1997), el nitrógeno es un constituyente de los más importantes compuestos y complejos orgánicos minerales de la planta, el contenido del mismo varía entre el 2 y 4 % de la materia seca total.

López (1994) y Gross (1981), afirman que el nitrógeno es un macroelemento primario móvil, que se encuentra en las plantas cumpliendo funciones trascendentes de su fisiología mejorando la nutrición de la planta. Participa en el proceso de fotosíntesis, síntesis de proteínas, activación de enzimas y otras funciones bioquímicas.

El nitrógeno tiene importancia vital para la nutrición de la planta y su suministro puede ser controlado por el hombre, para ser absorbido por la mayoría de las plantas debe estar disponible en forma diferente que la del nitrógeno elemental, (Tisdale,1991).

3.2.2 Absorción del nitrógeno por la planta

Domínguez (1997), afirma que el nitrógeno es absorbido en las formas: nítricas como ión nitrato NO_3^- , amoniacal como ión amonio NH_4^+ , siendo ambos metabolizados por la planta. La primera es absorbida preferentemente en un pH bajo, y la segunda a bajas temperaturas.

El nitrógeno incorporado al suelo es rápidamente absorbido por las raíces. Se traslada a diferentes partes de la planta especialmente a las hojas. En especies

herbáceas a los tallos, debido a que también realizan fotosíntesis pero en menor proporción, (Bidwell, 1993).

Las formas de nitrógeno más frecuentemente asimiladas por las plantas, son los iones nitrato NO_3^- y amonio NH_4^+ , pero indiferentemente en que éstos son absorbidos, se transforman en el interior de las plantas a las formas de $-\text{N}=\text{}$, $-\text{NH}-$, ó $-\text{NH}_2$, este nitrógeno reducido es elaborado en compuestos más complejos y finalmente transformado en proteínas, (Tisdale, 1991)

3.2.3 Funciones del nitrógeno

Rodríguez (1982), indica que, si hay suficiente cantidad de nitrógeno se produce:

Mayor cantidad de clorofila

Mayor asimilación y síntesis de productos orgánicos

Mayor vigor vegetativo, aumento en el volumen y peso debido a los alargamientos celulares, como la multiplicación celular

Color verde intenso de las hojas por la mayor cantidad de clorofila

Mayor producción de hojas sanas con el aumento de su contenido proteico

Pérez (1994), afirma que la esencialidad del nitrógeno se debe a que forma parte de las proteínas, bases nitrogenadas, coenzimas, clorofila, alcaloides, etc.

El nitrógeno tiene importancia vital para la nutrición de la planta, es parte integral de la clorofila; un adecuado suministro del mismo es asociado con un crecimiento vigoroso, color verde intenso, (Tisdale,1991)

3.2.4 Síntomas de deficiencia de nitrógeno

Domínguez (1997), cita que el síntoma característico de su deficiencia es una clorosis generalizada de la planta y comienza por las hojas más viejas. También

se pueden apreciar amarillamientos que se extienden desde la punta de las hojas por el nervio central, hasta abarcar toda ella. En casos graves las plantas se marchitan y mueren.

Según Rodríguez (1991) y Huerres (1982), son síntomas generales de deficiencia de nitrógeno: un menor crecimiento, debilitamiento de la planta, amarillamientos, desecación de las hojas a partir de los ápices, necrosis y caída de hojas.

3.2.5 Fertilizantes nitrogenados

3.2.5.1 Nitrato de amonio

Según Chilón (1997), los nitratos se pueden aplicar ventajosamente poco antes de la iniciación del crecimiento principal. Su eficiencia se resume en un aporte casi inmediato de nitrógeno al suelo, el cual es requerido durante el desarrollo vegetativo de la planta.

Los nitratos como fertilizantes son completamente solubles y cuando se añaden al terreno, el ión nitrato es fácilmente absorbido por las raíces de las plantas. Asimismo, son susceptibles a perderse por filtración en condiciones de fuertes lluvias y suelos de textura gruesa. También lo proporcionan los microorganismos del suelo en la descomposición de residuos orgánicos, (Tisdale, 1988)

Gros, (1981) indica que, los nitratos amónicos son todos aquellos productos en los que el nitrato amónico, junto con un inerte, participa en una cantidad más o menos importante.

Fersini, (1979) señala que, los nitratos amónicos se clasifican en tres grupos:

Nitratos amónicos de baja graduación. Muy utilizados anteriormente, ya prácticamente no se emplean. Son de alrededor del 20 % de nitrógeno

Nitratos amónicos de media graduación. Disminuyen progresivamente en beneficio de los de alta graduación, con 26 - 27 % de N

Nitratos amónicos de alta graduación. Son los que más se emplean actualmente en la agricultura, con 33 - 33,5 % de N

3.3 El puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

3.3.1 Origen

Maroto (1994), señala que es de una planta cuyo origen cabe radicarlo en Europa y Asia occidental, donde es conocida desde hace muchos años. Antes, en las batallas los galos colgaban en sus cascos manojos de puerros, como un elemento mágico protector y de ostentación. El célebre emperador romano, Nerón, tomaba puerros para aclarar su voz, por lo que era denominado despectivamente por sus amigos como Porrophagus.

La especie es originaria de la zona comprendida entre el oeste de Portugal y el este de Irán, donde crece como planta silvestre en muchos ambientes y es, precisamente, la región de mayor difusión de esta hortaliza. Desde Eurasia estas especies se diseminaron por todo el mundo hace muchos años, especialmente ajo, cebolla, y puerro llegando a constituirse en cultivos de gran importancia en la mayoría de los países, (Brewster, 1994)

Giaconi y Escaff (1994), mencionan que esta especie es originaria de Suiza pero se encontraron ejemplares silvestres en Argelia.

3.3.2 Descripción taxonómica

Según Tutín (1990), el puerro corresponde a:

Clase	:	Liliopsida
Subclase	:	Lilidae
Orden	:	Liliales

Familia : Liliaceae
 Género : *Allium*
 Especie : *Allium porrum*
 Sinónimo : *Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.
 N. comunes : Puerro, porro, leek, porieau.

La especie fue originalmente descrita como *Allium porrum* por Lineo en 1753 pero, en la segunda edición de "Species Plantarum", sugirió que el puerro podría ser sólo una variedad de *A. ampeloprasum*, lo que llevó a J. Gay a clasificarlo como *Allium ampeloprasum* var. *porrum*, denominación que se usa hasta el presente como sinónimo, (Tutín, 1990)

3.3.3 Composición química

La composición química del puerro por cada 100 g de parte comestible cruda se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química del puerro por cada 100 g de parte comestible cruda

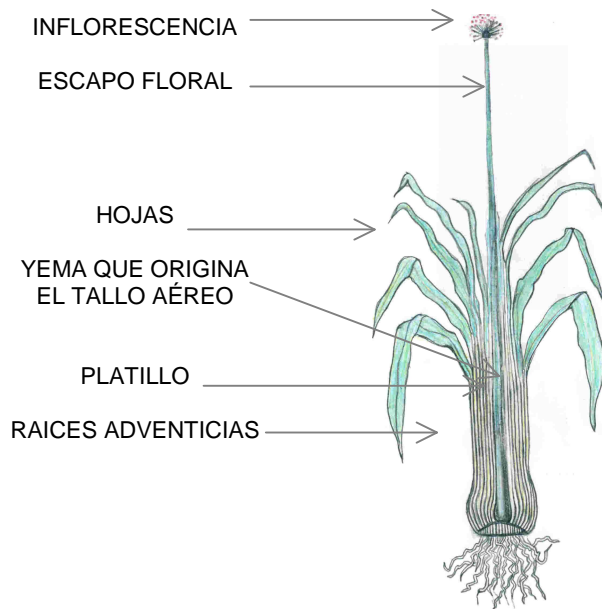
Componente	Contenido	Unidad	Componente	Contenido	Unidad
Agua	85,40	%	Sodio	5,00	mg
Carbohidratos	11,20	g	Vitamina A	40,00	UI
Proteínas	2,20	g	Tiamina	0,10	mg
Lípidos	0,30	g	Riboflavina	0,60	mg
Calcio	52,00	mg	Niacina	0,50	mg
Fósforo	50,00	mg	Ácido ascórbico	17,00	mg
Hierro	0,20	mg	Valor energético	52,00	cal
Potasio	347,00	mg			

Fuente: Maroto, (1994)

3.3.4 Botánica del puerro

Según Brewster (1994), el puerro tiene 32 cromosomas siendo tetraploide, es una variedad de hábito bienal, cuya morfología general es similar a la del ajo, excepto que la planta presenta una apariencia más robusta. El sistema radical, de origen casi exclusivamente adventicio, es superficial con un 90 % concentrado en los primeros 20 cm del suelo, cuenta con numerosas raíces adventicias delgadas de

0,5 a 2 mm de diámetro, con pocas ramificaciones secundarias y desprovistas de pelos radicales, con mayor detalle se lo puede apreciar en la Figura 1.



Fuente: Rodríguez, 2000

Fig.1 Descripción de la planta de puerro

El sistema caulinar está compuesto de un tallo corto y subterráneo denominado platillo, del cual salen hojas cuyas bases lo circundan y recubren. Las hojas son similares a las de ajo pero de mayores dimensiones, con una base de sección circular y una lámina con forma de quilla y alargada.

Las bases enfundadas conforman un prominente falso tallo que constituye el principal órgano de consumo. El puerro normalmente no forma bulbo, aunque hay engrosamiento de la base en algunos cultivares.

Maroto (1994), indica que las semillas son pequeñas, de forma más o menos triangular, con una gruesa testa negra. Las características quizás más reconocidas del género *Allium* son su olor y sabor típicos, dados por compuestos azufrados que son liberados al dañarse o destruirse sus células. Estos compuestos han

generado un renovado interés en el grupo, ya que presentan beneficios cada vez más reconocidos para la salud humana.

También menciona que en términos morfológicos, el órgano de consumo de la especie está formado por el tallo y la base enfundada de las hojas las que son de color blanco y levemente engrosadas, el conjunto de éstas da origen a un prominente falso tallo, por lo mismo, y en estricto rigor, los órganos consumidos son las hojas y no debería considerarse como una hortaliza de bulbo.

3.3.5 Variedades

La literatura reconoce un grado de diversidad más o menos significativo en puerro, diferenciada por: el fuste o largo del falso tallo, color de hojas, resistencia a bajas temperaturas, tendencia a formar bulbo, precocidad, etc. Sin embargo, ésta biodiversidad está dada sólo por dos tipos principales, reconocidos por el largo y diámetro del tallo falso: puerros largos y delgados, como las variedades Large American Flag y Poireau de Gennevilliers, además de puerros cortos y gruesos, como las variedades Malabar y Monstruoso de Carentan, siendo quizás éste último el más utilizado, (Giaconi y Escaff, 1994)

Tiscornia (1982), menciona las variedades:

Monstruoso de Carentan, muy recomendable por su buen tamaño, sabor dulce y resistencia a los fríos; el bulbo es grueso y de color blanco y puede cultivarse todo el año.

De Elbeuf, variedad muy estimada por el bulbo bastante grueso.

De Rouen, variedad de muy buena conservación, bulbo corto, muy grueso y de sabor dulce; las hojas de color verde oscuro, casi grisáceo. Especial para el cultivo de primavera.

Elefante, muy grande, de característica larga y rústica.

Musselburg, blanco largo, resistente al invierno.

De Gennevilliers, muy resistente al invierno. Pie largo, blanco y grueso de excelente calidad.

Largo de Mezieres, en invierno muy buena y una de las más apreciadas, pie grueso y largo muy buena calidad.

Amarillo de Poitou, precoz; de los más recomendables para verano y otoño.

3.3.6 Requerimientos del cultivo

3.3.6.1 Clima

Maroto, (1994) afirma que, la temperatura promedio óptima es de 13 - 24 °C, sin embargo, es bastante resistente al frío

El puerro se adapta a casi todos los climas, aunque de forma general prefiere los templados y secos, sin embargo existen variedades que soportan muy bien los climas fríos y las heladas, (Tiscornia, 1982)

Por otra parte Fersini (1979), señala que prefiere climas templados, mejor si son casi calientes.

3.3.6.2 Suelo

Según Van Haeff (1997), este cultivo prospera mejor en suelos profundos, de textura franco limosa, franca y franco arenoso

El puerro requiere suelos de consistencia media, profundos, livianos y frescos, de textura franco limosa a franco arcillosa, no le convienen suelos excesivamente alcalinos y además resiste muy poco a la acidez, (Maroto, 1994)

Según Vigliola (1986), el puerro al igual que las especies de la familia liliaceae, toleran un pH ligeramente alcalino entre 8,0 y 8,5 además tienen una mediana tolerancia a sales entre 4 a 10 mmhos·cm⁻¹

Tiscornia (1982) y Fersini (1979), señalan que el puerro se adapta perfectamente en suelos sueltos, permeables, profundos y sobre todo ricos en humus por la fertilidad residual de sustancias orgánicas ultradescompuestas.

3.3.6.3 Riego

Maroto (1994), afirma que el gradiente de humedad del suelo se debe mantener en niveles regulares y sin oscilaciones durante el crecimiento activo.

Tiscornia (1982) y Fersini (1979), mencionan que el puerro requiere riego en zonas muy secas, debiéndose trazar surcos o regueras entre una y otra hilera.

3.3.6.4 Fertilización

Según Maroto, (1994), el puerro requiere una fertilización entre 50-100 kg de nitrógeno, 80-100 kg de P₂O₅ y 100-150 kg de K₂O por hectárea.

Gudiel, (1989), señala que el requerimiento de nitrógeno del puerro es de 50-100 kg por hectárea.

De manera general las liliáceas tienen un alto nivel extractivo, por lo que se recomienda una fertilización por hectárea de 90 a 130 kg de nitrógeno, 20 a 40 kg de P₂O₅ y 120 a 180 kg de K₂O, (Huerres, 1991)

3.4 Análisis de costos

3.4.1 Presupuesto parcial

Según CIMMYT (1988), el presupuesto parcial es un método para organizar los datos experimentales, económicamente importantes. Esto con el fin de obtener los costos y beneficios de los tratamientos alternativos y así poder compararlos entre sí logrando realizar los análisis posteriores.

3.4.2 Costos variables

Los costos que varían son los costos por hectárea relacionados con los insumos comprados, que pueden variar según lo exija una determinada tecnología o tratamiento. Estos pueden ser: mano de obra, insumos agrícolas, la maquinaria, equipos especiales, materiales empleados; mismos que varían de un tratamiento a otro, (CIMMYT, 1988)

3.4.3 Precio de campo de un insumo

Según CIMMYT (1988), el precio de campo de un insumo variable, es el valor que se paga para usar una unidad adicional del insumo en la parcela experimental. Por lo tanto se debe expresar en términos de unidades monetarias por las unidades físicas de venta.

3.4.4 Tamaño de la parcela

Los rendimientos calculados con base en parcelas pequeñas a menudo sobreestiman el rendimiento de un campo entero debido a errores cometidos al medir la superficie cosechada. Esto debido a que, las parcelas pequeñas tienden a ser más uniformes que las grandes, (CIMMYT, 1988)

3.4.5 Rendimientos ajustados

El rendimiento ajustado de cada tratamiento es el valor promedio reducido en un cierto porcentaje con el fin de reflejar la diferencia entre el dato experimental y el del agricultor que podría lograr con ese tratamiento. Los rendimientos que se obtienen en condiciones experimentales a menudo son mayores a los que el agricultor lograría con los mismos tratamientos (CIMMYT, 1988)

3.4.6 Precio de campo del producto

Según CIMMYT (1988), el precio de campo del producto se define como: el valor que tiene para el agricultor una unidad adicional de producción en el campo, antes de la cosecha. Para calcularlo se toma el precio que el agricultor recibe (o podría recibir) por el producto cuando lo vende y se le restan todos los costos relacionados con la cosecha y venta, estos son proporcionales al rendimiento. Es decir, los costos que se pueden expresar por kilogramo de producto.

3.4.7 Beneficio bruto de campo

El beneficio bruto de cada tratamiento se calcula multiplicando el precio de campo del producto por el rendimiento ajustado y se expresa en unidades monetarias por rendimiento en peso que puede ser expresado en kg (CIMMYT, 1988)

3.4.8 Beneficio neto

El beneficio neto se calcula restando el total de los costos que varían, del beneficio bruto de campo. De esta manera se tiene la cantidad monetaria que se obtiene de una determinada actividad económica, (CIMMYT, 1988)

3.4.9 Análisis de dominancia

Según CIMMYT (1988), un análisis de dominancia se efectúa primero ordenando los tratamientos de menor a mayor costo, se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos más bajo.

3.4.10 Tasa de retorno marginal

La tasa de retorno marginal es el beneficio neto marginal, es decir, el aumento en beneficios netos dividido por el costo marginal que es el aumento en los costos que varían, expresada en porcentaje. Esto indica lo que se puede esperar ganar en promedio, cuando se decide cambiar una práctica o conjunto de prácticas por otra (CIMMYT, 1988)

3.4.11 Relación beneficio / costo

La relación beneficio costo se calcula a partir del cociente entre el beneficio bruto y el total de los costos que varían. Si una relación es inferior a la unidad significa que se incurre en pérdidas, una relación superior a la unidad significa que la actividad económica es rentable. Asimismo una relación igual a la unidad quiere decir que no se obtienen utilidades pero que se recupera la cantidad invertida, (CIMMYT, 1988)

IV MATERIALES Y MÉTODO

4.1 Localización

El experimento se realizó en la comunidad de Khasa Achuta, Tiwanaku que pertenece a la tercera sección municipal de la provincia Ingavi, ubicada a 72 km de la Ciudad de La Paz, se puede apreciar en detalle en la Figura 2.

FUENTE: Información cartográfica Instituto Geográfico Militar IGM 1980

Fig. 2. Ubicación del área experimental en la comunidad Khasa Achuta

Geográficamente se sitúa entre los paralelos: 16 ° 27 ' y 16 ° 40 ' latitud sur, 68 ° 35 ' y 68 ° 57 ' longitud oeste, su altitud promedio es de 3843 m.

El municipio tiene 640,1 km² y fisiográficamente el 59,8 % de su superficie es llana el 17,7 % colinas y el 22,45 % corresponde a serranías. Esta región es privilegiada en cuanto a vías de acceso, por la existencia de la carretera asfaltada entre Río Seco y Desaguadero.

Respecto a las características agroclimáticas de la región el promedio de temperatura ambiental alcanza a los 7,9 °C existiendo una máxima extrema de 17,6 °C y una mínima extrema de - 12 °C. Asimismo la precipitación promedio es de 673 mm·año⁻¹, (UCB, UAC - Tiwanaku).

4.2 Materiales

4.2.1 Material biológico

El material biológico empleado fue 6 g de semillas de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), en su variedad Monstruoso de Carentan. Las características generales según, (Giaconi, 1994) son: un fuste grueso, hojas

verde intenso, resistente a bajas temperaturas, tendencia a formar bulbo falso y además presenta precocidad.

4.2.2 Material de campo y equipo

4.2.2.1 Construcción de túneles

Fierro de construcción de ½ pulg, tubos de polietileno rígido de ¾ pulg, agrofilm de 250 micras, nylon transparente de 100 micras, estacas, palas, picotas, etc.

4.2.2.2 Riego

Cintas de riego por goteo de 6 milésimas de pulg. de espesor en las paredes marca Chapín, con emisores cada 20 cm.

4.2.3 Insumos agrícolas

El fertilizante utilizado fue nitrato de amonio al 33,5 % de nitrógeno en una cantidad de 1,09 kg.

4.3 Diseño experimental

Por existir una ligera pendiente en el terreno experimental, se empleó el diseño de Bloques Completos al Azar BCA con arreglo jerárquico factorial. Se dispusieron los bloques en sentido perpendicular a la fuente de variabilidad, esto correspondió al modelo aditivo lineal, (Calzada, 1970):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta(\alpha)_{j(i)} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \xi_{ijk}$$

Donde :

- Y_{ijk} : Una observación al azar
 μ : Media general del experimento
 α_i : Efecto del i -ésimo tipo de cubierta túnel
 $\beta(\alpha)_{j(i)}$: Efecto del j -ésimo bloque dentro del i -ésimo tipo de cubierta túnel
 γ_k : Efecto del k -ésimo nivel de fertilización nitrogenada
 $(\alpha\gamma)_{ik}$: Efecto de la interacción del i -ésimo tipo de cubierta para túnel con el k -ésimo nivel de fertilización nitrogenada
 ξ_{ijk} : Error experimental

4.3.1 Descripción de los factores de estudio

Factor A: Tipos de cubierta túnel

a_1 = Túnel de cubierta simple

a_2 = Túnel de cubierta doble

Factor B: Fertilización nitrogenada con nitrato de amonio al 33,5 % de N

b_1 = 0 kg nitrógeno·ha⁻¹

b_2 = 50 kg nitrógeno·ha⁻¹

b_3 = 100 kg nitrógeno·ha⁻¹

4.3.2 Tratamientos

Los tratamientos se obtuvieron a partir de la combinación entre los factores de estudio, tal como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Detalle de los tratamientos con los factores de estudio en el cultivo del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

Factor A		Factor B		
		Fertilización nitrogenada		
		b ₁	b ₂	b ₃
Tipo de cubierta túnel		0 kg nitrógeno·ha ⁻¹	50 kg nitrógeno·ha ⁻¹	100 kg nitrógeno·ha ⁻¹
a ₁	Simple	T ₁ = Cubierta simple con 0 kg N·ha ⁻¹	T ₂ = Cubierta simple con 50 kg N·ha ⁻¹	T ₃ = Cubierta simple con 100 kg N·ha ⁻¹
a ₂	Doble	T ₄ = Cubierta doble con 0 kg N·ha ⁻¹	T ₅ = Cubierta doble con 50 kg N·ha ⁻¹	T ₆ = Cubierta doble con 100 kg N·ha ⁻¹

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Descripción del campo experimental

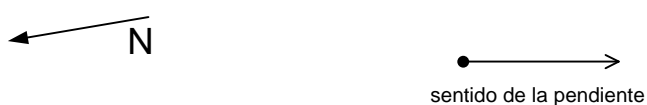
Teniendo en cuenta las limitaciones de espacio que se tiene al cultivar en túneles, además que la especie no requiere grandes espacios entre planta y surco, las unidades experimentales tuvieron las dimensiones:

Superficie del campo experimental..... 72 m²
 Superficie del bloque 12 m²
 Superficie de la unidad experimental..... 4 m²

4.3.4 Croquis del experimento

En la Figura 3. se aprecia la distribución de las unidades experimentales de acuerdo al modelo estadístico, con la particularidad de los bloques anidados dentro del tipo de cubierta túnel, por cuanto el factor que se distribuye al azar en cada bloque es el factor fertilización nitrogenada en sus tres niveles, formando junto a los túnel los seis tratamientos.

Esc.: 1:250



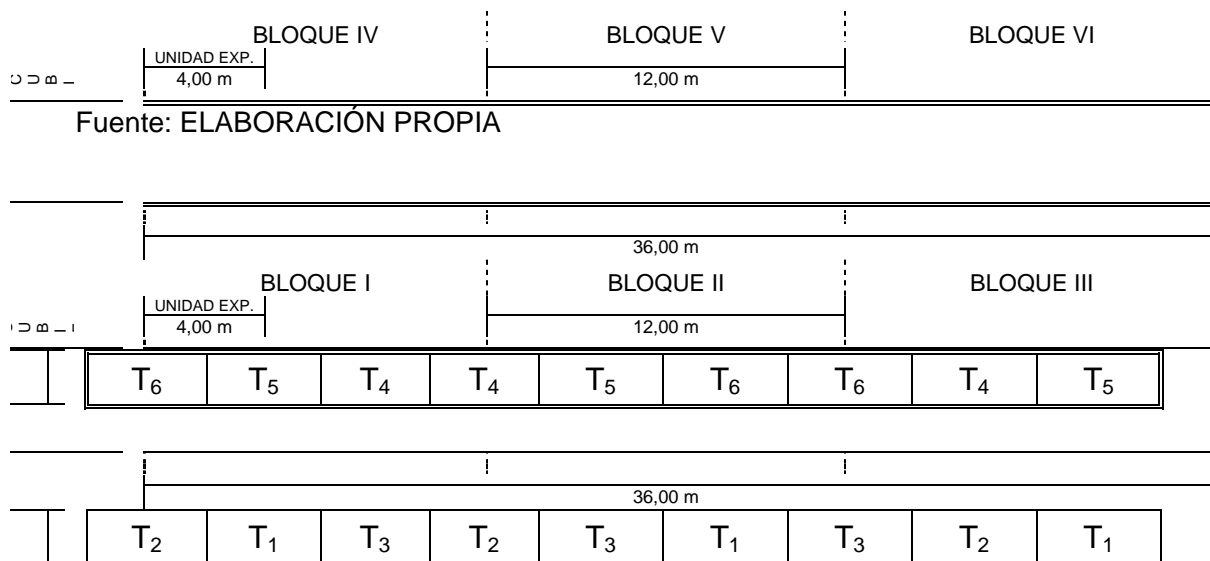


Figura 3. Croquis experimental

4.4 Método experimental

4.4.1 Preparación del almácigo

Para esto se construyó una platabanda de 1,00 m por 1,50 m a 30 cm de profundidad desde la superficie del suelo, el sustrato del almácigo tuvo una relación de turba, arena y tierra del lugar cernida en 1 : 1 : 2. Para finalizar la actividad con una desinfección física con agua por sobre los 80 °C en la primera semana del mes de enero.

4.4.2 Siembra

Luego del nivelado del sustrato se sembró 6 g de semillas de puerro a chorrillo a una densidad de 4 g por m², se cubrió con una capa de tierra cernida de tres veces su diámetro aproximadamente, se regó a capacidad de campo y finalmente se protegió la platabanda con agrofílm a manera de cubierta, para evitar el efecto de las bajas temperaturas por la noche.

4.4.3 Muestreo de suelo

Se obtuvieron 20 submuestras con una pala a una profundidad de 20 a 25 cm siguiendo un recorrido de zigzag sobre el área experimental, luego estas se mezclaron, hasta obtener una muestra de 2 kg de suelo, la que se remitió al laboratorio para su análisis físico y químico.

4.4.4 Preparación del terreno de cultivo

Se efectuó un arada manual utilizando picotas a una profundidad entre 25 a 30 cm, posteriormente el desterronado, nivelado empleando rastrillos eliminando de esta manera piedras para que no interrumpan el desarrollo radicular. Estas actividades se realizaron de manera paralela a las dos anteriores.

4.4.5 Instalación del sistema de riego

Se utilizaron cintas de riego por goteo de 6 milésimas de pulgada de grosor en sus paredes, siendo dispuestas longitudinalmente a los túneles y en el lomo de los surcos para lograr su máxima eficiencia, enterrándose después del trasplante, para evitar la dilatación por la acción del calor.

4.4.6 Delimitación de las unidades experimentales

Con el uso de huincha métrica, pitas y estacas se demarcaron las unidades experimentales, obteniéndose tres bloques al interior de cada túnel, dentro de los que se sortearon al azar los niveles de nitrógeno para obtener los tratamientos planteados. Las dimensiones fueron: 4 m² por unidad experimental, 12 m² por bloque y un total de 72 m² para el campo experimental.

4.4.7 Trasplante

En las primeras horas de la mañana del primer día de experimentación y una vez cumplidos 45 días en almácigo, cuando las plántulas alcanzaron

aproximadamente 15 cm de altura y 2 cm diámetro de tallo falso medido en el primer cuarto desde su base, se extrajeron las mismas para llevarlas al campo experimental, realizando una poda de raíces a 7 cm, se trasplantó a raíz desnuda y en el lomo del surco, cubriendo la totalidad del tallo falso.

Considerando las dimensiones del interior de los túneles se trasplantó con un espaciamiento de 30 cm entre surcos y 20 cm entre plántulas, obteniéndose 21 por surco, 84 por unidad experimental y 1512 como total de plántulas en el experimento.

Cabe recalcar que producto del trasplante las borduras fueron tres filas de plántulas y las cabeceras los dos surcos laterales de los túneles

4.4.8 Construcción de los túneles

Tres días antes del trasplante se hizo la preparación de la estructura de sostén, utilizando piezas cortadas a 70 cm de fierro de ½ pulg. Estas se clavaron 20 cm en el suelo, dejando en la superficie unos 50 cm con el objetivo de sujetar los tubos de polietileno rígido introduciéndolos en las mismas. Luego se formaron los arcos con tubos de 1,90 y 2,20 m. Después se tendió la primera cubierta con nylon transparente de 100 micras para el túnel de cubierta doble y siguiendo el mismo método antes descrito con el agrofilm de 250 micras pero utilizando los tubos de 2,20 m. Para el caso del túnel de cubierta simple se utilizó sólo agrofilm como cubierta las dimensiones fueron: 2,50 m de ancho, 36 m de largo tal como se aprecia en el Anexo 4.

Las dimensiones de los túneles fueron: 1 m de ancho, 36 m de largo y 80 cm de alto para el de cubierta simple y 1,10 m de ancho, 36 m de largo y 95 cm de alto para el túnel de cubierta doble, éstos albergaron a las 18 unidades experimentales y fueron terminados en horas de la tarde del día del trasplante.

4.4.9 Evaluación de prendimiento

A dos semanas del trasplante se pudo constatar un 100 % de prendimiento por lo que no se hizo reposición de plántulas.

4.4.10 Aplicación del fertilizante

A tres semanas del trasplante se aplicó en forma localizada un 50 % del fertilizante, y el resto dos semanas después. Según los niveles de fertilización nitrogenada de 0 kg N·ha⁻¹, 50 kg N·ha⁻¹ y 100 kg N·ha⁻¹ resultaron 59,68 g de nitrato de amonio·UE⁻¹ para el nivel b₂= 50 kg N·ha⁻¹ y 119,36 g nitrato de amonio·UE⁻¹ para el nivel b₂= 100 kg N·ha⁻¹. Considerando el 33,5 % de nitrógeno en total se utilizaron 1,074 kg de fertilizante en el experimento.

4.4.11 Labores culturales

Por la presencia de trips el control fitosanitario fue con aplicación de “Perfecthion” insecticida órgano-fosforado ligeramente tóxico de faja azul y de amplio espectro, de 4 - 5 cc·l⁻¹. Además se empleó “Metiran” un ditiocarbamato de faja verde para prevenir enfermedades fúngicas de 5 – 10 g·l⁻¹, ambos aplicados en el almácigo.

Los cuidados agronómicos incluyeron dos aporques, riegos con frecuencia de tres veces por semana por las mañanas, deshierbes, apertura y cierre de los túneles en horas de mayor temperatura permitiendo el cambio de aire en el interior. Estas labores se realizaron durante todo el ciclo es decir 156 días, en los cuales no se presentaron plagas de importancia ni enfermedades. Esto probablemente por ser una especie nueva en la zona, y porque se cultivó en un terreno donde antes no estuvieron presentes especies de la misma familia.

4.4.12 Cosecha

A 156 días de la siembra, cuando los tallos falsos y bulbos falsos que son la principal parte comestible llegaron a su madurez comercial, se realizó una

cosecha destructiva empleando chontillas procurando no lastimar a las plantas. Cabe hacer notar que la actividad fue el mismo día para todos los tratamientos.

4.4.13 Obtención de datos experimentales

Una vez concluida la cosecha, mediante el pesaje y medición final de los diferentes órganos en estudio de la planta, utilizando para ello muestras de 10 plantas por unidad experimental sorteadas al azar, tomando en cuenta sólo las plantas que no estaban influenciadas por los efectos de borduras y cabeceras por ser un experimento con fertilizante. Se obtuvieron los datos que fueron analizados mediante el programa *The Statistical Analysis System SAS-system V. 6.12*

4.4.14 Análisis de costos

El análisis de costos de los tratamientos se realizó con los datos de rendimiento promedio del cultivo, para éste fin se tomaron en cuenta los precios de mercado de acuerdo al método propuesto por CIMMYT, 1988

4.5 Variables estudiadas

4.5.1 Variables de producción

4.5.1.1 Rendimiento en materia verde

Se determinó pesando muestras de 10 plantas cosechadas de las unidades experimentales. No conformaron la muestra las que estaban influenciadas por efectos de borduras y cabeceras. Posteriormente los datos fueron expresados en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ para su análisis estadístico y para el análisis económico en $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

4.5.1.2 Rendimiento en materia seca

Se pesaron las muestras secas de cinco plantas por unidad experimental. El peso seco se logró colocándolas en una mufla a 120 °C por de 48 horas, hasta que se obtuvo un valor constante. Luego los datos fueron expresados en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Se tomó en cuenta esta variable por ser un dato consistente respecto a la acumulación de biomasa, y permitió aproximarse a la cantidad de agua del puerro.

4.5.1.3 Altura de planta

La altura de planta en cm se obtuvo inmediatamente después de la cosecha tomando en cuenta las diez plantas de la muestra. Para ello se midió la longitud entre la terminación de la raíz y la punta de la última hoja extendida, que es la medida que se utiliza para las liliáceas.

4.5.1.4 Diámetro del tallo falso

Variable que se determinó inmediatamente después de la cosecha en mm, utilizando un vernier. Teniendo en cuenta a las plantas de la muestra, se midió en la parte más diferenciada y cilíndrica del tallo falso, que es la parte central del mismo quiere decir entre los 7 y 9 cm desde su base.

4.5.1.5 Diámetro del bulbo falso

El diámetro del bulbo falso se midió con la utilización de un vernier, obteniendo datos en mm de la parte más abultada del mismo.

4.5.1.6 Número de hojas

Esta variable se obtuvo por conteo directo de las hojas de cada planta de puerro dentro de las diez muestreadas después de la cosecha.

4.5.2 Variables económicas

4.5.2.1 Precio de campo del producto

Variable que se calculó según el precio que se pudo recibir por el producto al venderlo, restándole los gastos relacionados con la cosecha y venta del mismo, precio que se estableció a 1,60 Bs por cada kg de puerro fresco.

4.5.2.2 Rendimientos ajustados

El rendimiento ajustado se calculó en $t\cdot ha^{-1}$ teniendo en cuenta una reducción del 10 % del promedio para cada tratamiento, utilizando los criterios mencionados en CIMMYT, 1988 debido a que: se cultivó en condiciones de experimentación, en parcelas pequeñas donde el manejo es más sencillo y sin pérdidas en la cosecha.

4.5.2.3 Beneficio bruto

El beneficio bruto de cada tratamiento se calculó multiplicando el precio de campo determinado sobre la base de los precios del mercado que fue de 1,60 Bs por kilogramo de producto fresco, por el rendimiento ajustado, expresándolo en $t\cdot ha^{-1}$.

4.5.2.4 Beneficio neto

Se determinó restando el total de los costos de producción del beneficio bruto, expresándolo en $Bs\cdot ha^{-1}$.

4.5.2.5 Tasa de retorno marginal

Se realizó comparando los incrementos en beneficios y en costos por las agregaciones que se hicieron en los tratamientos y se expresaron en porcentajes.

4.5.2.6 Relación beneficio / costo

Se calculó relacionando el beneficio bruto con los costos de producción, para una evaluación económica final, de tal manera que, una relación inferior a 1 significó que se incurrieron en pérdidas y una relación superior a la unidad significó que la actividad económica fue rentable.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Características del suelo

Los resultados del análisis físico químico del suelo se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis físico químico del suelo experimental

Arena	47 %
Arcilla	69 %
Limo	20 %
Clase Textural	YA
Grava	0,1 %
Carbonatos libres	P
pH Agua (1 : 5)	7,71
pH Cl K (1 : 5)	7,70
C. E. mmhos·cm ⁻¹ (1 : 5)	0,664
Cationes de cambio	
Al+H (meq·100 g suelo ⁻¹)	0,07
Ca (meq·100 g suelo ⁻¹)	17,22
Mg (meq·100 g suelo ⁻¹)	8,1
Na (meq·100 g suelo ⁻¹)	0,29
K (meq·100 g suelo ⁻¹)	2,06
TBL	27,67
CIC	27,74
SAT. Bases	99,7 %
Materia Orgánica	3,58 %
Fósforo disponible mg·kg ⁻¹	21,69
Nitrógeno total	0,2 %
Potasio total	0,12 %
Fósforo asimilable	3,38 ppm

Fuente: Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la U.M.S.A

De acuerdo al análisis físico-químico de la muestra de suelo enviada a laboratorio, se tiene una textura areno-arcillosa, lo cual influye en la permeabilidad y el lixiviado de nutrientes. Presenta un pH = 7,7 alcalinidad ligera; la conductividad eléctrica es de 0.664 mmhos·cm⁻¹, no teniendo problemas de acumulación de sales, debido a que es un suelo normal. Por tratarse de un suelo localizado en el altiplano, no contiene altas cantidades de iones de aluminio e hidrógeno sólo 0,07 meq·100 g de suelo⁻¹, lo que incide directamente en su pH. Sin embargo, la presencia de materia orgánica es media por encontrarse entre 2 y 4 % ya que llega al 3,58 % y el fósforo asimilable es de 2,38 ppm que se considera bajo. El nitrógeno total es de contenido medio en 0,2 % de N.

La capacidad de intercambio catiónico CIC, llega a 27,74 meq·100 g de suelo⁻¹ es alta lo que incide en la alta capacidad de retener nutrientes, el grado de saturación de bases es alto de 99,7 %, que favorece a la fertilidad actual del suelo y el ión calcio es el elemento que se halla en mayor proporción con 17,22 meq·100 g de suelo⁻¹ esto incrementa a la movilidad de los cationes de cambio.

5.2 Características agroclimáticas

Las características agroclimáticas de la campaña agrícola 2001-2002, además del período durante el cual se realizó la investigación, de enero hasta junio de 2002, se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Registro de temperaturas, humedad relativa y precipitación en la localidad de Tiwanaku 2001-2002

Mes	Humedad relativa %	Temperaturas °C				Precipitación mm
		Máxima	Mínima	Medio	Amplitud Térmica	
Enero	51	22	2	10	10,4	1,7
	57	25	3	9	13,8	7,2
	57	21	3	12	16,2	5,4

	54	7	,5	,1	5,8	9,3
e	51	7	,6	1,2	5,9	8,6
e	61	6	,8	0,2	5,2	9,6
	65	1	,9	0,0	5,8	99,1
	76	0	,2	0,9	2,2	98,6
	75	7	,1	0,9	2,4	55,7
	72	5	,3	0,9	4,8	87,9
	64	,7	,8	,1	7,5	7,6
	56	,2	,4	,6	9,6	9,9
					Total	400,6

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, 2002

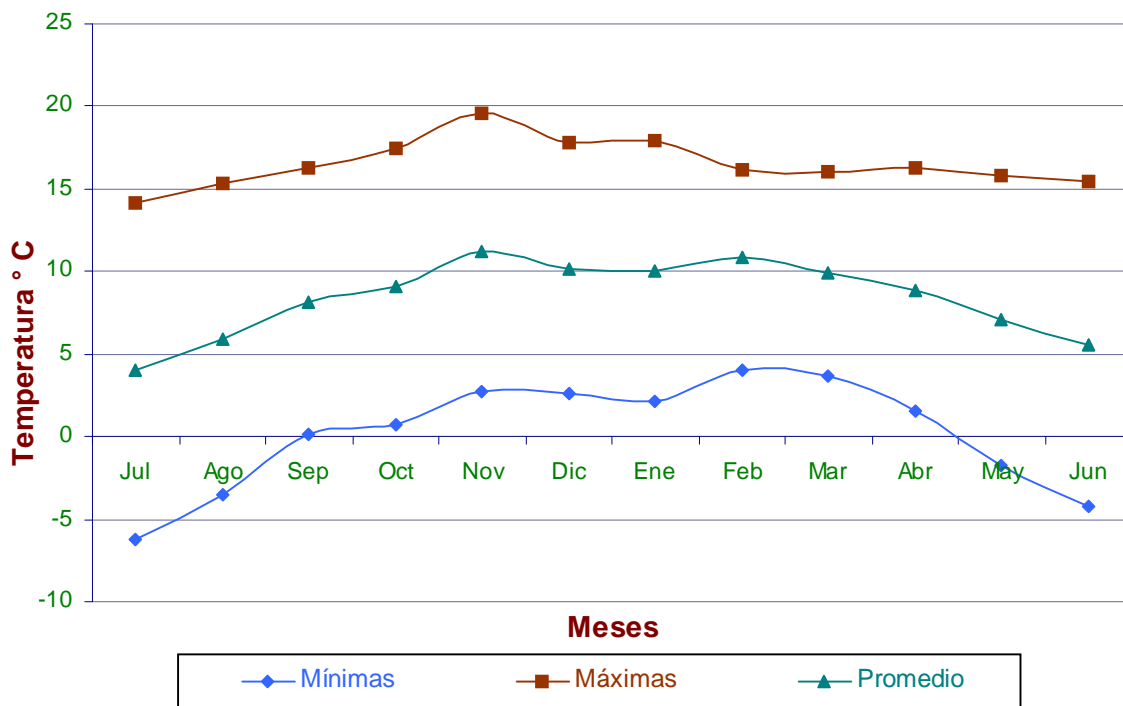


Fig. 4. Temperaturas registradas en la localidad de Tiwanaku gestión 2001-2002

La temperatura promedio ambiente durante el periodo de investigación fue de 8,2 °C, con una amplitud térmica

promedio de 15,4 °C. Durante el día ocurrieron temperaturas similares al promedio y altas, pero durante la noche las temperaturas bajaron considerablemente. Sin embargo cabe hacer notar que en los túneles, se experimentaron promedios más altos de temperatura en relación con el ambiente; y una menor amplitud térmica que fue de 14,0 °C en el túnel de cubierta simple y 12,6 °C en el túnel de cubierta doble, frente a la ambiental de 16,4 °C. Esto mejoró las condiciones de temperatura para el cultivo de puerro en los túneles.

La precipitación pluvial en el período del cultivo fue de 359,0 mm y en la campaña agrícola 2001-2002 fue de 440,1 mm. Ambos registros fueron superiores a los que normalmente se experimenta en la zona, con un promedio de 320 mm los últimos 2 años tal como se muestra en el Cuadro 4, pero por tratarse de un experimento con la utilización de cubiertas la precipitación no intervino directamente.

5.3 Efecto de los tratamientos en el cultivo

5.3.1 Rendimiento en materia verde

En el Cuadro 5. se muestra el análisis de varianza para la variable rendimiento en materia verde, considerada como la más importante porque el puerro se comercializa en verde.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el rendimiento en materia verde en kg·m⁻²

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr
Tipos de cubierta	1	7,104	7,104	11,957	0,0259 *
Bloques dentro de tipos de cubierta	4	2,376	0,594	7,645	0,0077 *
Fertilización nitrogenada	2	5,939	2,969	38,210	0,0001 *
Interacción cubierta x fertilización	2	1,341	0,671	8,629	0,0101 *
Error experimental	8	0,622	0,078		
Total	17	17,382	1,0225		

Coeficiente de variación = 7,95 % Promedio general = 3,506 kg·m⁻²

El coeficiente de variación para el rendimiento en materia verde en kg·m⁻² fue del 7,95 %, considerado aceptable por encontrarse debajo del 30 % recomendado para trabajos en campo. Por lo tanto se puede decir que, el experimento fue bien manejado y los datos obtenidos son confiables. Asimismo, estos datos mostraron normalidad y homogeneidad de varianzas tal como se muestra en el Anexo 1, que son requisitos para la aplicación de cualquier diseño experimental (Calzada, 1970) El promedio general del experimento fue de 3,506 kg·m⁻² en materia verde de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

5.3.1.1 Tipos de cubierta túnel

Los tipos de cubierta túnel simple y doble, reportaron diferencias significativas en rendimiento de materia verde de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) a un nivel de significancia del 5 %, afectando significativamente al cultivo, de tal modo que se obtuvo un mayor promedio bajo la cubierta túnel doble con 4,134 kg·m⁻² y uno inferior bajo túnel de capa simple, con 2,878 kg·m⁻², que se puede atribuir la influencia que ejerce la temperatura sobre los procesos metabólicos de las plantas, (Hartmann, 1990)

5.3.1.2 Bloques dentro de tipos de cubierta

Las diferencias fueron significativas al 5 % de riesgo, por lo tanto, la suposición inicial de variación en el terreno como consecuencia de la pendiente, fue verdadera y se manifestó para el rendimiento en materia verde, con una eficiencia relativa de 241 % y por la utilización del bloques se ganó 141 % de eficiencia.

5.3.1.3 Fertilización nitrogenada

En cuanto al factor fertilización nitrogenada con nitrato de amonio al 33,5 % N, también se encontraron diferencias significativas, observándose mayor promedio bajo el tercer nivel de $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, con $3,996 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Sin embargo, éste no fue estadísticamente superior al del nivel $b_2 = 50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ que dio $3,822 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Además, se presentó un promedio significativamente inferior con el nivel $b_1 = 0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ con $2,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Lo que evidencia que el nitrógeno incorporado al suelo fue rápidamente absorbido por las raíces de la planta, (Bidwell, 1993), presentándose las variaciones en rendimiento ya mencionadas.

5.3.1.4 Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada

La interacción fue estadísticamente diferente al 5 % de significancia, esto indica que los factores fueron dependientes, es decir que el cambio de nivel de un factor afectó significativamente al comportamiento de los niveles del otro. Para cuantificar este resultado se procedió al análisis de los efectos simples.

5.3.1.5 Análisis de efectos simples para el rendimiento en materia verde

En el afán de estudiar cada uno de los niveles del factor fertilización nitrogenada en cada tipo de cubierta túnel, se procedió al análisis de efectos simples, que se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Análisis de varianza de los efectos simples del tipo de cubierta túnel en la fertilización nitrogenada respecto al rendimiento en materia verde del puerro en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Ft
Tipos de cubierta ($0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1	0,358	0,358	4,625	5,32 ns
Tipos de cubierta ($50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1	4,390	4,390	56,648	5,32 *
Tipos de cubierta ($100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1	3,697	3,697	47,707	5,32 *
Error experimental	8	0,62	0,0775		

Mediante el cuadro de análisis de varianza de los efectos simples para el rendimiento en materia verde de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, se puede apreciar que, existen diferencias significativas entre los efectos simples del tipo de cubierta túnel tanto a un nivel de $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ como a $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Esto indica que el rendimiento de la especie fue estadísticamente superior dentro de uno de ellos, que como lo reveló su efecto principal fue dentro del tipo de cubierta doble.

Por otra parte cuando no se empleó nitrógeno el rendimiento fue inferior y similar en ambos tipos de cubierta, posiblemente atribuible sólo al efecto de la temperatura. Afirmación que concuerda con (Hartmann, 1990), quien menciona que todos los procesos fisiológicos de las plantas como: la absorción de nutrientes por las raíces, el crecimiento y expansión de los tejidos, el movimiento de los minerales y agua en raíces, tallos y hojas, dependen en gran manera de la temperatura que afecta directamente a la velocidad con que las plantas crecen. Para ilustrar el análisis de los efectos simples se obtuvo la Figura 5 de promedios de rendimiento en materia verde:

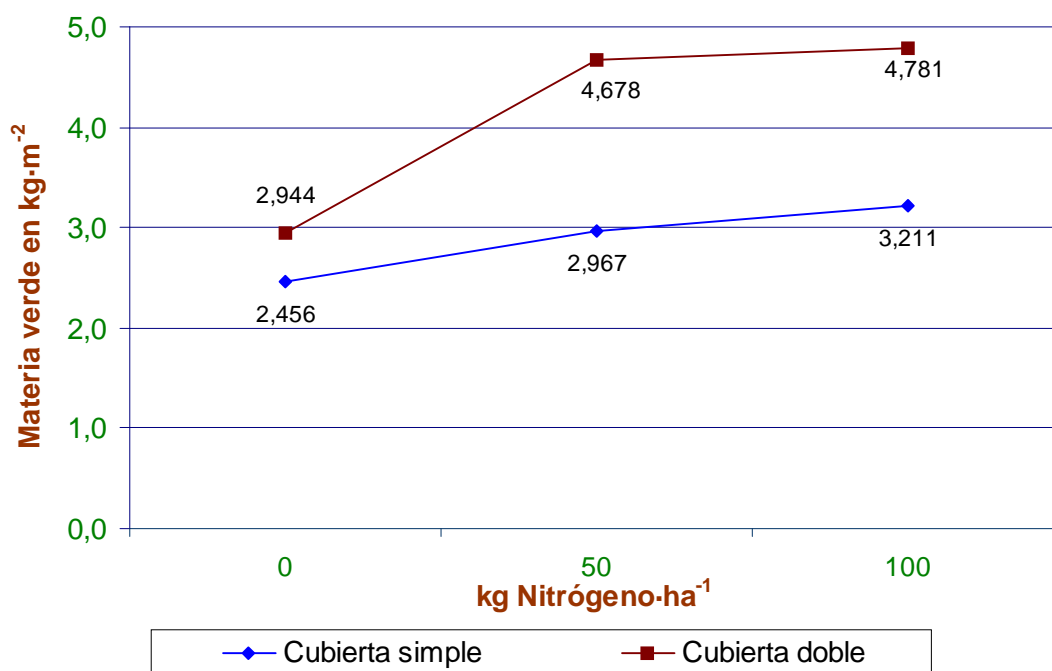


Fig. 5. Efecto de la interacción de los factores en el rendimiento en materia verde

En la Figura 5 se puede apreciar que en el nivel 0 kg N·ha⁻¹ existe una diferencia de 0,488 kg·m⁻² entre los tipos de cubierta, ésta diferencia de los rendimientos en materia verde de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) no fue significativa, indicando un comportamiento similar, con pequeñas diferencias atribuidas al tipo de cubierta túnel.

En tanto que se aprecian diferencias significativas de 1,711 kg·m⁻² en rendimiento entre los efectos simples de los tipos de cubierta túnel con el nivel 50 kg N·ha⁻¹ y de 1,57 kg·m⁻², en el nivel 100 kg N·ha⁻¹, respecto al tipo de cubierta simple.

Mientras que los mayores rendimientos obtuvieron con los tratamientos T₅ y T₆ túnel de cubierta doble con 50 kg N·ha⁻¹ y 100 kg N·ha⁻¹ respectivamente, con 4.678 kg·m⁻² y 4.781 kg·m⁻².

Los resultados obtenidos respecto al rendimiento en materia verde de puerro, pueden deberse a que el cultivo tuvo una mejor respuesta bajo el túnel de cubierta

doble que ofreció una amplitud térmica inferior en 2 °C a la del tipo de cubierta simple, por lo tanto fue más adecuado para el desarrollo del cultivo, debido a que al crearse un espacio de aire entre la planta y el ambiente, se proporcionó condiciones más propicias para un mejor rendimiento, concordando con (Raymond, 1985), quien afirma que para una mejor protección del frío es importante una capa de aire entre las plantas y la superficie de los túneles.

Respecto a la aplicación suplementaria de nitrógeno al suelo como nitrato de amonio al 33,5 %, se observó de igual manera una respuesta favorable al incremento de dicho elemento. Esto se puede atribuir a que cuando existe suficiente nitrógeno se observa más asimilación y síntesis de productos orgánicos, y como consecuencia se obtiene mayor vigor vegetativo por la multiplicación y alargamiento de las células, mayor producción de hojas e incrementos en el follaje, (López, 1994), así como se observó en el incremento los diámetros de bulbo y tallo falso, lo que contribuyó también a mayores rendimientos. Al respecto, (Huerres, 1991), menciona que el nitrógeno es fundamental en la etapa de crecimiento del follaje y cuando se tienen cantidades inferiores las plantas cuyo órgano de consumo incluyen al follaje experimentan bajos rendimientos.

La experiencia del trabajo de investigación, destaca el empleo del tipo de cubierta doble, con el nivel de fertilización nitrogenada de 50 kg·ha⁻¹.

5.3.2 Rendimiento en materia seca

Los resultados del análisis estadístico se detallan en el Cuadro 7, sin embargo cabe mencionar que la especie tuvo una humedad del 78,4 % aproximada al momento de la cosecha.

Cuadro 7. Análisis de varianza para el rendimiento en materia seca del puerro en kg·m⁻²

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr
Tipos de cubierta	1	0,352	0,3525	15,529	0,017 *
Bloques dentro de tipos de cubierta	4	0,090	0,0227	6,394	0,0131 *
Fertilización nitrogenada	2	0,276	0,1378	38,803	0,0001 *
Interacción cubierta x fertilización	2	0,064	0,0322	9,056	0,0088 *
Error experimental	8	0,028	0,0036		
Total	17	0,811	0,0478		

Coeficiente de variación = 7,89 %

Promedio general = 0,756 kg·m⁻²

El coeficiente de variación del 7,89 % es aceptable y menor al 30 % recomendado para la experimentación en campo. Por lo tanto se puede afirmar que el experimento tuvo un buen manejo y los datos obtenidos son confiables. Asimismo, existió normalidad y homogeneidad de varianzas que se muestran en el Anexo 1, considerados como requisitos por (Calzada, 1970.) para la aplicación de los diseños experimentales. El promedio general fue de 0,756 kg·m⁻² en materia seca de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

5.3.2.1 Tipos de cubierta túnel

El factor tipos de cubierta como efecto principal, reportó diferencias estadísticas al 5 % de significancia respecto al rendimiento de materia seca en kg·m⁻². Así entonces la cubierta afectó significativamente a la acumulación de materia seca en el cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) Se obtuvo un mayor promedio bajo el tipo de cubierta doble con 0,896 kg·m⁻² y uno inferior bajo

túnel de capa simple, con $0,616 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. haciendo una diferencia de $0,28 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, esto se atribuye a la menor amplitud térmica dentro del túnel doble, al respecto (Lira, 1994) afirma que la temperatura cumple un rol importante en los procesos fisiológicos, estos a su vez en la cantidad de biomasa producida y acumulada.

5.3.2.2 Bloques dentro de tipos de cubierta

Los bloques dentro del tipo de cubierta túnel simple y doble, dieron diferencias significativas al 5 % de riesgo, por lo tanto la variación en el terreno como consecuencia de la pendiente, se manifestó, resultando una eficiencia relativa de 215 % debida a la utilización del diseño de bloques. Esto significa que se ganó 115 % de eficiencia respecto al diseño completamente al azar.

5.3.2.3 Fertilización nitrogenada

La fertilización nitrogenada con nitrato de amonio al 33,5 % de nitrógeno, mostró diferencias significativas al 5 % de riesgo. Se observó un mayor promedio bajo el nivel de $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ con $0,861 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, pero no fue estadísticamente superior al de $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ con $0,824 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, y un promedio significativamente inferior a los anteriores correspondiente al nivel sin fertilización con $0,582 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Este efecto principal para el rendimiento en materia seca de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) se dio porque el nitrógeno incorporado al suelo fue rápidamente absorbido por las raíces de la planta presentándose las variaciones, (Bidwell, 1993). Asimismo, se mejoró la nutrición de la planta al incrementar el nitrógeno, debido a que este elemento varía del 2 al 4 % en peso de su materia seca total, (Domínguez, 1997)

5.3.2.4 Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada

El efecto de la interacción de tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada, fue significativo al 5 % de riesgo. Esto se refleja en un cambio de comportamiento de los niveles de un factor cuando el otro cambia de nivel, ya que son complementarios en el comportamiento agronómico de la planta. Con el fin de estudiar con mayor énfasis dicha diferencia y establecer la mejor interacción, se hizo el análisis de efectos simples, comenzando con el análisis de varianza del Cuadro 8.

5.3.2.5 Análisis de efectos simples para el rendimiento en materia seca del puerro

El análisis de efectos simples que se muestra en el Cuadro 8 permitió verificar la diferencia de cada nivel del factor fertilización nitrogenada en ambos tipos de cubierta.

Cuadro 8. Análisis de varianza de los efectos simples del tipo de cubierta túnel en la fertilización nitrogenada respecto al rendimiento en materia seca del puerro en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Ft
Tipos de cubierta ($0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1	0,0187	0,0187	5,268	5,32 ns
Tipos de cubierta ($50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1	0,2157	0,2157	60,686	5,32 *
Tipos de cubierta ($100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1	0,1827	0,1827	51,403	5,32 *
Error experimental	8	0,02843	0,0036		

En el Cuadro 8 se puede apreciar que no existen diferencias significativas entre el túnel de cubierta simple con el de cubierta doble cuando en el nivel $0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, existiendo una independencia del factor tipo de cubierta túnel respecto al factor fertilización nitrogenada. Resultando estadísticamente que en los dos niveles los

rendimientos en materia seca presentaron casi el mismo promedio y la escasa diferencia se debió al tipo de cubierta.

Por otra parte, en los niveles de 50 kg N·ha⁻¹ y 100 kg N·ha⁻¹, se observa una respuesta significativamente distinta, y favorable al rendimiento en materia seca obtenido bajo el túnel de cubierta doble. Esto muestra una clara dependencia de ambos factores, debido a que el efecto del incremento de nitrógeno en el suelo no fue similar bajo los niveles manejados en cuanto a la cubierta del túnel. Para conocer mejor el análisis de estos efectos, se obtuvo la Figura 6, con lo que se apoya gráficamente al análisis de varianza del Cuadro 8.

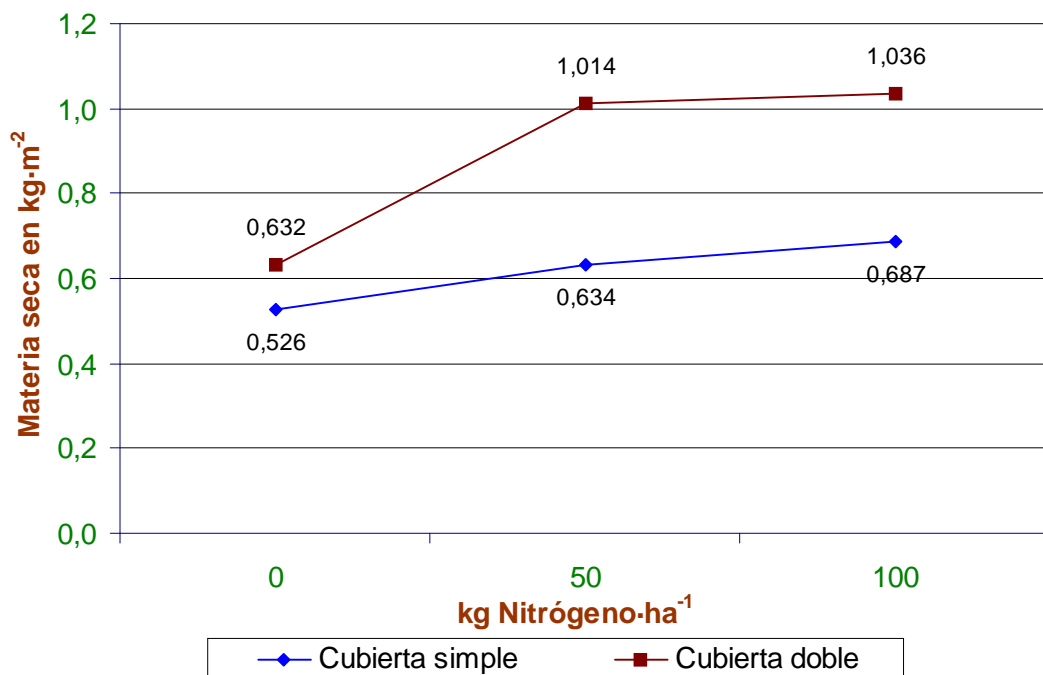


Fig. 6. Efecto de la interacción de los factores en el rendimiento en materia seca

La Figura 6 permite observar que los tratamientos túnel de cubierta doble con 100 kg N·ha⁻¹ y 50 kg N·ha⁻¹, con 0,923 kg·m⁻² y 0,872 kg·m⁻² respectivamente reportaron los mayores rendimientos en materia seca, de ahí que los efectos simples dentro de estos niveles de fertilización son significativos respecto al cultivo bajo túnel de cubierta simple y con los mismos niveles de fertilización.

Asimismo, se aprecia la inferioridad de los efectos en los que participa el nivel 0 kg N·ha⁻¹, encontrándose por debajo de lo obtenido dentro de la cubierta túnel doble. Sin embargo ésta diferencia de 0,112 kg·m⁻² es no significativa como lo demostró al análisis de varianza. Esto se debe principalmente a que, el cultivo tuvo una mejor respuesta bajo el túnel de cubierta doble, que brindó una amplitud térmica promedio inferior de hasta 2 °C. Esto se debe a que al crearse un espacio de aire caliente entre la planta y la superficie del túnel, se le proporcionó condiciones más propicias para el puerro, concordando con (Raymond, 1985) quien afirma que, para una mejor protección del frío es importante una capa de aire entre las plantas y la superficie de los túneles.

Respecto a la fertilización nitrogenada con nitrato de amonio al 33,5 %, se observó una respuesta favorable al incremento del mismo, esto se debe a que, cuando existe suficiente nitrógeno se observa más asimilación y síntesis de productos orgánicos, y como consecuencia se obtiene mejor vigor vegetativo por la multiplicación y alargamiento de las células, mayor producción de hojas incrementando el follaje y por ende la materia seca (Lopez, 1994), tal como en el caso de los incrementos en los diámetros de bulbo y tallo falso. Al respecto, (Huerres, 1991), menciona que el nitrógeno es fundamental en la etapa de crecimiento de la planta, y cuando se tienen cantidades inferiores las plantas cuyo órgano de consumo incluyen al follaje decreciendo en sus rendimientos. Así la absorción de éste elemento se facilita con las condiciones de temperatura que es otro factor importante para la acumulación de biomasa, (Lira, 1994)

El empleo de la doble cubierta, con un nivel de fertilización nitrogenada de nitrato de amonio al 33,5 % a razón de 50 kg nitrógeno·ha⁻¹, fue la combinación que proporcionó mejores resultados en cuanto al rendimiento en materia seca, y al incrementar el nitrógeno se obtuvieron rendimientos similares, cabe hacer notar que la relación entre materia seca y materia verde fue directamente proporcional y

en ambos casos el comportamiento agronómico de la especie fue muy parecido, el contenido promedio de materia seca en la planta fue aproximadamente del 21,6 % y todos los tratamientos estuvieron alrededor de este valor.

5.3.3 Altura de planta

El análisis para la altura de planta fue muy similar a los rendimientos en materia verde y seca y los resultados se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de varianza para la altura de planta del puerro en cm

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr
Tipos de cubierta túnel	1	232,6	232,56	14,43	0,0191 *
Bloques dentro de tipos de cubierta	4	64,5	16,12	7,01	0,0100 *
Fertilización nitrogenada	2	174,0	87,02	37,83	0,0001 *
Interacción cubierta x fertilización	2	25,0	12,52	5,44	0,0322 *
Error experimental	8	18,4	2,30		
Total	17	514,53	30,266		

Coeficiente de variación = 2,5 %

Promedio general = 60,6 cm

El coeficiente de variación del 2,5 % para la altura de planta es aceptable. Asimismo, los datos mostraron una distribución normal y homogeneidad de varianzas tal como se muestra en el Anexo 1. Esto quiere decir que hubo un buen manejo del experimento y expresa la confiabilidad de datos como cita, (Calzada, 1970), el promedio general obtenido fue de 60,6 cm de altura para las plantas del cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

5.3.3.1 Tipos de cubierta túnel

Los tipos de cubierta túnel reportaron diferencias estadísticas al 5 % de significancia, en cuanto a la altura de planta. Asimismo, se reportó como un promedio significativamente superior el obtenido bajo cubierta doble con 64,2 cm

de altura, respecto al cultivo bajo cubierta simple que fue de 57,01 cm, todo esto de acuerdo a la prueba de promedios de Duncan.

5.3.3.2 Bloques dentro de tipos de cubierta

Respecto a los bloques dentro de tipos de cubierta túnel, también se encontraron diferencias significativas, por lo tanto, la suposición inicial de variación en el terreno como consecuencia de la pendiente, se manifestó para la altura de planta, resultando una eficiencia relativa respecto al diseño completamente al azar de 227,8 %. Esto significa que se ganó un 127,8 % de eficiencia, al utilizar bloques para controlar la mencionada fuente.

5.3.3.3 Fertilización nitrogenada

Se encontraron diferencias significativas entre los niveles de la fertilización con nitrato de amonio al 33,5 % de nitrógeno, respecto a la altura de planta en cm para el cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.). Así resultó el nivel de 100 kg N·ha⁻¹ con 63,5 cm de altura como mejor promedio, seguido de 50 kg N·ha⁻¹ con 61,98 cm.

Sin embargo, ambos niveles no son significativamente diferentes entre sí, pero significativamente superiores al nivel sin fertilización con el que se obtuvo un promedio de 56,3 cm de altura. Esto reveló la prueba de Duncan al 5 %. Al respecto (Rodríguez, 1991), menciona que el nitrógeno influye en el crecimiento y desarrollo de la planta, determina el balance del crecimiento vegetativo, estimulando el aumento del número y tamaño de sus células foliares.

5.3.3.4 Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada

La interacción entre ambos factores fue significativa al 5 % de riesgo. Es decir que se manifestó una dependencia mutua entre ambos factores y como consecuencia,

un cambio de nivel del factor tipos de cubierta túnel afectó significativamente al comportamiento de todos los niveles del factor fertilización nitrogenada y viceversa. Para tener mayor información de las interacciones y así saber cuál de los tratamientos fue superior; se procedió al análisis de los efectos simples del Cuadro 10.

Cuadro 10. Análisis de varianza de los efectos simples del tipo de cubierta túnel en la fertilización nitrogenada respecto a la altura de planta en cm

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Ft
Tipos de cubierta (0 kg N·ha ⁻¹)	1	56,303	56,303	24,474	5,32 *
Tipos de cubierta (50 kg N·ha ⁻¹)	1	61,985	61,985	26,944	5,32 *
Tipos de cubierta (100 kg N·ha ⁻¹)	1	63,536	63,536	27,618	5,32 *
Error experimental	8	18,404	2,3005		

Mediante el análisis de varianza de los efectos simples se aprecia que, existen diferencias significativas al 5 % de riesgo. Esto quiere decir que existió una marcada superioridad en el tamaño promedio de las plantas cultivadas bajo el túnel de cubierta doble, respecto a lo obtenido en la cubierta simple.

Asimismo, se obtuvieron incrementos significativos a medida que se aumentó la cantidad de nitrógeno aplicada al suelo, a niveles de 50 kg N·ha⁻¹ y 100 kg N·ha⁻¹. Esto se tradujo en una respuesta favorable en la altura de planta. Tales aseveraciones concuerdan con (Hartmann, 1990) quien afirma que, los procesos fisiológicos de las plantas como: la absorción de nutrientes por las raíces, la expansión de los tejidos, el movimiento de los minerales y agua en raíces, tallos y hojas, dependen en gran manera de la temperatura y afectan directamente al crecimiento de las mismas.

Las diferencias encontradas se atribuyen a las condiciones térmicas, que fueron mejoradas con la utilización de los tipos de cubierta túnel, facilitando la absorción

del nitrógeno disponible en el suelo por medio de las raíces del cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), mismas que se pueden apreciar gráficamente en la Figura 7.

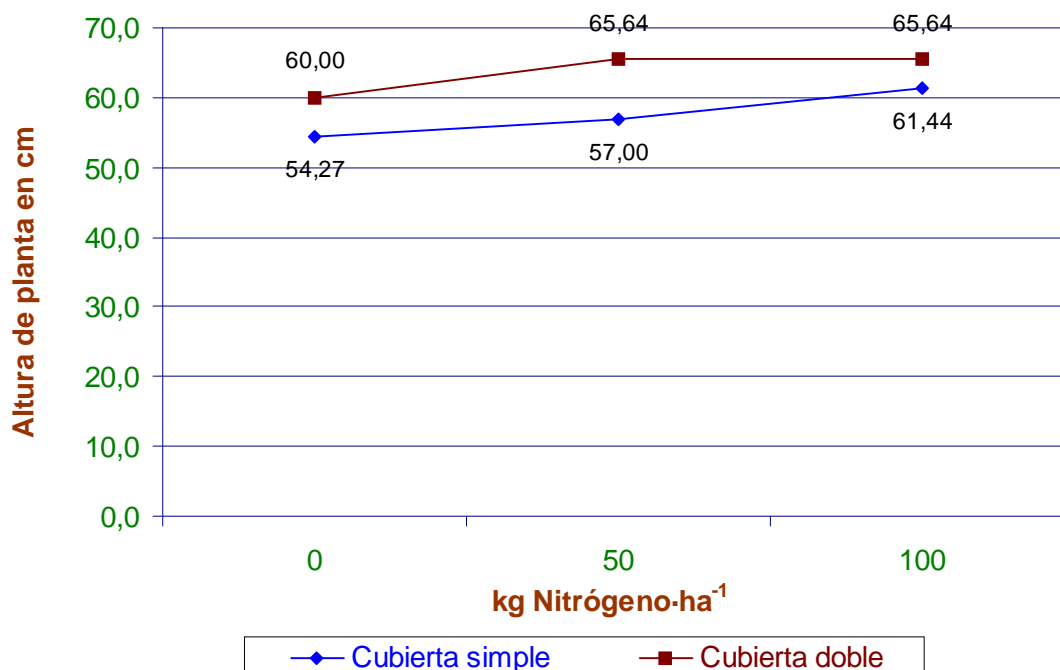


Fig. 7. Efecto de la interacción de los factores en la altura de planta

En la Figura 7, se puede ver una superioridad significativa de los efectos simples del túnel de cubierta doble, respecto a los de cubierta simple en los tres niveles de fertilización. Se puede apreciar también que en los niveles 50 kg N·ha⁻¹ y 100 kg N·ha⁻¹ las alturas promedio obtenidas bajo la cubierta doble fueron las mismas.

Asimismo, se presenta una inferioridad de los tratamientos derivados de las interacciones con la cubierta simple, donde se encontró el valor más bajo con 54,27 cm, correspondiente al tratamiento túnel de cubierta simple sin fertilización.

Este comportamiento del cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), se puede atribuir fundamentalmente a la fertilización nitrogenada como nitrato de amonio al 33,5 %, ya que la altura de planta se incrementó a medida que se fue incrementando el nitrógeno en el suelo. Lo mismo ocurrió bajo ambos

tipos de cubierta túnel, esto se debe a que, cuando existió una cantidad suficiente de este elemento en el suelo, hubo mayor asimilación y síntesis de productos orgánicos y como consecuencia de ello se obtiene mayor vigor vegetativo por la multiplicación de las células en las hojas incrementando el follaje (López, 1994) lo que permitió el incremento en la altura de planta.

Se pudo apreciar que los tipos de cubierta túnel influyeron en la absorción de nitrógeno, provocando la diferencia de alturas de planta. Así las condiciones térmicas que brindan los túneles son apropiadas y conforme se van mejorando éstas con la adición de una capa extra de cobertura, la respuesta del cultivo es muy favorable traduciéndose en incrementos en el tamaño; lo que concuerda con (Fersini, 1979), quien reportó que los túneles generan condiciones favorables alrededor del cultivo para el que se utilice y el tipo de cubierta túnel que proporcionó mejores condiciones al puerro fue el doble, complementándose con $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, con lo que se obtuvo la misma altura de planta que cuando se incrementó al fertilizante a $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, pero sin sufrir aumentos en los costos variables.

5.3.4 Diámetro del tallo falso

Los resultados del análisis estadístico del diámetro del tallo falso de puerro se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el diámetro del tallo falso en mm

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr
Tipos de cubierta túnel	1	73,20	73,21	3,684	0,096 ns
Bloques dentro de tipos de cubierta	4	79,47	19,87	4,564	0,029 *
Fertilización nitrogenada	2	42,07	21,04	4,832	0,022 *
Interacción cubierta x fertilización	2	16,03	8,02	1,841	0,149 ns
Error experimental	8	34,83	4,35		
Total	17	245,61	14,447		

Coeficiente de variación = 7,88 % promedio general = 26,45 mm

El análisis de varianza para el diámetro del tallo falso de puerro tuvo un coeficiente de variación aceptable del 7,88 %, significando que el manejo experimental fue eficiente. Además que existió una distribución normal de datos y homogeneidad de varianzas como se ve en el Anexo 1, que son requisitos para la utilización de diseños experimentales como cita (Calzada, 1970), por otra parte el promedio general del experimento obtenido fue de 26,45 mm de diámetro.

5.3.4.1 Tipos de cubierta túnel

El tipo de cubierta túnel, no reportó diferencias significativas entre los diámetros de tallo falso al 5 % de incertidumbre. En consecuencia el incremento de ésta variable bajo tipo de cubierta simple y doble fueron similares y las condiciones que

proporcionaron ambos tipos no influyeron en el comportamiento del diámetro del tallo falso de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

5.3.4.2 Bloques dentro de tipos de cubierta

Existió diferencia significativa entre bloques dentro de tipos de cubierta túnel, por la variación de la pendiente. Se ganó una eficiencia del 73,6 % al utilizar bloques en la experimentación, ya que la eficiencia relativa respecto a un diseño completamente al azar fue de 173,6 %.

5.3.4.3 Fertilización nitrogenada

Por su parte el factor fertilización nitrogenada reveló diferencias significativas al 5 % de riesgo, por lo que se procedió a la prueba de promedios que se aprecia en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Prueba de Duncan en el factor fertilización nitrogenada para el diámetro del tallo falso en mm

Nivel de fertilización	Promedio	Duncan
50 kg N·ha ⁻¹	28,033 mm	A
100 kg N·ha ⁻¹	26,933 mm	A
0 kg N·ha ⁻¹	24,383 mm	B

Según la prueba de rango múltiple de Duncan al 5 % de significancia en el factor fertilización nitrogenada, el mayor promedio del diámetro de tallo falso de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), correspondió al nivel 50 kg N·ha⁻¹ con 28,03 mm, superior en 1,1 mm al nivel b₃ = 100 Kg N·ha⁻¹. Sin embargo ésta diferencia no es significativa. Asimismo, se observaron diferencias significativas de ambos respecto al nivel 0 kg N·ha⁻¹, que puede deberse a que la multiplicación celular en el cultivo fue mayor en los niveles influenciados por la fertilización

nitrogenada. Por su parte, (Bidwell, 1993), menciona que el nitrógeno incorporado en el suelo es rápidamente absorbido por las raíces de las plantas y se traslada a diferentes partes de la misma principalmente a las hojas y tallos, que son órganos que realizan fotosíntesis en las especies herbáceas.

5.3.4.4 Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada

No se encontraron diferencias significativas en cuanto a la interacción de ambos factores para el diámetro del tallo falso al 5 % de significancia, lo que demuestra una clara independencia de ambos factores.

5.3.5 Diámetro del bulbo falso

El diámetro del bulbo falso tuvo un comportamiento similar al diámetro del tallo falso, su análisis de varianza se detalla en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el diámetro del bulbo falso en mm

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr
Tipos de cubierta	1	245,7	245,68	4,695	0,096 ns
Bloques dentro de tipos de cubierta	4	209,3	52,32	4,808	0,029 *
Fertilización nitrogenada	2	139,7	69,84	6,418	0,022 *
Interacción cubierta x fertilización	2	52,9	26,49	2,434	0,149 ns
Error	8	87,0	10,88		
Total	17	734,69	43,217		

Coeficiente de variación = 8,16 %

Promedio general = 40,4 mm

El análisis de varianza para la variable diámetro del bulbo falso de puerro (*Allium ampeloprasum* L. var. *porrum* J. Gay), originó un coeficiente de variación aceptable del 8,16 %, indicando que hubo un buen manejo del experimento, ya que éste se encuentra por debajo de los 30 % exigido para la investigación en campo. Asimismo, se obtuvo normalidad de datos y homogeneidad de sus

varianzas por medio de la prueba de Bartlett que se detallan en el Anexo 1. pruebas que son requisitos para la utilización de diseños experimentales tal como cita (Calzada, 1970), Por su parte, el promedio general del experimento fue de 40,4 mm.

5.3.5.1 Tipo de cubierta túnel

Respecto al factor tipo de cubierta túnel, no se obtuvieron diferencias estadísticas al 5 % de significancia para la variable diámetro del bulbo falso, esto indica que el efecto térmico de los tipos de cubierta no ejercieron influencia en la variable ya que se comporta de manera similar al ser cultivada tanto bajo una cubierta túnel doble como en una simple.

5.3.5.2 Bloques dentro de tipos de cubierta

Se puede apreciar diferencia significativa entre bloques dentro de tipo de cubierta túnel, ya que la pendiente que fue la fuente de variabilidad bloqueada se manifestó y se ganó una eficiencia relativa del 78,9 % al utilizar el diseño de bloques en lugar de completamente al azar.

5.3.5.3 Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada

En cuanto a la interacción de ambos factores para la presente variable, no se reportaron diferencias significativas lo que demuestra una clara independencia de ambos factores en cuanto al diámetro del falso bulbo de puerro (*Allium ampeloprasum* L. var. *porrum* J. Gay), comportándose de manera similar en todos los tratamientos.

5.3.5.4 Fertilización nitrogenada

Por su parte el nitrógeno se manifestó con diferencias significativas al 5 % de riesgo tal como muestra el análisis de varianza, y para demostrar el nivel del factor fertilización que reportó mayor diámetro del tallo falso se realizó la prueba de promedios de Duncan que se aprecia en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Prueba de Duncan en el factor fertilización nitrogenada para el diámetro del bulbo falso en mm

Nivel de fertilización	Promedio	Duncan
50 kg N·ha ⁻¹	43,35 mm	A
100 kg N·ha ⁻¹	41,20 mm	A
0 kg N·ha ⁻¹	36,67 mm	B

Según la prueba de rango múltiple de Duncan al 5 % de significancia en el factor tipo de cubierta túnel se reveló que, el mayor promedio del diámetro de tallo falso se obtuvo con 50 kg N·ha⁻¹ con un valor de 43,35 mm, que fue superior en 2,15 mm a lo obtenido con 100 Kg N·ha⁻¹. Esta diferencia entre los promedios no es significativa, sin embargo se observa una clara superioridad de ambos niveles respecto al diámetro del tallo falso obtenido en el nivel 0 kg N·ha⁻¹ reportando un promedio de 36,67 mm, lo que concuerda con, (Rodríguez, 1982) quien menciona que si hay suficiente nitrógeno en el suelo existe un mayor vigor vegetativo y aumento en el volumen debido al alargamiento y multiplicación celular.

5.3.6 Número de hojas por planta

El número de hojas por planta no tuvo gran efecto en el experimento, ya que la cantidad fue similar, como se muestra en análisis de varianza del Cuadro 15.

Cuadro 15. Análisis de varianza para el número de hojas por planta

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Pr
Tipo de cubierta	1	0,125	0,125	2,71	0,175 ns
Bloque dentro de tipo de cubierta	4	0,184	0,0461	1,02	0,453 ns
Fertilización	2	0,071	0,0355	0,79	0,488 ns
Tipo de cubierta x fertilización	2	0,053	0,0266	0,59	0,577 ns
Error	8	0,362	0,0452		
Total	17	0,796			

Coefficiente de variación = 1,83 %

Promedio general = 11,57 hojas por planta

En el análisis de varianza para el número de hojas por planta de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) se puede apreciar un coeficiente de variación de 1,83 %, mostrando una confiabilidad de los datos del experimento, por ser menor que el 30 % permitido para trabajos en campo según (Calzada, 1970). Se encontró un promedio general de 11,57 hojas por planta.

5.3.6.1 Tipo de cubierta túnel

No se obtuvieron diferencias estadísticas al 5 % de significancia respecto al factor tipo de cubierta túnel, para la variable número de hojas por planta. Por lo que este

factor no influye en la cantidad de hojas sino en el peso y dimensiones de las mismas.

5.3.6.2 Bloques dentro de tipos de cubierta

Se puede apreciar que no se obtuvo diferencias significativas entre bloques dentro de tipo de cubierta túnel, indicando que la pendiente no se manifestó para el número de hojas por planta en puerro, esto por tratarse de una característica anatómica y que difícilmente varía bajo diferentes condiciones de cultivo.

5.3.6.3 Fertilización nitrogenada

La fertilización nitrogenada no reportó diferencia estadística al 5 % de significancia. Por tanto se puede afirmar que el nitrógeno influyó en el tamaño y peso de las hojas y no en la cantidad de las mismas.

5.3.6.4 Interacción entre tipos de cubierta túnel con la fertilización nitrogenada

En cuanto a la interacción de ambos factores no se presentaron diferencias significativas al 5 % de riesgo. Esto demuestra una clara independencia de los factores, esto por tratarse de una característica anatómica de la planta la cual se mantiene casi constante al llegar al momento de cosecha variando únicamente en peso y tamaño, pero no así en número.

5.7 Análisis de costos

5.7.1 Descripción de los costos

En el Cuadro 16 se muestra como los costos variables de los tratamientos para una hectárea, afectan al costo total.

Cuadro 16. Costos de producción de los tratamientos para el cultivo de puerro bajo túneles en Bs-ha⁻¹

Descripción	Unidad	Precio	Cant.	Tratamiento					
				1	2	3	4	5	6
COSTOS FIJOS									
Insumos									
Agua	global	312,00	1	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00
Semilla	onza	20,00	22,5	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00
Materiales									
Tubo de polietileno rígido*	rollo	11,60	90	1044,00	1044,00	1044,00	1044,00	1044,00	1044,00
Agrofilm*	m ²	0,83	25000	20750,00	20750,00	20750,00	20750,00	20750,00	20750,00
Fierro de ½*	barra	2,30	80	184,00	184,00	184,00	184,00	184,00	184,00
Sistema de riego*	global	500,00	1	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Herramientas									
Picotas*	pieza	20,00	20	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Palas*	pieza	25,00	20	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Chontillas*	pieza	10,00	20	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Mano de obra									
Preparación del terreno									
Roturado (mecanizado)	global	175,00	1	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00
Rastrado (mecanizado)	global	175,00	1	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00
Labores culturales									
Riegos	jornal	20,00	52	1040,00	1040,00	1040,00	1040,00	1040,00	1040,00
Aporques	jornal	30,00	30	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00
Deshierbes	jornal	30,00	30	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00
Cosecha	jornal	30,00	30	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00
Total costos fijos				28430,00	28430,00	28430,00	28430,00	28430,00	28430,00
COSTOS VARIABLES									
Insumos									
Nitrógeno	kg	8,69	-	0,00	434,50	869,00	0,00	434,50	869,00
Materiales									
Nylon transparente*	m ²	0,70	25000	0,00	0,00	0,00	17500,00	17500,00	17500,00
Mano de obra									
Aplicación del fertilizante	jornal	20,00	30	0,00	600,00	600,00	0,00	600,00	600,00

Total costos variables	0,00	1034,50	1469,00	17500,00	18534,50	18969,00
COSTO TOTAL	28430,00	29464,50	29899,00	45930,00	46964,50	47399,00

Fuente: Elaboración propia

(*) costos ajustados a un periodo de cultivo

El mayor costo total fue el del tratamiento T_6 = Túnel de cubierta doble con 100 kg N·ha⁻¹, con 47933,00 Bs·ha⁻¹ y como tratamiento con menor costo el T_1 = Túnel de cubierta simple sin fertilización, con 28430,00 Bs·ha⁻¹.

5.7.2 Beneficios netos

Los beneficios netos del cultivo de puerro expresados en hectáreas, se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Comparación de los beneficios netos de los tratamientos para el cultivo del puerro

N	Tratamiento	Rendimiento kg·ha ⁻¹		Beneficio bruto Bs·ha ⁻¹	Costo total Bs·ha ⁻¹	Beneficio Neto Bs·ha ⁻¹
		Medio	Ajustado			
1	Cubierta simple con 0 kg N·ha ⁻¹	24556	22100,4	35360,64	28430,00	6930,64
2	Cubierta simple con 50 kg N·ha ⁻¹	29670	26703,0	42724,80	29464,50	13260,3
3	Cubierta simple con 100 kg N·ha ⁻¹	32111	28899,9	46239,84	29899,00	16340,84
4	Cubierta doble con 0 kg N·ha ⁻¹	29444	26499,6	42399,36	45930,00	-3530,64
5	Cubierta doble con 50 kg N·ha ⁻¹	46778	42100,2	67360,32	46964,50	20395,82
6	Cubierta doble con 100 kg N·ha ⁻¹	47811	43029,9	68847,84	47399,00	21448,84

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 17 muestra los promedios en rendimiento de los tratamientos convertidos a una hectárea, posterior a ello se observan los mismos reducidos en 10 %, con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el productor podría obtener con la implementación de los tratamientos, al respecto el CIMMYT (1988) como regla general aplica un ajuste del 5 al 30 %, y para el presente trabajo se redujo un 5 % porque se efectuó un manejo dedicado al cultivo y un 5 % debido a que se realizó una cosecha sin pérdidas del producto.

Asimismo, se observan los beneficios brutos de campo, calculados a un precio de venta de 1,60 Bs por kg de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.). La penúltima columna muestra el total de costos de producción para cada tratamiento la que varía por los costos por la compra de semilla, el fertilizante, gastos derivados del tipo de cubierta túnel, descritos en detalle en el Cuadro 16. La última columna es la más importante porque muestra los beneficios netos donde se ve que el T₄ reportó beneficios negativos lo que deriva de sus altos costos de producción y rendimientos bajos, situación que no ocurre con el T₅ y T₆ que son los más beneficiosos, debido fundamentalmente a sus altos rendimientos

5.7.3 Análisis de dominancia

En el Cuadro 18 se muestran los tratamientos no dominados y el tratamiento T₄ que fue el único dominado.

Cuadro 18. Análisis de dominancia de los tratamientos para el cultivo del puerro

N	Tratamiento	Beneficio bruto Bs·ha ⁻¹	Costo total Bs·ha ⁻¹	Beneficio Neto Bs·ha ⁻¹
2	Cubierta simple con 50 kg N·ha ⁻¹	35360,64	28430,00	6930,64 No dominado
3	Cubierta simple con 100 kg N·ha ⁻¹	42724,80	29464,50	13260,3 No dominado
1	Cubierta simple con 0 kg N·ha ⁻¹	46239,84	29899,00	16340,84 No dominado
4	Cubierta doble con 0 kg N·ha ⁻¹	42399,36	45930,00	-3530,64 Dominado
5	Cubierta doble con 50 kg N·ha ⁻¹	67360,32	46964,50	20395,82 No dominado
6	Cubierta doble con 100 kg N·ha ⁻¹	68847,84	47399,00	21448,84 No dominado

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los tratamientos se hallan en orden creciente según sus costos totales y se aprecia al tratamiento T₄= Túnel de cubierta doble con 0 kg N·ha⁻¹ como dominado, significando que existen tratamientos con mayor beneficio neto y menores costos. Al respecto el CIMMYT (1988), señala que cuando se tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos más bajos se trata de un tratamiento dominado.

En el presente caso al utilizar el túnel de cubierta doble se incurre en mayores costos variables, ello afecta al costo total resultando una pérdida cultivar el puerro sin fertilización ya que se tienen rendimientos bajos que no justifican la inversión realizada.

5.7.4 Análisis Marginal

En el Cuadro 19 se puede evidenciar que ya no se encuentra el T₄ porque se trata de un tratamiento dominado.

Cuadro 19. Análisis marginal de los tratamientos para el cultivo del puerro

N	Tratamiento	Costo total Bs·ha ⁻¹	Costo Marginal	Beneficio Neto Bs·ha ⁻¹	Beneficio Marginal	Tasa de retorno marginal (TRM %)
1	Cubierta simple con 0 kg N·ha ⁻¹	28430,00		6930,64		
			1034,5		6329,66	611,8 %
2	Cubierta simple con 50 kg N·ha ⁻¹	29464,50		13260,30		
			434,5		3080,5	709,0 %
3	Cubierta simple con 100 kg N·ha ⁻¹	29899,00		16340,84		
			17065,5		4055,0	24,0 %
5	Cubierta doble con 50 kg N·ha ⁻¹	46964,50		20395,82		
			435,0		1053,0	242,4 %
6	Cubierta doble con 100 kg N·ha ⁻¹	47399,00		21448,84		

Fuente: Elaboración propia

El análisis reveló una tasa de retorno marginal TRM máxima del 709 %, que significa que el beneficio neto aumenta 7,09 veces con relación al incremento de costos entre T₂ = Túnel de cubierta simple con 50 kg N·ha⁻¹, y T₃ = Túnel de cubierta simple con 100 kg N·ha⁻¹. Por otra parte, al pasar del T₃ = Túnel de cubierta simple con 100 kg N·ha⁻¹ al T₅= Túnel de cubierta doble con 50 kg N·ha⁻¹, el beneficio aumenta en 0,24 unidades en relación a los costos por su TRM del 24,0 % y al pasar del T₅ = Túnel de cubierta doble con 50 kg N·ha⁻¹ al T₆= Túnel de cubierta doble con 100 kg N·ha⁻¹ se experimentó una TRM del 242,4 %, traducida

en un incremento de beneficios netos en 2,42 veces respecto a la variación de los costos, al respecto, (CIMMYT, 1988) indica que en el análisis marginal se puede adoptar la TRM más alta como el mejor tratamiento, pero si ésta se encuentra por encima de la mínima aceptable se pueden adoptar también esas alternativas. En el experimento los costos jugaron un papel fundamental en la TRM, porque al emplear la doble cubierta se incurre en una inversión mayor que al cultivar en cubierta túnel simple, por ello la mejor alternativa de todas sería la del tratamiento T₃, en función al beneficio por cantidad invertida, pero si existiera una demanda elevada se puede optar por el tratamiento T₅ por su elevado rendimiento, pero fundamentalmente por estar encima del 100 % de TRM que se consideró como mínima aceptable para el trabajo de investigación.

5.7.5 Relación beneficio / costo

Mediante el Cuadro 20 de relación beneficio-costo, se pudo apreciar los tratamientos por hectárea que son aceptables.

Cuadro 20. Relación beneficio / costo de los tratamientos para el cultivo de puerro

N	Tratamiento	Beneficio bruto Bs·ha ⁻¹	Costo total Bs·ha ⁻¹	Relación beneficio / costo
1	Cubierta simple con 0 kg N·ha ⁻¹	35360,64	28430,00	1,24
2	Cubierta simple con 50 kg N·ha ⁻¹	42724,8	29464,50	1,45
3	Cubierta simple con 100 kg N·ha ⁻¹	46239,84	29899,00	1,55
4	Cubierta doble con 0 kg N·ha ⁻¹	42399,36	45930,00	0,92
5	Cubierta doble con 50 kg N·ha ⁻¹	67360,32	46964,50	1,43
6	Cubierta doble con 100 kg N·ha ⁻¹	68847,84	47399,00	1,45

Fuente: Elaboración propia

Por la relaciones beneficio costo se pudo evidenciar que al emplear el tratamiento T₄, se incurrió en pérdidas de la cantidad invertida porque este valor fue inferior a la unidad, mientras que en el T₁ se aprecia una leve superioridad respecto a la unidad, significando que se recuperó la inversión pero no se obtuvo la mejor ganancia del experimento.

Por otra parte en los tratamientos T₂, T₃, T₅ y T₆, son ampliamente superiores a la unidad respecto al T₁ y si se utilizan éstas alternativas por cada unidad monetaria invertida en la actividad se recupera la misma, mas una ganancia de 0,24; 0,44; 0,54; y 0,45 unidades monetarias respectivamente. Para ilustrar estos resultados en forma gráfica se muestra la Figura 8.



Fig. 8. Curva de beneficios netos de los tratamientos no dominados

En la curva de beneficios netos, se puede apreciar que se excluyó al tratamiento dominado túnel de cubierta doble sin fertilización, por presentar beneficios netos negativos. De tal modo que, el tratamiento con mayor beneficio neto fue el T₆, correspondiente a túnel de cubierta doble con 100 kg N·ha⁻¹, seguido muy de cerca por el tratamiento T₅ túnel de cubierta doble con 50 kg N·ha⁻¹. La diferencia entre ellos fue mínima con un valor de 1053,02 Bs.

Por otra parte los tratamientos derivados del tipo de cubierta túnel simple, fueron bastante inferiores a los de cubierta doble. Las diferencias fueron muy notorias por

estar encima de los 4054,98 Bs. Por lo tanto la utilización del tipo de cubierta túnel doble con una fertilización nitrogenada de $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, fue la más apropiada en términos económicos para el cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* L. var. *porrum* J. Gay.)

5.8 Relación entre las variables estudiadas

5.8.1 Relación entre el rendimiento en materia verde y la altura de planta

En la Figura 9 se puede apreciar que, existió una relación directa entre el rendimiento y la altura de planta para el cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *Porrum* J. Gay.)

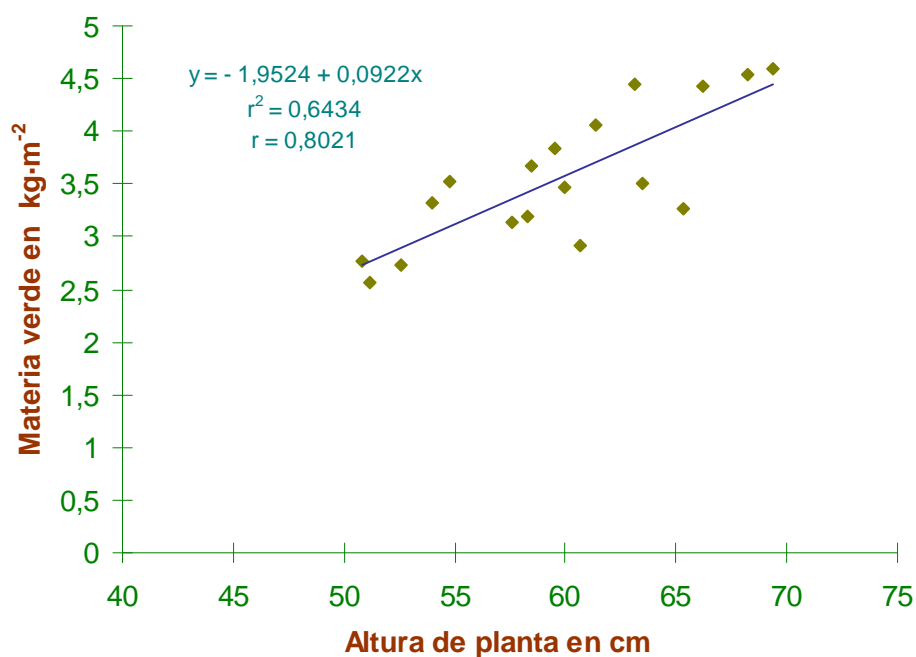


Fig. 9. Relación del rendimiento en materia verde con la altura de planta

Mediante la Figura 9 se puede ver que si se incrementa la altura de planta en 1 cm, el rendimiento de puerro en materia verde se incrementará en $0,092 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Esta aseveración es constatada por una pendiente positiva extraída de la ecuación de la recta. Sin embargo, se aprecia un coeficiente de determinación del 64,34 %

lo que indica que, un 35,66 % se debe a factores no atribuibles a la altura de planta, el coeficiente de correlación de 0,80 significa una alta correlación entre las variables, (Ibáñez, 2000)

5.8.2 Relación entre el rendimiento en materia verde y el diámetro del tallo falso

En la Figura 10 se aprecia una relación directamente proporcional entre el rendimiento y el diámetro del tallo falso del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

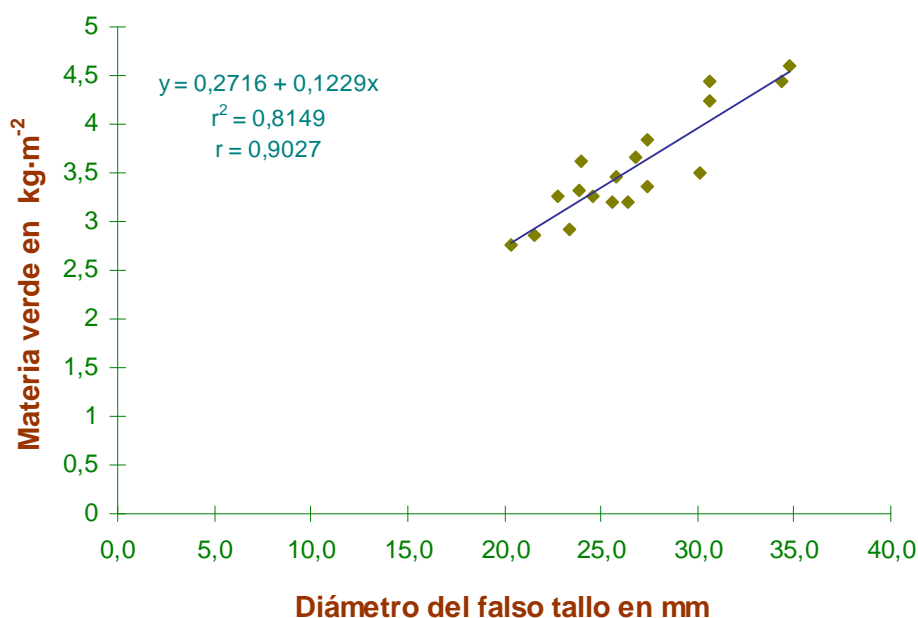


Fig. 10. Relación del rendimiento en materia verde con el diámetro del tallo falso

La proporción encontrada fue que si se incrementa el diámetro del tallo falso en 1 mm, el rendimiento de puerro en materia verde se incrementa en 0,122 kg·m⁻², la cual es representada por la pendiente positiva de la ecuación de la recta, asimismo se aprecia un coeficiente de correlación de 0,90 que significa una alta correlación entre las variables y un coeficiente de determinación de 81,49 %, que significa según (Ibáñez, 2000) que, sólo un 18,21 % de la variación en el

rendimiento no se debe al diámetro del tallo falso sino mas bien a otros factores que no fueron tomados en cuenta para el presente estudio.

5.8.3 Relación entre el rendimiento en materia verde y el diámetro del bulbo falso

En la Figura 11 se puede apreciar que, existe una relación directa entre el rendimiento y el diámetro del bulbo falso para el cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.)

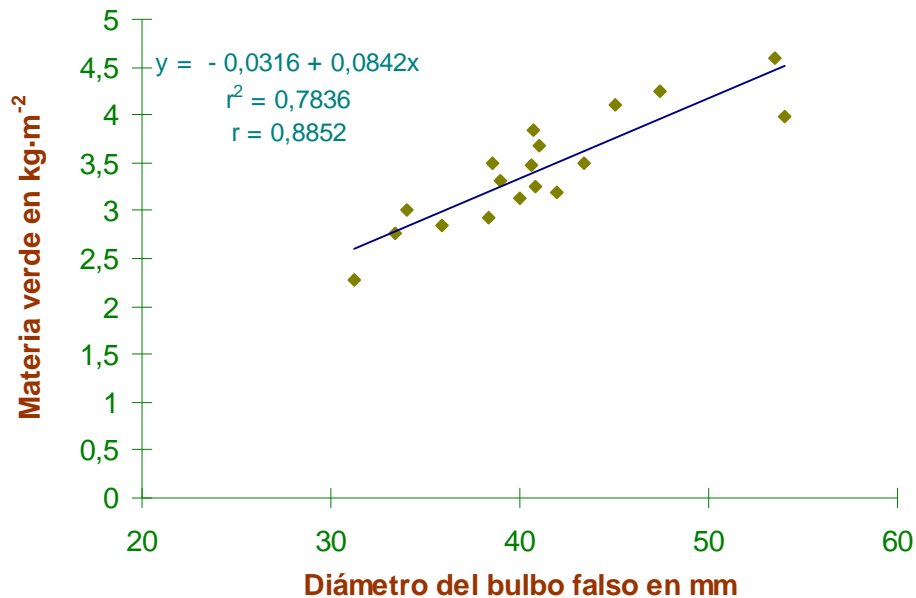


Fig. 11. Relación del rendimiento en materia verde con el diámetro del bulbo falso

La Figura 11 indica que si se incrementa la altura de planta en 1 mm, el rendimiento de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en materia verde se incrementa en 0,084 kg·m⁻². Asimismo, se aprecia un coeficiente de determinación del 78,36 % significa que el porcentaje en que el diámetro del bulbo

falso afectó al rendimiento, y un coeficiente de correlación de 0,88 que significa una alta correlación entre las variables, (Ibáñez, 2000)

VI CONCLUSIONES

De acuerdo con las observaciones, análisis y resultados de la investigación se concluye que:

De acuerdo al tipo de cubierta túnel:

- La cubierta túnel doble proporcionó mejores condiciones al cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), reflejando un rendimiento en materia verde de $4,134 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, superior significativamente en $1,256 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ al obtenido bajo cubierta túnel simple de $2,877 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.
- El rendimiento en materia seca fue superior en el tipo de cubierta túnel doble con un peso promedio de $0,896 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, y bajo la cubierta simple fue de $0,824 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, esto se atribuye a las condiciones térmicas que determinaron la acumulación de biomasa en el cultivo. En ambos casos la relación con la materia verde fue directa con una humedad aproximada del 78,4 %..
 - La influencia del tipo de cubierta túnel favoreció a variaciones en la altura de planta de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) Al emplear el tipo de cubierta doble el promedio fue de 64,2 cm y bajo cubierta túnel simple fue de 57,01 cm, con una diferencia significativa de 7,19 cm, la que se atribuyo a la expansión de los tejidos, que fue mayor con una menor amplitud térmica.

- El diámetro del tallo falso, bulbo falso, y el número de hojas por planta en el momento de la cosecha fueron estadísticamente similares, reportándose diferencias mínimas alrededor de promedios de 26,45 mm para el diámetro del tallo falso, 40,4 mm en el diámetro del bulbo falso y 11,57 hojas por planta, el tipo de cubierta no afectó al comportamiento de éstas variables.

De acuerdo a la fertilización nitrogenada:

- La fertilización nitrogenada afectó favorablemente a la especie el mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 100 kg N·ha⁻¹, con 3,996 kg·m⁻², seguido del nivel 50 kg N·ha⁻¹, con 3,822 kg·m⁻², haciendo una diferencia no significativa de 0,174 kg·m⁻², pero amplia diferencia de ambas respecto a la ausencia de aplicación de lo que se obtuvo simplemente 2,7 kg·m⁻².
- El nivel de 50 kg N·ha⁻¹ fue un nivel apropiado, ya que al incrementar la dosis de nitrógeno a 100 kg N·ha⁻¹, se incurrió en mayores costos de producción por la cantidad de insumo con rendimientos similares.
- La influencia que el nitrógeno ejerció sobre altura de planta de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), fue notoria. Con de 100 kg N·ha⁻¹ el promedio fue de 63, 53 cm, con 50 kg N·ha⁻¹ 61,98 cm haciendo una diferencia mínima de 1,58 cm, pero una amplia diferencia de ambas aplicaciones respecto al nivel sin fertilización nitrogenada de lo que se obtuvo 53,3 cm.
- El diámetro del tallo falso de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), se incrementó por la aplicación de nitrógeno al suelo. Se obtuvo mejor respuesta a la aplicación de 50 kg N·ha⁻¹, con 28,03 mm y 26,93 mm con 100 kg N·ha⁻¹, ambos superiores a los 24,38 mm obtenidos del nivel sin fertilización.

- El diámetro del bulbo falso de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) tuvo un comportamiento similar al diámetro del tallo falso, con 50 kg N·ha⁻¹ se obtuvo 43,35 mm, 41,2 mm con 100 kg N·ha⁻¹ y 36,6 mm para el nivel sin fertilización. El nivel de nitrógeno apropiado fue de 50 kg N·ha⁻¹.
- El nitrógeno no ejerció influencia en el número de hojas por planta de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), sino en el tamaño y peso de las mismas.

De acuerdo a la interacción de factores:

- En las interacciones el cultivo bajo túnel de cubierta doble con 100 kg N·ha⁻¹ tuvo un rendimiento en materia verde de 4,781 kg·m⁻², fue el mayor del experimento. Sin embargo el tratamiento túnel de cubierta doble con 50 kg N·ha⁻¹ con 4,678 kg·m⁻², se consideró como la mejor alternativa por la mínima diferencia entre ambos y el menor costo que encierra este último.
- La altura de planta de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) de 65,64 cm, fue similar en túnel de cubierta doble con 50 kg N·ha⁻¹ como en 100 kg N·ha⁻¹. La mejor alternativa por el menor costo fue túnel de cubierta doble con 50 kg N·ha⁻¹, tratamiento T₅ de la experiencia
- Las variables de respuesta estudiadas tuvieron una correlación alta con el rendimiento en materia verde. La altura de planta presentó un coeficiente de correlación de 0,80, el diámetro del tallo falso con 0,90 y la correlación con el diámetro del bulbo falso con 0,88.

De acuerdo al análisis de costos:

- El tratamiento económicamente dominado fue: túnel de cubierta doble sin fertilización que no es apropiado porque se incurre en pérdida de la cantidad invertida, con una relación beneficio costo de 0,92.

- Se superó la tasa de retorno marginal mínima aceptable del 100 % con los tratamientos T₂, T₃ y T₅ con el 611 %, 709 % y 242 % respectivamente.
- Excluyendo al T₁ las relaciones beneficio costo fueron aceptables y superiores a la unidad.
- La mejor relación beneficio-costo provino del tratamiento túnel de cubierta simple con 100 kg N·ha⁻¹ 1,55 empero se puede destacar por su rendimiento y para fines de cumplir una elevada demanda, la del T₅ de 1,43 por existir menor inversión en fertilizante, aunque su costo elevado provenga del tipo de cubierta.

VII RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en el estudio proveen una información preliminar importante del cultivo de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), sin embargo, no es definitiva por lo cual se recomienda:

- Utilizar la cubierta doble en túneles con un nivel de fertilización de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ que fue la combinación de niveles con los mejores rendimientos en materia verde bajo las condiciones en las que se llevó a cabo la experimentación.
- Repetir la experiencia del estudio, con el fin de revalidar los resultados obtenidos en tipo de cubierta túnel y dosis de nitrato de amonio.
- Efectuar experimentos de fertilización orgánica, para conocer el la respuesta de la especie bajo esas condiciones.
- Realizar el estudio con diferentes épocas de siembra y en distintas localidades con el fin de determinar dosis apropiadas del fertilizante nitrato de amonio y así no incurrir en una utilización excesiva del mismo.
- Obtener curvas de crecimiento con el fin de que se pueda aplicar el fertilizante de tal modo que se llegue a la planta en forma eficiente y oportuna.

- Utilizar otras variedades, de puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.), con la finalidad de determinar la mas apta para las condiciones climáticas de la región.
- Promover acciones de difusión de la especie, toda vez que es una hortaliza que puede adaptarse perfectamente a las condiciones del altiplano.

VIII LITERATURA CONSULTADA

- ALPI, A. (1991). Cultivo en invernaderos. 3 ed. Madrid España, MUNDI PRENSA. 256 p.
- BERNAT, J.A.; MARTINEZ, J. (1987). Invernaderos construcción, manejo, rentabilidad. Barcelona España, AEDOS. 249 p.
- BLANCO, I.; GONZALES, J.; AUGSTBURGER, H. (1999). Invernaderos campesinos en Bolivia. 2 ed. La Paz Bol., COSUDE. PP. 81—95.
- BREWSTER, J.L. (1994). Cebollas y otras liliáceas. 2 ed. Cambridge Inglaterra, Prensa universitaria. 236 p.
- CALZADA, B. J. (1970). Métodos Estadísticos para la investigación. 3 ed. Lima Perú., JURIDICA S. A. pp. 489-491.
- CHILÓN, C.E. 1997. Manual de fertilidad de suelos y nutrición de plantas. La Paz Bol., Centro Internacional De Agricultura Tropical. p. 88—103.
- CIMMYT. (1988). Manual metodológico de evaluación económica. Méx. D. F., Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. pp. 15-32.

- DOMÍNGUEZ, V. A. (1997). Tratado de Fertilización. 3 ed. Barcelona, España. MUNDI-PRENSA. pp. 45-48.
- FERSINI, A. (1979). Horticultura práctica. 2 ed. Méx., DIANA. pp. 173-175.
- GIACONI, V.; ESCAFF, M. (1994). Cultivo de Hortalizas Santiago de Chile, Chile, UNIVERSITARIA. 384 p.
- GROS, A. (1981). Abonos, guía práctica de la fertilización. ed. Madrid España, MUNDIPRENSA. 194-195 p.
- GUDIÉL, V. M. (1989). Manual Agrícola 6 ed. Guatemala, SUPERB. pp. 170-172.
- HARTMAN, L.F. (1990). Invernaderos y ambientes atemperados. 2 ed. La Paz Bol., FADES. 131 p.
- HUERRES, P. C. (1991). Horticultura. La Habana, Cuba. PUEBLO Y EDUCACIÓN. 193 p.
- LOPEZ T. M. (1994). Horticultura México TRILLAS. pp. 25-35.
- MAROTO, J. B. (1994). Horticultura herbácea especial. 4 ed. Madrid España, MUNDIPRENSA. 768 p.
- PEREZ G. F. (1994). Introducción a la Fisiología Vegetal. 2 ed. Barcelona, España. MUNDI-PRENSA. pp. 52.
- RAYMOND, D.(1985). Horticultura Práctica. Barcelona, España. BLUME. pp. 142-143

- RODRÍGUEZ S. F. (1982). Fertilizantes y Nutrición Vegetal. México, AGT. 157 p.
- RODRÍGUEZ R. M. (2000). Morfología y Anatomía Vegetal. 3 ed. Cochabamba, Bol, COLORGRAF. pp. 374-375.
- TISCORNIA R. J. (1982). Cultivo de hortalizas terrestres. Buenos Aires, Arg. ALBATROS. pp. 66-98.
- TISDALE, S. (1988). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. 2 ed. México D.F. Méx., UTEHA. 375 p.
- TUTIN, T. G. (1980). Flora Europea. Vol. 5 Cambridge, University Press. pp. 295
- VAN H. J. D. (1997). Horticultura. 2 ed. México, TRILLAS. pp. 11-73.
- VIGLIOLA M. I. (1986). Hortalizas. 2 ed. Buenos Aires, Arg. HEMISFERIO SUR pp. 9-31.

ANEXOS

Anexo 1. Normalidad de los datos experimentales y prueba de Bartlett

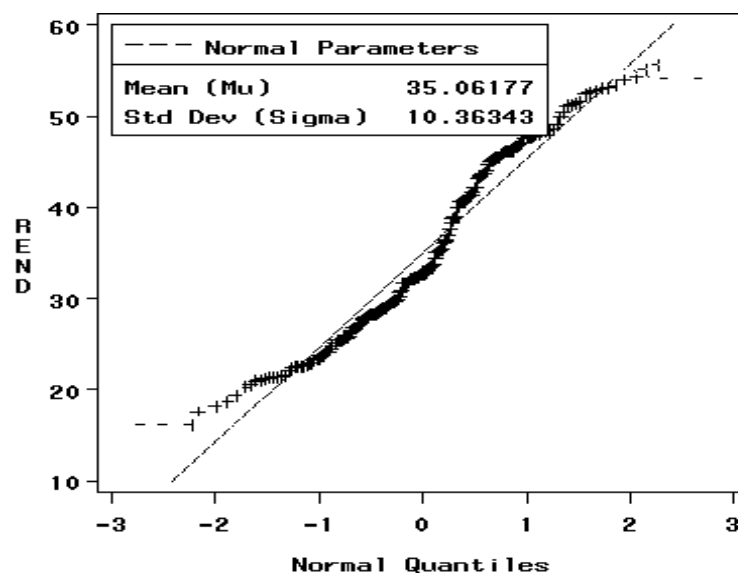


Fig. 12. Curva de normalidad para el rendimiento en materia verde del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en $t \cdot ha^{-1}$

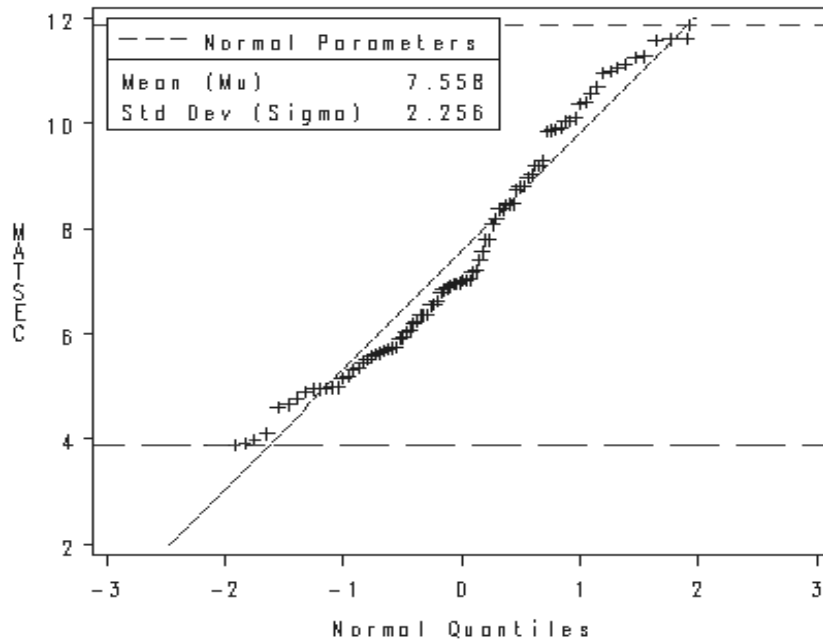


Fig. 13. Curva de normalidad para el rendimiento en materia seca del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en t·ha⁻¹

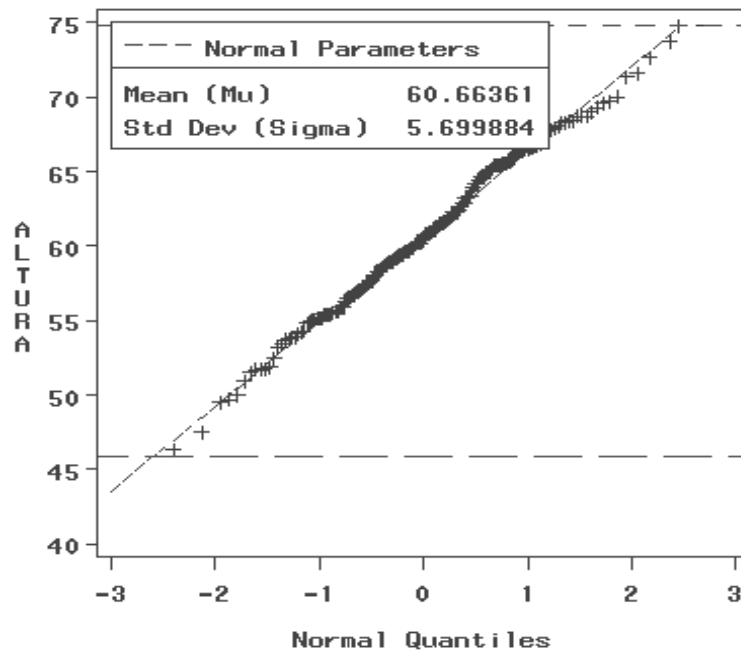


Fig. 14. Curva de normalidad para la altura de planta del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en cm

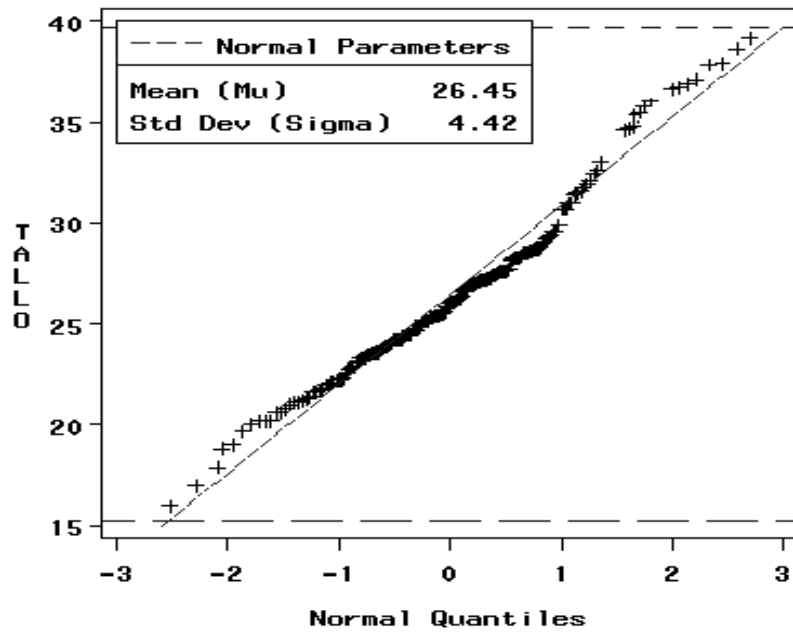


Fig. 15. Curva de normalidad para el diámetro del tallo falso del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en mm

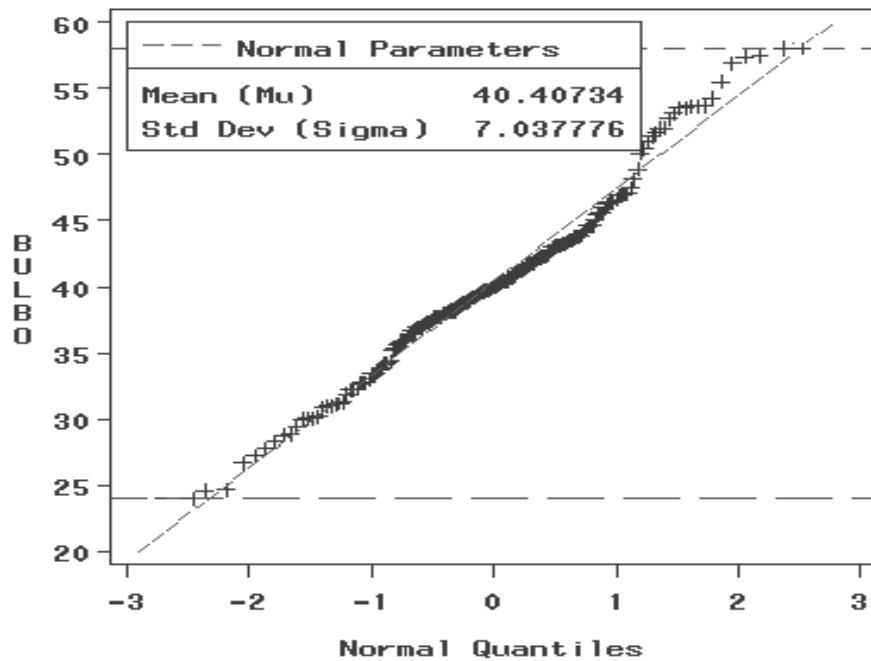


Fig. 16. Curva de normalidad para el diámetro del bulbo falso del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en mm

Prueba de Bartlett para comprobar la homogeneidad de
varianzas para las variables de estudio
Fórmulas de cómputo

Para la varianza de cada bloque:

$$s^2 = \frac{\sum x - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}$$

Para el cálculo de \hat{S}^2

$$\hat{S}^2 = \frac{\sum S^2}{N \text{ muestras}}$$

Para el cálculo de x^2 sin ajustar:

$$x^2_{\text{sin ajustar}} = 2,3026 \left[\left(\sum GL \text{ bloques} \times \log \hat{S}^2 \right) - \left(GL \text{ bloques} \times \sum \log S^2 \right) \right]$$

Para el cálculo del valor de ajuste \mathbf{c} :

$$\mathbf{c} = 1 + \frac{1}{3(N \text{ muestras} - 1)} \left[\left(\frac{N \text{ muestras}}{GL \text{ bloques}} \right) - \left(\frac{1}{\sum GL \text{ bloques}} \right) \right]$$

Para el ajuste de x^2 :

$$x^2_{\text{ajustada}} = \frac{x^2_{\text{sin ajustar}}}{c}$$

Variable	Unidad	$x^2_{\text{calc.}}$	$x^2_{\text{tab.}}$	Conclusión
Rendimiento en materia verde	kg·m ⁻²	4,86	5,991	Varianzas homogéneas
Rendimiento en material seca	kg·m ⁻²	5,038	5,991	Varianzas homogéneas
Altura de planta	cm	1,91	5,991	Varianzas homogéneas
Diámetro del tallo falso	mm	4,836	5,991	Varianzas homogéneas
Diámetro del bulbo falso	mm	3,13	5,991	Varianzas homogéneas
Número de hojas por planta	unidades	2,531	5,991	Varianzas homogéneas

Anexo 2. Registro de datos de campo

Rendimiento en materia verde del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en kg·m⁻²

Obs.	Bloque 1			Bloque 4		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²
1	2,71	3,88	4,14	3,26	5,41	5,37
2	2,21	3,43	3,51	2,83	4,71	5,15
3	2,41	3,61	3,77	2,88	5,28	4,46
4	2,76	3,53	3,63	3,24	4,13	4,77
5	2,83	4,01	4,51	3,34	4,08	4,69
6	2,55	3,90	3,84	2,80	4,10	4,99
7	2,29	4,35	4,80	3,36	4,67	4,86
8	2,63	3,54	3,70	3,28	4,07	4,58
9	2,73	3,22	3,24	2,82	3,99	4,61
10	2,54	3,18	3,21	3,52	3,89	4,84
Prom.	2,57	3,67	3,83	3,13	4,43	4,83

Obs.	Bloque 2			Bloque 5		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²
1	2,97	3,26	3,65	2,97	4,75	4,76
2	2,85	3,35	2,81	2,44	5,31	4,92
3	2,68	2,91	4,07	2,54	5,12	4,56
4	2,93	2,90	4,16	2,67	4,56	4,54
5	2,24	2,98	3,27	2,58	5,35	5,34
6	2,65	3,38	3,01	3,06	4,52	4,78
7	2,83	3,17	3,23	3,32	5,26	5,25
8	2,99	2,96	2,86	2,96	4,84	5,35

9	2,78	3,27	4,11	2,57	5,42	5,04
10	2,42	2,84	3,50	2,55	4,86	5,13
Prom.	2,73	3,10	3,47	2,77	5,00	4,97

Obs.	Bloque 3			Bloque 6		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²
1	1,61	1,94	2,51	2,90	4,67	4,37
2	1,83	2,10	2,02	3,17	4,80	4,40
3	2,05	1,94	2,38	3,08	4,62	4,60
4	2,03	2,34	2,69	2,14	4,38	4,31
5	2,25	2,26	2,29	3,18	4,77	4,22
6	2,25	2,13	2,16	2,33	4,61	4,50
7	1,87	2,12	2,57	2,86	4,86	4,23
8	2,37	2,35	2,10	3,28	4,61	4,33
9	2,14	2,27	2,14	3,17	4,61	5,30
10	2,26	1,87	2,47	3,22	4,07	5,16
Prom.	2,07	2,13	2,33	2,93	4,60	4,54

Rendimiento en materia seca del puerro (*Allium ampeloprasum* (L.) var. *porrum* J. Gay.) en kg·m⁻²

Obs.	Bloque 1			Bloque 4		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²
1	0,57	0,82	0,87	0,70	1,16	1,16
2	0,50	0,85	0,90	0,72	0,90	1,01
3	0,53	0,84	0,81	0,60	0,88	1,07
4	0,57	0,69	0,68	0,61	0,99	0,92
5	0,54	0,68	0,78	0,74	0,84	1,04
Prom.	0,54	0,77	0,81	0,67	0,95	1,04

Obs.	Bloque 2			Bloque 5		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²
1	0,62	0,62	0,88	0,57	0,99	0,99
2	0,48	0,63	0,70	0,56	1,16	1,16
3	0,56	0,72	0,64	0,66	0,99	1,04
4	0,59	0,70	0,78	0,56	1,19	1,10
5	0,66	0,64	0,70	0,65	1,10	1,11
Prom.	0,58	0,66	0,74	0,60	1,09	1,08

Obs.	Bloque 3			Bloque 6		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²	kg·m ⁻²
1	0,50	0,47	0,52	0,70	1,11	1,00

2	0,40	0,57	0,49	0,52	0,93	0,85
3	0,50	0,50	0,55	0,69	1,13	0,92
4	0,39	0,40	0,46	0,59	1,01	1,06
5	0,50	0,41	0,54	0,70	0,85	1,13
Prom.	0,45	0,47	0,51	0,64	1,00	0,99

Anexo 3. Programación en SAS System

```

options ls=85 ps=85;
data jose;
title "puerro";
input cubierta $ bloque nitro $ mv ms alt diam bulb hojas
@@;
cards;
simple 1 0kgN/ha 2.56 0.54 53.0 23.2 33.2 11.2
simple 1 50kgN/ha 3.66 0.77 58.5 26.8 38.6 11.5
simple 1 100kgN/ha 3.83 0.80 59.5 27.4 38.8 11.5
simple 2 0kgN/ha 2.73 0.58 54.0 23.9 39.0 11.4
simple 2 50kgN/ha 3.10 0.66 58.3 26.4 42.0 11.6
simple 2 100kgN/ha 3.46 0.73 63.4 26.6 44.4 11.8
simple 3 0kgN/ha 2.06 0.45 50.8 20.4 29.2 11.3
simple 3 50kgN/ha 2.13 0.46 54.2 21.2 31.2 11.8
simple 3 100kgN/ha 2.33 0.51 61.4 24.0 34.0 11.3
doble 4 0kgN/ha 3.13 1.67 57.4 25.6 41.0 11.3
doble 4 50kgN/ha 4.43 0.95 65.3 24.6 40.8 11.7
doble 4 100kgN/ha 4.83 1.03 65.2 25.8 40.6 11.7
doble 5 0kgN/ha 2.76 0.60 57.6 25.6 40.0 11.7
doble 5 50kgN/ha 5.00 1.08 66.2 34.4 54.0 11.5
doble 5 100kgN/ha 4.96 1.07 63.5 27.2 43.4 11.7
doble 6 0kgN/ha 2.93 0.63 65.0 27.6 37.6 11.9
doble 6 50kgN/ha 4.60 1.00 69.4 34.8 53.5 11.9
doble 6 100kgN/ha 4.54 0.99 68.2 30.6 46.0 11.5
;
proc glm;
class bloque cubierta nitro;
model mv ms alt diam bulb hojas= cubierta bloque(cubierta)
nitro cubierta*nitro;
test h=cubierta e=bloque(cubierta);
run;
quit;

```

Resultados en SAS System

Tesis puerro 21:37 Friday, January 16, 2005 1

Class Level Information

Class	Levels	Values
bloque	6	1 2 3 4 5 6
cubierta	2	doble simple
nitro	3	0kgN/ha 100kgN/h 50kgN/ha

Number of observations 18

Dependent Variable: mv

		Sum of				
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	9	16.78533333	1.86503704	23.95	<.0001	
Error	8	0.62297778	0.07787222			
Corrected Total	17	17.40831111				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	mv Mean		
	0.964214	7.967968	0.279056	3.502222		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
cubierta	1	7.11902222	7.11902222	91.42	<.0001	
bloque(cubierta)	4	2.37168889	0.59292222	7.61	0.0078	
nitro	2	5.95287778	2.97643889	38.22	<.0001	
cubierta*nitro	2	1.34174444	0.67087222	8.62	0.0101	

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for bloque(cubierta) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	7.11902222	7.11902222	12.01	0.0257

Tesis puerro 21:37 Friday, January 16, 2005 2

Dependent Variable: ms

		Sum of				
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	9	0.78323894	0.08702655	24.48	<.0001	
Error	8	0.02843756	0.00355469			
Corrected Total	17	0.81167650				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	msg Mean		
	0.964964	7.888149	0.059621	0.755833		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
Cubierta	1	0.35252006	0.35252006	99.17	<.0001	
bloque(cubierta)	4	0.09082378	0.02270594	6.39	0.0131	
nitro	2	0.27554800	0.13777400	38.76	<.0001	
cubierta*nitro	2	0.06434711	0.03217356	9.05	0.0088	

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for b(t) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Cubierta	1	0.35252006	0.35252006	15.53	0.0170

Tesis puerro 21:37 Friday, January 16, 2005 3

Dependent Variable: alt

		Sum of				
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	

Model	9	496.1250000	55.1250000	23.96	<.0001
Error	8	18.4044444	2.3005556		
Corrected Total	17	514.5294444			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	alt Mean	
	0.964231	2.502672	1.516758	60.60556	
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	232.5605556	232.5605556	101.09	<.0001
bloque(cubierta)	4	64.4755556	16.1188889	7.01	0.0100
nitro	2	174.0477778	87.0238889	37.83	<.0001
cubierta*nitro	2	25.0411111	12.5205556	5.44	0.0322

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for bloque(cubierta) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	232.5605556	232.5605556	14.43	0.0191

Tesis puerro 21:37 Friday, January 16, 2005

4

Dependent Variable: diam

		Sum of			
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	210.7783333	23.4198148	5.38	0.0134
Error	8	34.8266667	4.3533333		
Corrected Total	17	245.6050000			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	diam Mean	
	0.858200	7.888334	2.086464	26.45000	
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	73.20500000	73.20500000	16.82	0.0034
bloque(cubierta)	4	79.47333333	19.86833333	4.56	0.0326
nitro	2	42.07000000	21.03500000	4.83	0.0421
cubierta*nitro	2	16.03000000	8.01500000	1.84	0.2199

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for bloque(cubierta) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	73.20500000	73.20500000	3.68	0.1273

Tesis puerro 21:37 Friday, January 16, 2005

5

Dependent Variable: bulb

		Sum of			
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	647.6316667	71.9590741	6.61	0.0070

Error	8	87.0577778	10.8822222		
Corrected Total	17	734.6894444			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	bulb Mean	
	0.881504	8.164277	3.298821	40.40556	
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	245.6805556	245.6805556	22.58	0.0014
bloque(cubierta)	4	209.2955556	52.3238889	4.81	0.0285
nitro	2	139.6811111	69.8405556	6.42	0.0217
cubierta*nitro	2	52.9744444	26.4872222	2.43	0.1494

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for bloque(cubierta) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	245.6805556	245.6805556	4.70	0.0961

Tesis puerro 21:37 Friday, January 16, 2005

6

Dependent Variable: hojas

		Sum of			
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	0.43388889	0.04820988	1.06	0.4701
Error	8	0.36222222	0.04527778		
Corrected Total	17	0.79611111			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	hojas Mean	
	0.545010	1.838763	0.212786	11.57222	
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	0.12500000	0.12500000	2.76	0.1352
bloque(cubierta)	4	0.12444444	0.03111111	0.69	0.6208
nitro	2	0.12111111	0.06055556	1.34	0.3154
cubierta*nitro	2	0.06333333	0.03166667	0.70	0.5249

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for bloque(cubierta) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cubierta	1	0.12500000	0.12500000	4.02	0.1155

Anexo 4. Esquemas de los túneles