UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

PRODUCCION DE ZANAHORIA (Daucus carota L.), BAJO RIEGO POR CINTAS DE ASPERSION, CON TRES NIVELES DE HUMEDAD Y DOS NIVELES DE FERTILIZACION (COMUNIDAD MANTECANI, PROVINCIA AROMA)

Juan Carlos Alanoca Espejo

La Paz, Bolivia
2005

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

PRODUCCION DE ZANAHORIA (*Daucus carota L.*), BAJO RIEGO POR CINTAS DE ASPERSION, CON TRES NIVELES DE HUMEDAD Y DOS NIVELES DE FERTILIZACION (COMUNIDAD MANTECANI, PROVINCIA AROMA)

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

Juan Carlos Alanoca Espejo

Tutor:

Ing. M.Sc. Rubén Camacho Mérida .....

Asesores:

Ing. M.Sc David Morales Velásquez .....

Ing. Agr. Rolando Céspedes Paredes .....

Comité Revisor:

Ing. M.Sc.Paulino Ruiz Huanca .....

Ing. Agr. René Calatayud Valdez .....

Ing. Agr. Roberto Miranda Casas .....

APROBADA

Decano:

Ing. M.Sc. Jorge Pascuali Cabrera .....

DEDICADO A:

Mis padres: Juan y Máxima, quienes con cariño y fe me apoyaron en cada instante de mi vida.

Mis hermanos: Edgar, Miriam, Vladimir y Edwin, que en las buenas y en las malas estuvieron constante e impacientemente insistiendo en la culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo desinteresado de personas que gentilmente cooperaron en las diferentes etapas de elaboración del mismo. Por tanto, quedo profundamente agradecido a:

- Nuestro Creador quien me dio la vida y entendimiento para comprender la maravillosa ciencia de su creación.
- A mi familia, por el apoyo incondicional que me brindaron.
- A la Universidad Mayor de San Andrés, universidad de nuestro pueblo, que me acogió en aulas de la Facultad de Agronomía y me dio la oportunidad de contar con una profesión.
- A mi tutor, Ingeniero Agrícola M.Sc. Rubén Camacho Mérida, quien con desprendimiento y voluntad apoyó la ejecución y seguimiento del trabajo de campo.
- A mi asesor, Ing. Agr. M.Sc. David Morales Velásquez, que pacientemente fue revisando y corrigiendo el presente documento.
- Al Ing. Agr. Rolando Céspedes Paredes y al Ing. Ph.D. René Chipana Rivera por la enseñanza en el manejo de recursos hídricos.
- A mis revisores: Ing. Agr. Paulino Ruiz Huanca, Ing. Agr. René Calatayud Valdez e Ing. Agr. Roberto Miranda Casas, por las sugerencias y el tiempo que sacrificaron en la revisión del documento.
- A la familia Helguero, por la colaboración y atención durante mi permanencia en la comunidad de Mantecani.
- A mis amigos y compañeros: Juan José, Jhonny, René y Noemí con quienes compartí momentos de alegría y estudio.
- Finalmente a María, compañera de tesis, por el apoyo, consejos y enseñanza durante toda la investigación.

A todos ellos. . . . . .

GRACIAS.

INDICE

Pág.

RESUMEN

I. INTRODUCCION. 1

1.1 Objetivos. 2

1.2 Hipótesis. 2

II REVISION BIBLIOGRAFICA. 3

2.1 La zanahoria. 3

2.1.1 Importancia del cultivo. 3

2.1.2 Características botánicas de la zanahoria. 4

2.1.3 Características taxonómicas. 6

2.1.4 Agroecología del cultivo de la zanahoria. 6

2.1.5 Requerimiento de humedad. 6

2.1.6 Requerimiento de suelo. 7

2.1.7 Requerimiento de nutrientes y fertilización. 8

2.2 Producción de zanahoria en Bolivia. 10

2.3 Necesidad de agua de los cultivos. 11

2.3.1 El agua del suelo. 11

2.3.1.1 Clasificación del agua en el suelo. 11

2.3.1.2 Estados de humedad del suelo. 12

2.3.1.3 Agua disponible total (AD). 13

2.3.1.4 Contenido de agua en el suelo. 13

2.3.1.4.1 Lámina de agua. 13

2.3.1.5 Estado energético del agua en el suelo. 14

2.3.1.5.1 Potencial matricial. 14

2.3.1.5.2 Potencial gravitacional. 15

2.3.1.5.3 Potencial osmótico. 15

2.3.1.5.4 Potencial de presión. 15

2.3.1.5.5 Potencial total. 16

2.3.1.6 Curva de retención de humedad. 16

2.3.1.7 Medida y control del agua del suelo. 17

2.3.1.7.1 Medición directa del contenido hídrico del suelo. 17

2.3.1.7.2 Medición indirecta del contenido hídrico del suelo. 17

2.3.1.7.3 Medición directa del potencial hídrico. 17

2.3.1.7.4 El tensiómetro. 18

2.3.1.7.5 Principios de funcionamiento. 18

2.3.2 El agua en la planta. 19

2.3.2.1 Factores que determinan el consumo de agua en la planta. 20
2.3.2.2 Circulación del agua a través de la planta. 20
2.3.2.3 Movimiento del agua en relación con la transpiración. 22

2.4 Riego. 23
2.4.1 Necesidad de riego en el altiplano. 25
2.4.2 Programación del riego. 25
2.4.3 Métodos de programación de riegos. 26
Métodos basados en el estado hídrico del suelo. 26
Métodos basados en el estado hídrico de la planta. 27
Métodos basados en el balance hídrico del conjunto: suelo-planta-atmósfera..... 27
2.4.4 Riego por aspersión. 27
2.4.4.1 Riego por el método de cintas de aspersión. 27

2.5 Fertilidad del suelo. 28
2.5.1 Necesidad de la fertilización de suelos. 29
2.5.2 Papel del fósforo en la vida de las plantas. 29

2.6 Análisis marginal en la selección de la tecnología a recomendar 30

III MATERIALES Y METODOS. 32

3.1 Localización del ensayo. 32
3.1.1 Ubicación Geográfica. 32
3.1.2 Clima. 32
3.1.3 Suelo. 32
3.1.4 Agua. 32
3.1.5 Vegetación. 32

3.2 Materiales. 33
3.2.1 Material de campo. 33
3.2.2 Material vegetal 33
3.2.3 Material químico 33
3.2.4 Material de riego 34
3.2.5 Material de gabinete. 34

3.3 Metodología. 35
3.3.1 Análisis de suelos y aguas 35
3.3.2 Determinación de los parámetros de riego. 35
3.3.3 Determinación de los niveles de fertilización. 37
3.3.4 Diseño Experimental. 37
3.3.5 Manejo del cultivo. 39
3.3.5.1 Preparación del terreno y fertilización. 39
3.3.5.2 Siembra. 39

3.3.5.3 Riego. 40
3.3.5.3.1 Instalación del sistema de riego. 40
3.3.5.3.2 Manejo de los tensiómetros. 40
3.3.5.4 Deshierbe. 42
3.3.5.5 Cosecha. 42
3.3.6 Variables de respuesta agronómica. 42
3.3.6.1 Altura de planta. 42
3.3.6.2 Diámetro de raíz. 42
3.3.6.3 Longitud de raíz. 42
3.3.6.4 Rendimiento. 43
3.3.7 Análisis de los costos parciales de los tratamientos. 43
3.3.7.1 Análisis de dominancia. 44
IV RESULTADOS Y DISCUSIONES. 45
4.1 Análisis de suelo. 45
4.1.1 Propiedades físicas del suelo. 45
4.1.2 Propiedades hidrofísicas del Suelo. 45
4.1.3 Propiedades químicas del suelo. 46
4.2 Análisis Químico del agua de Riego. 46
4.3 Parámetros de riego. 47
4.3.1 Velocidad de infiltración básica (VIB). 47
4.3.2 Niveles de humedad. 48
4.3.3 Tiempo de riego. 49
4.4 Niveles de fertilización. 49
4.5 Análisis de las variables de respuesta. 49
4.5.1 Altura de planta. 50
4.5.1.1 Análisis de varianza para altura de planta. 50
4.5.2 Diámetro de raíz. 51
4.5.2.1 Análisis de varianza para diámetro de raíz. 51
4.5.2.2 Comparación de medias de Duncan para niveles de fertilización. 52
4.5.3 Longitud de raíz. 53
4.5.3.1 Análisis de varianza para longitud de raíz. 53
4.5.3.2 Comparación de medias de Duncan para longitud de raíz. 54
4.5.4 Rendimiento del cultivo de la zanahoria. 54
4.5.4.1 Análisis de varianza para rendimiento. 54
4.5.4.2 Análisis de varianza para efectos simples en rendimiento. 55
4.5.4.3 Duncan para efectos simples de la Interacción niveles de humedad y niveles de fertilización. 55

4.6 Análisis económico. 59
4.7 Análisis de dominancia. 59
V. CONCLUSIONES. 62
VI RECOMENDACIONES. 64
VII BIBLIOGRAFIA. 65
ANEXOS.

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Raíces comestibles de una planta de zanahoria..... 3
Figura 2. Detalle de las partes que conforman una planta de zanahoria.....4
Figura 3. Umbela, inflorescencia de la planta de zanahoria..... 5
Figura 4. Componentes principales de un tensiómetro.....18
Figura 5. Esquema de un corte típico de hoja mostrando la comunicación de espacios aéreos del mesófilo 22
Figura 6. Cinta de aspersión funcionando.....28
Figura 7a. Curva de infiltración..... 47
Figura 7b. Curva de velocidad de infiltración básica.....47
Figura 8. Curva de retensión de humedad.....48
Figura 9. Altura de planta de zanahoria, para los tratamientos.....50
Figura 10. Diámetro de raíz de zanahoria, para los tratamientos..... 51
Figura 11. Longitud de raíz de zanahoria, para los tratamientos.....53
Figura 12. Gráfico de efectos simples del rendimiento en la interacción de niveles de humedad por niveles de fertilización..... 56

INDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Extracción de nutrientes del cultivo de la zanahoria..... 8
Cuadro 2. Producción de zanahoria en Bolivia..... 10
Cuadro 3. Intervalo de humedad disponible..... 13
Cuadro 4. Profundidad de instalación de los tensiómetros por cada nivel de humedad..... 41
Cuadro 5. Lectura de tensiómetros para decidir cuando regar.....41
Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo..... 45
Cuadro 7. Propiedades hidrofísicas del suelo..... 45
Cuadro 8. Propiedades químicas del suelo..... 46
Cuadro 9. Resumen del análisis químico del suelo..... 46
Cuadro 10. Niveles de humedad.....48
Cuadro 11. Tiempo de riego para los niveles de humedad.....49

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Análisis de varianza para altura de planta..... 50
Tabla 2. Análisis de varianza para diámetro de raíz..... 51
Tabla 3. Comparación de medias de Duncan para niveles de fertilización..... 52
Tabla 4. Análisis de varianza para longitud de raíz.....53
Tabla 5. Comparación de medias de Duncan para niveles de fertilización.....54
Tabla 6. Análisis de varianza par rendimiento..... 54
Tabla 7. Análisis de varianza para efectos simples de rendimiento.....55
Tabla 8. Tabla de doble entrada en la interacción..... 46
Tabla 9. Análisis de dominancia para el cultivo de zanahoria,
con niveles de humedad y niveles de fertilización.....59

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelos.
Anexo 2. Normas para la interpretación del análisis físico-químicos de suelos.
Anexo 3. Determinación del contenido de N, P, K conforme el análisis de suelo.
Anexo 4. Determinación de la cantidad de fertilizantes para cada nivel del ensayo.
Anexo 5. Análisis de agua.
Anexo 6. Normas para la interpretación del análisis químico de aguas.
Anexo 7. Ecuación de Van Genuchten.
Anexo 8. Valores de humedad volumétrica a diferentes tensiones matriciales
Anexo 9. Niveles de humedad, lámina de riego y tiempo de riego.
Anexo 10. Prueba de infiltración (Cilindros infiltrómetros).
Anexo 11. Información general para el diseño del sistema de riego.
Anexo 12. Información climatológica y Balance hídrico.
Anexo 13. Diseño del riego
Anexo 14. Análisis de costos parciales en la producción de zanahoria.
Anexo 15. Fotografías.
Anexo 16. Análisis de varianza.

RESUMEN

La agricultura tradicional del altiplano, se caracteriza por sus bajos rendimientos, atribuibles al deficiente manejo de factores de producción como el riego y la fertilidad de los suelos. A pesar de que algunas comunidades cuentan con recursos hídricos, la falta de tecnología de riego no logra compensar los altos costos de producción, en cuanto a insumos y mano de obra permaneciendo los niveles de pobreza.

Debido a esta situación, el presente trabajo fijo sus objetivos en el manejo eficiente del agua asociado con la fertilización de los suelos, con el propósito de producir zanahoria con rendimientos económicamente aceptables.

Para este fin se realizó el trabajo de campo, evaluando la condición actual del suelo y el agua para brindar al cultivo de zanahoria las condiciones apropiadas para su desarrollo.

Primeramente se realizó la preparación del terreno para fertilizarla con los siguientes niveles: 150-97-00 y 150-102-00. Una vez sembrado el terreno se procedió a la instalación del sistema de riego para aplicar las siguientes láminas: 16 mm, 27 mm y 33 mm para un contenido de humedad (θi) de: 0.39713, 0.32703 y 0.28652 m^3/m^3 y un potencial matricial (Ψ)de:0.21, 0.36 y 0.51.

Los factores de estudio fueron: tres niveles de humedad y dos niveles de fertilización, formando una combinación de seis tratamientos, dispuestos en un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas.

Las variables de respuesta consideras fueron. Altura de planta, diámetro de raíz, longitud de raíz y rendimiento del cultivo de zanahoria.

Evaluando los resultados obtenidos en cuanto al rendimiento, el segundo nivel de fertilización manifestó los mejores rendimientos comparados con el primer nivel de fertilización sea cual fuere el nivel de humedad empleado. El tratamiento T_4 (h_2n_2) obtuvo el mayor rendimiento con 80.41 tn/ha, mientras que el tratamiento T_1(h_1n_1) obtuvo el menor rendimiento con 59.94 tn/ha.

El análisis de los costos parciales de producción de los tratamiento, determinó que el tratamiento T_4 (h_2n_2) obtiene el mayor beneficio neto, con Bs26,669.52. y el análisis de dominancia seleccionó como mejores tratamientos al T_4(h_2n_2) seguido por los tratamientos: T_6(h_3n_2), T_3(h_2n_1) y T_5(h_3n_1).

En base a los resultados obtenidos, se sugiere: aplicar el tratamiento T_4(h_2n_2) como la mejor alternativa para la producción de zanahoria en las condiciones estudiadas.

I. INTRODUCCION.

La agricultura campesina que se concentra principalmente en la región del altiplano y los valles, constituye el principal segmento productivo de la agricultura boliviana.

Las prácticas tradicionales de cultivo se caracterizan por sus bajos rendimientos, atribuibles a un deficiente manejo de factores de producción como el riego y la fertilidad de los suelos, que se reflejan en altos costos de producción en cuanto a la utilización de mano de obra que es el único recurso de plena disposición del campesino.

La escasa tecnología de riego que tienen las comunidades, no permiten neutralizar la vulnerabilidad de los cultivos a factores climáticos adversos, permaneciendo la contracción de los niveles productivos que al ser insuficientes para la familia del agricultor, profundizan su nivel de pobreza.

La búsqueda continua de alternativas y la esperanza de mejorar esta situación, obliga a realizar estudios sobre la producción de diferentes cultivos entre los que se halla la zanahoria (*Daucus carota*).

En este sentido, el presente trabajo pretende mejorar la utilización del agua asociada con la fertilización, con el propósito de obtener una producción agrícola con rendimientos económicamente aceptables.

1.1 Objetivos.

Objetivo general.

- Evaluar la producción de zanahoria bajo riego por cintas de aspersión, con tres niveles de humedad y dos niveles de fertilización.

Objetivos específicos.

- Determinar las láminas y frecuencias de riego de acuerdo al contenido de humedad del suelo.
- Determinar el efecto del contenido de humedad y fertilización en los tratamientos.
- Evaluar el rendimiento de los diferentes tratamientos.
- Evaluar los costos parciales de los tratamientos.

1.2 Hipótesis.

- Las láminas y frecuencias de riego no presentan diferencias para los contenidos de humedad.
- Los tratamientos no presentan efecto con el contenido de humedad y fertilización.
- No existen diferencias significativas en cuanto al rendimiento de los tratamientos.
- No existen diferencias significativas en los costos parciales de los tratamientos.

II REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1 La zanahoria.

Es una planta de la familia de las umbelíferas, originaria de Europa y Asia, ampliamente distribuida y cultivada por todas las regiones templadas. El nombre se aplica también a la raíz de la planta que puede ser silvestre o cultivada. La variedad cultivada es una hortaliza muy apreciada, es bianual, durante el primer año forma una roseta de hojas finamente divididas y almacena nutrientes en la raíz, que se vuelve grande, carnosa y comestible, estas zanahorias de primer año son las que se recolectan para el consumo (Maroto, 1995).

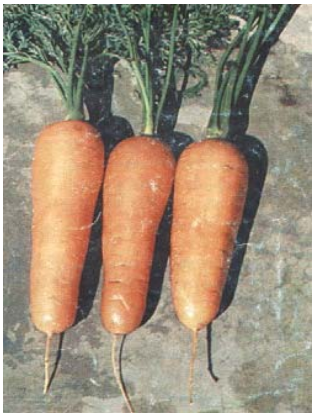


Fig. 1 Raíces comestibles de una planta de zanahoria.

2.1.1 Importancia del cultivo.

Dentro de la familia de las umbelíferas, la zanahoria es la más conocida y la más importante de las hortalizas de raíz, dada la demanda de que es objeto y a la superficie sembrada que ocupa. Es una hortaliza rica en caroteno, precursor de vitamina A con cantidades de tiamina y riboflavina (Valadez, 1993).

Esta raíz puede ser consumida en estado crudo, en forma de ensalada, o cocida. Su mayor importancia desde el punto de vista alimentario se debe a su contenido

elevado en pro vitamina A en la zona cortical de su raíz. Este contenido oscila entre 10.000 y 15.000 UI en cada 100 gr de raíz (Vigliola et al., 1992).

2.1.2 Características botánicas de la zanahoria.

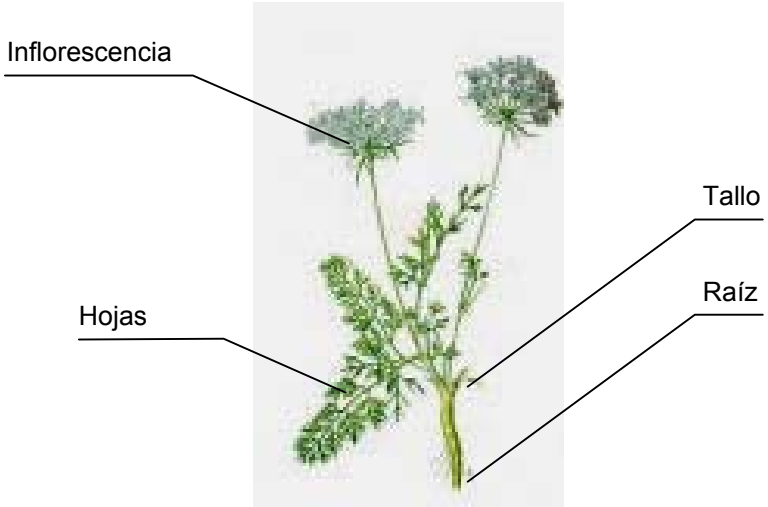


Fig. 2 Detalle de las partes que conforman una planta de zanahoria.

Hojas.

Las hojas de la zanahoria son compuestas, con foliolos marcadamente hendidos y en algunos casos poseen vellos. De acuerdo con las distintas variedades, los pecíolos pueden ser más o menos largos y el color de las hojas puede variar de verde claro a oscuro (Huerres y Caraballo, 1991).

Tallo.

El tallo es muy rudimentario y está reducido a un pequeño disco o corona en la parte superior de la raíz, con una longitud de 1.0 a 2.5 cm (Vigliola et al., 1992).

Raíz.

La forma de la raíz en las distintas variedades puede ser diversa, las hay cilíndricas, cónicas, etc. Su superficie puede ser lisa aunque regularmente presenta rugosidades, con pequeñas hendiduras denominadas lenticelas, a través

de las cuales se puede producir un intercambio gaseosos entre la raíz y el medio que la rodea (Huerres y Caraballo, 1991).

La coloración de la raíz es generalmente amarilla, anaranjada o roja. Su longitud puede variar de 15 a 18 cm., su sistema de raíces laterales, que deriva de la raíz principal, alcanza a desarrollarse entre 120 y 150 cm, extendiéndose hasta 90 cm (Valadez, 1993).

Inflorescencia.

La inflorescencia es una umbela compuesta subglobosa, formada por umbelas primarias y secundarias, las flores siempre son blancas, menos las centrales de cada umbela, que son de color rosado o púrpura, siendo a veces todas coloreadas. Cada flor esta compuesta por cinco pétalos y cinco estambres; son hermafroditas, pero algunas veces pueden haber flores femeninas y masculinas (Valadez, 1993).

Fig. 3 Umbela, inflorescencia de la planta de zanahoria.

Fruto y semillas.

El fruto es un diaquenio y las semillas son pequeñas (3 mm), elípticas, de color café claro (Valadez, 1993) y con dos caras asimétricas, una plana y otra convexa, provista en sus extremos de unos aguijones curvados (Maroto, 1995).

2.1.3 Características taxonómicas.

La taxonomía general de la zanahoria según Valadez (1993) es la siguiente:

Familia	: Umbeliferae
Género	: Daucus
Especie	: carota
Nombre común	: Zanahoria

2.1.4 Agroecología del cultivo de la zanahoria.

La zanahoria es una planta de clima templado, puede tolerar heladas, aunque también se puede aprovechar en época cálida. La temperatura de germinación debe ser mayor de 5 °C (Valadez, 1993).

El Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (INAT, 2000), menciona que, las condiciones de óptima producción de la zanahoria, se presenta a temperaturas entre los 13° y 18 °C, en suelos con una profundidad moderada, buen contenido de humedad y adecuadas condiciones de drenaje, además el pH debe estar entre los 6 y 6.5 lo cual establece condiciones de ligera acidez.

2.1.5 Requerimiento de humedad.

La zanahoria constituye un cultivo que requiere humedad constante en el suelo para lograr raíces con forma y calidad apreciables por el mercado. El requerimiento total de agua durante todo el ciclo es de 400 a 600 milímetros. (Vigliola et al., 1992).

Para Valadez (1993) comercialmente esta hortaliza requiere un promedio de 6 a 10 riegos, teniendo cuidado de que no le falte agua en la etapa adulta después de los 70 días, lo cual provocaría rajaduras en la parte comestible de la zanahoria.

Por su parte Huerres y Caraballo (1991) diferencian la exigencia de humedad de este cultivo en las diferentes fases de su desarrollo de la siguiente manera:

- Durante la fase de germinación de las semillas, la capa superficial del suelo debe estar medianamente húmeda. Si se presenta una oscilación severa, gran parte de la semilla no germina, disminuyendo la densidad de la población.

- Después de la germinación, la fase de crecimiento inicial es muy lenta, además el sistema radical es débil, por lo que se debe mantener una humedad adecuada.

- Después que se han formado las raíces carnosas, no se debe mantener las plantas bajo oscilaciones de humedad en el suelo, por que un gran porcentaje de raíces se agrietan. De la misma manera cuando las plantas permanecen en suelos con exceso de humedad, las raíces son afectadas grandemente, disminuye la respiración alterándose su desarrollo, incluso llegan a morir.

La falta de humedad del suelo, además de disminuir la producción, origina raíces con forma y tamaño no deseadas. Mientras que los excesos de humedad, genera competencia por el confort de las raíces y lava el contenido de nutrientes del suelo (INAT, 2000).

En caso de sufrir sequías, la raíz adquiere un aspecto menos cilíndrico y se forma sobre el periciclo un reticulado fibroso que deprecia el valor de esta raíz hortícola (Maroto, 1995).

2.1.6 Requerimiento de suelo.

En el desarrollo del sistema radical de este cultivo, el suelo ejerce una marcada influencia por lo que se debe tener un cuidado especial en este requerimiento.

Textura.

La zanahoria requiere suelos profundos, de textura ligera, con buen contenido de arena y que retengan bien la humedad. Los terrenos compactos y pesados originan raíces con fibrosidades endurecidas que las deprecian por el menor peso,

diámetro y longitud, siendo además propensos al desarrollo de podredumbres (Maroto, 1995).

Aireación.

Cuanto mejor sea la aireación del suelo y del subsuelo, mas fuerte se desarrollará el sistema de raíces. En suelos con buena aireación, las lenticelas se desarrollan en menor grado y en los suelos pesados, en mayor grado; esta característica determina la superficie lisa o rugosa de la raíz carnosa (Huerres y Caraballo, 1991).

pH y Salinidad.

De acuerdo a su pH, la zanahoria es clasificada como ligeramente tolerante a la acidez, siendo su rango de pH de 6.8 a 5.5. En lo referente a la salinidad, la zanahoria está clasificada como medianamente tolerante, con valores de 10 a 4 mmhos (Valadez, 1993).

2.1.7 Requerimiento de nutrientes y fertilización.

Una cosecha de 40 tn/ha extrae del suelo la siguiente relación de nutrientes:

Cuadro 1. Extracción de nutrientes del cultivo de la zanahoria.

N (kg)	P_2O_5 (kg)	K_2O (kg)	CaO (kg)
125	55	200	150

Fuente: INAT, 2000

Vigliola et al. (1992), hace referencia sobre este tema indicando que, la fertilización química es común en zonas de riego, principalmente con fertilizantes nitrogenados, mientras que en zonas de producción a secano no es una práctica común.

A continuación se describen las propiedades de los principales nutrientes que requiere el cultivo de la zanahoria.

Nitrógeno.

La fertilización nitrogenada tiene una influencia importante sobre el contenido en vitaminas y caroteno. La aportación de nitrógeno en forma nítrica acelera el cambio de coloración de amarillo a rojo (Maroto, 1995).

Los excesos de este elemento provocan que las raíces no sean suficientemente dulces y no aptas para el almacenamiento, además se agrietan y aumenta la susceptibilidad a enfermedades fungosas (Huerres y Caraballo, 1991).

Valadez (1993), recomienda utilizar sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, y cuando se utilice urea debe tenerse mucho cuidado con su aplicación, ya que podría provocar formación de raíces dobles si el fertilizante se coloca por debajo de la raíz y/o de la semilla.

Fósforo.

Con un suministro adecuado de fósforo se logran zanahorias de excelente calidad, con elevado contenido de azucares y mayor resistencia al almacenaje, pero la deficiencia de este elemento, produce que el follaje adquiera un color rojizo muy característico, fundamentalmente en las hojas más viejas (Maroto, 1995).

Potasio.

La presencia de este elemento aumenta los contenidos de azúcar y mejora la resistencia durante el almacenaje, al igual que el fósforo. Su deficiencia provoca crecimiento exiguo y hojas curvadas hacia atrás, también produce quemadura marginal de los foliolos de las hojas más viejas, seguida de una coloración parda generalizada y colapso (Huerres y Caraballo, 1991).

Calcio.

Guenkov citado por Huerres y Caraballo (1991), señala que para obtener zanahorias de buenas propiedades de conservación y de excelente cualidad gustativa, debe recibir suficiente cantidad de fósforo y calcio. Su deficiencia provoca que los pecíolos se colapsen y lleguen a secarse las hojas

produciéndose una pudrición hueca en la raíz carnosa, ya que las células situadas debajo de la epidermis son especialmente susceptibles al déficit de calcio en el suelo.

2.2 Producción de zanahoria en Bolivia.

El departamento de Cochabamba es el principal productor de zanahoria de Bolivia. Presenta una superficie cultivada de 2,410 hectáreas, con una producción total de 24,585 toneladas y un rendimiento de 10.2 toneladas por hectárea.

El departamento de La Paz ocupa el quinto lugar como productor de esta hortaliza, llegando a tener una superficie cultivada de 155 hectáreas con una producción de 1,431 toneladas y un rendimiento de 9.2 toneladas por hectárea.

Cuadro 2. Producción de zanahoria en Bolivia.

Año	Chuquisaca	La Paz	Cochabamba	Oruro	Potosí	Tarija	Santa Cruz	TOTAL
1999								
Superficie cultivada (ha)	112	152	2,367	122	284	248	365	3,650
Rendimiento (kg/ha)	9,230	9,138	10,088	6,769	6,890	9,117	10,012	9,589
2000								
Superficie cultivada (ha)	113	154	2,400	123	288	252	370	3,700
Rendimiento (kg/ha)	9,366	9,272	10,236	6,868	6,991	9,251	10,159	9,730
2001								
Superficie cultivada (ha)	113	155	2,406	124	289	252	371	3,710
Rendimiento (kg/ha)	9,342	9,249	10,211	6,851	6,973	9,228	10,134	9,706
2002								
Superficie cultivada (ha)	113	155	2,408	124	289	253	371	3,713
Rendimiento (kg/ha)	9,337	9,243	10,204	6,847	6,969	9,222	10,128	9,700
2003								
Superficie cultivada (ha)	114	155	2,410	124	289	253	372	3,715
Rendimiento (kg/ha)	9,335	9,242	10,203	6,846	6,968	9,221	10,126	9,699

Fuente: Dirección de Estadísticas. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, 2003.

2.3 Necesidad de agua de los cultivos.

2.3.1 El agua del suelo.

El suelo es un sistema de gran complejidad, constituido por material sólido, líquido y gaseoso. La fase sólida puede ser mineral y orgánica, la fase líquida es el agua, que llena total o parcialmente los espacios libres entre las partículas de suelo y que varía en su composición química y en su facilidad de movimiento (Gurovich, 1985).

2.3.1.1 Clasificación del agua en el suelo.

Debido a la capacidad de los suelos de retener agua de dos maneras: en los poros existentes en la matriz sólida (agua capilar) y sobre la superficie de esta (agua adsorbida), el agua del suelo se clasifica en tres clases:

a) **Agua higroscópica.**

   Es el agua adsorbida de una atmósfera de vapor de agua, como resultado de las fuerzas de atracción de la superficie sólida de las partículas del suelo sobre las moléculas de agua, (Martín de Santa Olalla y De Juan,1993).

   Esta clase de agua se presenta como una fina película alrededor de las partículas del suelo, probablemente de espesor de sólo dos o tres capas de moléculas de agua (Coras,1995).

b) **Agua capilar.**

   Es el agua retenida en los poros pequeños del suelo (microporos) que poseen efecto capilar y que está retenida por fuerzas debidas a la tensión superficial (Martín de Santa Olalla y De Juan,1993).

   Coras (1995) considera al agua capilar, como el agua aprovechable constituida en su mayor parte por la solución del suelo.

c) **Agua de gravitación.**

Es aquella que ocupa temporalmente el volumen de aireación, y que fluye bajo la acción de la gravedad, al no poderla sostener el suelo (Martín de Santa Olalla y De Juan,1993).

Es el agua que drena por acción de la gravedad de la zona radicular de los cultivos, la cual es más rápida en suelos arenosos que en arcillosos (Coras, 1995).

2.3.1.2 Estados de humedad del suelo.

Desde el punto de vista de su utilización por las plantas hay que diferenciar los siguientes estados del agua en el suelo descrito según Martín de Santa Olalla y De Juan (1993):

a) *Saturación*, es la cantidad de agua expresada en forma gravimétrica que un suelo contiene cuando todos sus poros están llenos de agua.

b) *Capacidad de campo*, es la cantidad de agua, expresada como humedad gravimétrica en porcentaje, de un suelo que ha sido mojado abundantemente por riego o por lluvia y después dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración, hasta que la intensidad del drenaje sea despreciable. Tradicionalmente se le ha asignado a la capacidad de campo un valor de tensión de humedad comprendida entre 0.1 atmósferas para suelos livianos y 0.3 atmósferas para suelos pesados.

c) *Punto de marchitez permanente*, es el contenido de humedad en la zona de las raíces, en el cual la planta marchita ya no puede lograr recobrar igual turgencia al colocarla en una atmósfera saturada por 12 horas. Es la cantidad de agua retenida por el suelo a una tensión de humedad de 15 bar.

d) *Humedad equivalente,* expresa la cantidad de agua como porcentaje gravimétrico, retenida por un suelo a 0.1 bar, que se satura inicialmente con

agua, de un centímetro de profundidad cuando se le somete a una fuerza centrífuga de mil veces la aceleración de la gravedad.

2.3.1.3 Agua disponible total (AD).

Denominado también intervalo de humedad disponible o agua utilizable, que puede ser absorbida a un ritmo adecuado como para permitir el crecimiento normal de las plantas que viven sobre el suelo. Se suele calcular, expresándolo en porcentaje de suelo seco, restando al valor de la capacidad de campo el del correspondiente al del punto de marchites permanente. (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

$$AD = CC - PMP \qquad (1)$$

Cuadro 3. Intervalo de humedad disponible.

Suelo seco en estufa	Punto de marchitamiento 15 bar	Capacidad de campo 0.33 bar	Humedad de saturación
Agua no disponible >15 bar	**AGUA DISPONIBLE**		Agua gravitacional 0.1 bar
Humedad →			

Fuente: Martín de Santa Olalla y De Juan (1993).

2.3.1.4 Contenido de agua en el suelo.

2.3.1.4.1 Lámina de agua.

La lámina de agua es el espesor de agua que queda almacenado en el suelo y puede ser expresado según Chipana (1996) por la siguiente ecuación:

$$L = \theta * Z \qquad (2)$$

Donde:

L = Lámina de agua (m)
θ = Humedad volumétrica (m^3/m^3)
Z = Profundidad de aplicación (m)

2.3.1.5 Estado energético del agua en el suelo.

Desde el punto de vista de la producción agrícola, junto con el contenido en agua de un suelo, es imprescindible conocer también la energía con que esa agua está retenida, ya que el movimiento de la misma hacia la planta, hacia la atmósfera y hacia otras zonas del suelo son procesos regulados por diferencias de estados energéticos (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

El agua del suelo, como otros cuerpos en la naturaleza, puede contener energía en diferentes formas y cantidades. La física clásica reconoce dos formas principales de energía: cinética y potencial. Dado que el movimiento de agua en el suelo es relativamente lento en condiciones normales, su *energía cinética* – proporcional al cuadrado de la velocidad- se considera generalmente sin importancia. Por otra parte, la *energía potencial*, debida a posición o condición interna dentro del sistema, es de primordial importancia para determinar el estado de energía y el movimiento de agua en el suelo (Gurovich, 1985).

Martín de Santa Olalla y De Juan (1993) indican, que el potencial del agua del suelo, del modo que se ha definido, es una magnitud escalar, se puede descomponer en suma algebraica de tantos componentes como fuerzas distintas contribuyen al potencial total, y así para un suelo isotérmico se puede descomponer en los siguientes componentes:

$$\psi_T = \psi_m + \psi_g + \psi_p + \psi_o \qquad (3)$$

Donde:

ψ_T: potencial total del agua del suelo.
ψ_m : potencial matricial
ψ_g: potencial gravitatorio
ψ_p: potencial de presión
ψ_o: potencial osmótico

2.3.1.5.1 Potencial matricial.

Es la parte del potencial del agua que se debe a las fuerzas de atracción del agua por las superficies sólidas del suelo (matriz del suelo) y a las fuerzas de atracción

molecular entre las propias moléculas de agua. El conjunto de estas fuerzas hace que el agua sea retenida por adsorción y por capilaridad en los suelos por debajo del nivel de saturación (Chipana, 1996).

El INAT (2000) menciona que el potencial matricial es el componente más importante del potencial total de agua en el suelo y es el parámetro más útil para programar y manejar el riego.

2.3.1.5.2 Potencial gravitacional.

Es la parte del potencial del agua que se debe a la fuerza de la gravedad (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

El potencial gravitacional del agua del suelo en cualquier punto está determinado por la elevación del punto en relación a algún nivel de referencia arbitrario (Gurovich, 1985).

2.3.1.5.3 Potencial osmótico.

Es la parte del potencial, que resulta de las fuerzas de atracción que ejercen los solutos sobre las moléculas del disolvente (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

El potencial osmótico se relaciona con la concentración de sales en la solución del suelo, afectando la capacidad de las plantas de absorber el agua del suelo. En condiciones de agua y suelos no salinos es normalmente ignorado (INAT, 2000).

2.3.1.5.4 Potencial de presión.

El potencial de presión ha sido definido como ”la cantidad de trabajo que debe realizarse por unidad de cantidad de agua pura, para transportar de manera isotérmica y reversible, una cantidad infinitesimal de agua desde un depósito que contiene una solución de idéntica composición del suelo, sometida a la presión atmosférica, hasta el agua del suelo en el punto considerado” (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

2.3.1.5.5 Potencial total.

El potencial total del agua a sido definido como ”la cantidad de trabajo que debe realizarse por unidad de cantidad de agua pura, para transportar de manera isotérmica y reversible, una cantidad infinitesimal de agua desde un recipiente situado a una altura elegida arbitrariamente, que contiene agua libre y pura y a la presión atmosférica, hasta el punto considerado” (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

2.3.1.6 Curva de retención de humedad.

La curva de retención es la representación de forma gráfica del contenido de humedad de un suelo respecto a la tensión con que esta es retenida por el mismo.

Cada suelo posee una curva característica y esta curva depende estrictamente de la textura que tiene el suelo. Una vez calibrada la curva y con la ayuda de un instrumento para medir el potencial matricial, se puede medir las tensiones y luego determinar a través de la gráfica los valores del contenido de humedad del suelo en el mismo instante (Agudelo, 2000).

Las curvas de retención de humedad según Coras (1995) se usan:

- Para determinar la porción de agua que puede ser fácilmente absorbida por los pelos absorbentes del sistema radical de las plantas y para clasificar los suelos para fines de riego.
- Para determinar la relación entre la tensión de humedad y otras propiedades físicas de un suelo, por ejemplo, conductividad térmica, etc.
- Para detectar posibles cambios en la estructura del suelo, por ejemplo, producidos por el laboreo con aperos agrícolas, mezclas de capa de suelos, etc.
- Para el diseño de drenajes.

2.3.1.7 Medida y control del agua del suelo.

La determinación del contenido de agua en el suelo es un dato indispensable para el cálculo de los aportes de riego, mientras que la medición de los estados energéticos (medida de los diversos componentes del potencial) de la misma, es imprescindible si se desea conocer su disponibilidad para las plantas, ya que la respuesta de las mismas a la humedad y a la velocidad de absorción del agua por ellas, están íntimamente relacionadas con el potencial (Fuentes, 1997).

2.3.1.7.1 Medición directa del contenido hídrico del suelo.

El contenido de humedad se puede expresar en forma gravimétrica o volumétrica. Para expresarlo en forma gravimétrica se pesa una muestra de suelo en estado húmedo y, después en estado seco, haciendo el secado en estufa a 105°C hasta peso constante (Fuentes, 1997).

Este método tiene el inconveniente de que el muestreo necesario trastorna en gran medida los cultivos y es muy difícil de realizar en suelos con características pedregosas; de ahí que hoy en día se recurra al empleo de métodos indirectos como la dispersión de neutrones y la reflectometría en el tiempo (TDR), métodos en los cuales, ciertos elementos de los instrumentos de medición quedan permanentemente instalados en el terreno, de modo que puedan tomarse medidas repetidas en un mismo punto (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

2.3.1.7.2 Medición indirecta del contenido hídrico del suelo.

En los métodos que determinan el contenido de agua de un suelo de modo indirecto, lo que se mide no es dicho contenido, sino alguna propiedad relacionada con él, siendo preciso pues, que exista alguna curva de calibración que permitan pasar del valor medido, al contenido hídrico existente en el suelo objeto de medición (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

2.3.1.7.3 Medición directa del potencial hídrico.

Diversos instrumentos son empleados para averiguar el contenido de agua en el suelo, lo que miden verdaderamente es algún componente del potencial o la suma

de ellos. El instrumento más utilizado es el *tensiómetro*, que mide el potencial matricial del suelo (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

2.3.1.7.4 El tensiómetro.

El tensiómetro tiene hoy en día una gran aceptación como instrumento práctico para medir en terreno la succión matricial, la carga hidráulica y las gradientes hidráulicas (Gurovich, 1985).

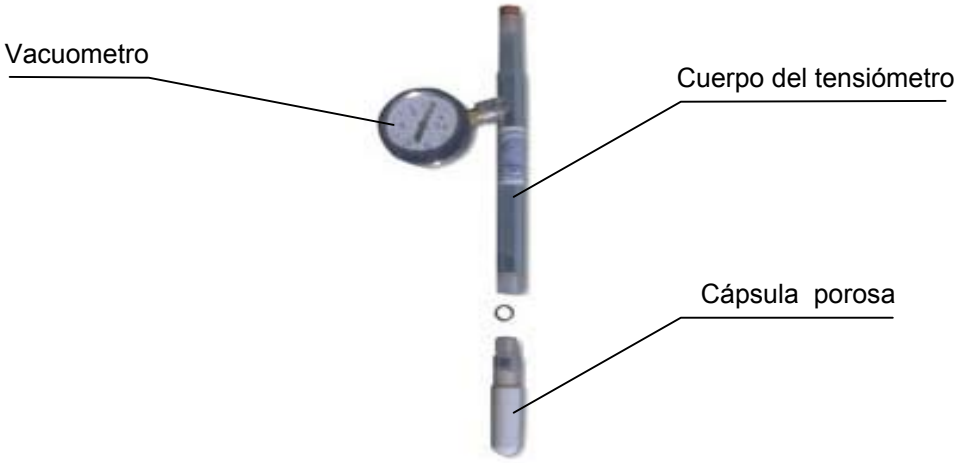


Fig. 4 Componentes principales de un tensiómetro.

Un tensiómetro esencialmente se compone de una cápsula de cerámica porosa llena de agua, que se entierra en el suelo a la profundidad de medición deseada y que está conectada a un manómetro o indicador de vació (vacuometro) por un tubo lleno de agua. La cerámica porosa es permeable al agua y los solutos pero no al aire (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

2.3.1.7.5 Principios de funcionamiento.

Cuando la cápsula es colocada en el suelo donde se va a realizar la medición de succión, la masa de agua dentro la cápsula entra en contacto hidráulico y tiende a equilibrarse con el agua del suelo a través de los poros de la pared de cerámica.

Cuando el tensiómetro esta recién colocado en el suelo, el agua contenida en el interior se encuentra a presión atmosférica. Como el agua del suelo está generalmente sometida a una presión subatmosférica se ejerce una succión que elimina cierta cantidad de agua del tensiómetro rígido, impermeable al aire, causando una baja en la presión hidrostática. Este cambio de presión se indica por un manómetro que puede ser simplemente de agua, de mercurio, una válvula de vacío o un transductor eléctrico (Gurovich, 1985).

Fuentes (1997) indica que, cuando el suelo se seca succiona agua del tubo a través de la cápsula de cerámica, creando en éste un vació parcial que es detectado por el manómetro. Cuanto más seco esté el suelo, mayor cantidad de agua succiona del tubo, creándose un vacío mayor, lo que significa que aumenta la lectura del manómetro. Por tanto, la lectura del manómetro será tanto más elevada cuanto más seco este el suelo. Si en estas condiciones de sequedad el suelo recibe agua (riego, lluvia), se verifica el proceso contrario, es decir, que el tubo succiona agua del suelo y el manómetro indica una lectura más baja.

Un tensiómetro dejado en el suelo por un periodo continuado tiende a seguir los cambios de tensión matricial del agua del suelo. A medida que se va eliminando humedad del suelo por evaporación, drenaje o absorción de las plantas, o que se va agregando agua al suelo por lluvia o riego, se pueden leer en el manómetro las variaciones de succión.

2.3.2 El agua en la planta.

Es imprescindible recordar la importancia del agua en la constitución de los tejidos vegetales. En tanto que algunas docenas de granos de los tres elementos fertilizantes principales, nitrógeno, fósforo, y potasio son suficientes para formar un kilogramo de materia seca, se requiere con frecuencia mas de una tonelada de agua, contando las pérdidas, para efectuar su síntesis.

El agua es el principal regulador de la vida y en caso de la producción agrícola ella se constituye como el insumo más importante

2.3.2.1 Factores que determinan el consumo de agua en la planta.

El complejo “suelo-planta-atmósfera” es un sistema continuo en el cual el agua se desplaza del suelo hacia la superficie de la raíz y luego asciende en la planta hacia las hojas donde se produce el cambio de estados de líquido a vapor.

Este elemento circula gracias a la diferencia de energía potencial entre dos puntos, es decir, a gradientes de potencial hídrico. La planta se presenta como un elemento conductor de agua entre dos bornes de potencial hídrico diferente; el sustrato radical y la atmósfera en inmediato contacto con el follaje. La diferencia de potencial entre el suelo y la planta pueden alcanzar hasta 20 bares; entre la planta y la atmósfera pueden ser de 300 bares y hasta de miles de bares en climas áridos (Fuentes, 1997).

2.3.2.2 Circulación del agua a través de la planta.

Los procesos que regulan la circulación del agua a través de la planta son la absorción y la transpiración.

a) Absorción.

Según Martín de Santa Olalla y De Juan (1993), el agua es absorbida por la planta fundamentalmente por los pelos radicales debido a una diferencia de concentración entre la disolución celular y el medio que la rodea, de modo que mientras la concentración de solutos en el interior celular sea mayor seguirá entrando agua y un aumento de dicha concentración provocará un aumento de la absorción.

La zona de la raíz con mayor eficacia en la absorción del agua es la zona pilífera, ya que en ella existe un xilema diferenciado y epidermis, prácticamente sin suberificar, provista de abundantes pelos radiculares que aumentan enormemente la superficie de contacto con el suelo. Así el agua absorbida, ha de atravesar la corteza de la raíz y verterse en el xilema, subiendo por los conductos leñosos hasta las hojas.

Fuentes (1997) haciendo referencia sobre la absorción, indica, que es el paso del agua desde el suelo hacia la planta y se produce como consecuencia de la diferencia de potencial existente entre el agua del suelo y el de la planta, y tiene lugar a través de los pelos absorbentes de las raíces, mencionando además que a través de los estomas de las hojas también se pueden absorber pequeñas cantidades de agua.

El proceso de la absorción se da en dos maneras según Martín de Santa Olalla y De Juan (1993), las cuales se indican a continuación:

a) *Absorción pasiva,* la mayor parte del agua absorbida por la planta tiene lugar por mecanismos osmóticos. La transpiración, que en la planta tiene lugar en la parte aérea, crea una fuerza de succión interna que favorece la entrada de agua en las raíces. De esta forma la entrada de agua se realiza en forma pasiva.

b) *Absorción activa,* Aunque la absorción activa de agua no es muy significativa hay que considerarla como resultado de la actividad de la raíz, con gasto de energía metabólica consumida en la absorción de sales, pero indirectamente la presión osmótica creada es la responsable de la entrada activa de agua.

b) Transpiración.

Fuentes (1997) define la transpiración, como el paso del agua en estado de vapor desde la planta hacia la atmósfera a través de los *estomas*, que son unos orificios situados en la epidermis de las hojas, aunque también ocurre en pequeña cantidad, a través de la cutícula de otras células epidérmicas.

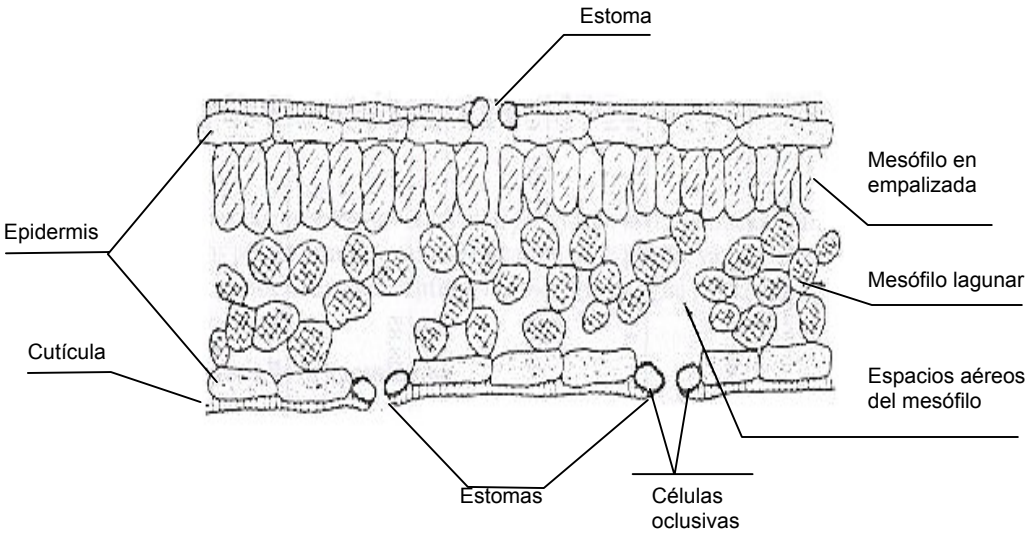


Fig. 5 Esquema de un corte típico de hoja mostrando la comunicación de espacios aéreos del mesófilo.

En el mesófilo de la hoja (parénquima situado entre la epidermis del haz del envés) hay abundantes espacios intercelulares, que facilitan la evaporación del agua por las superficies celulares. La epidermis de la hoja tiene gran cantidad de poros formando los "estomas", que comunican los espacios intercelulares del mesófilo con la atmósfera externa que rodea la hoja (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

De las grandes cantidades de agua extraídas por el sistema radicular, alrededor del 95% lo pierden por transpiración, solo un 5% o menos es utilizada para los procesos fotosintéticos y para los procesos de crecimiento (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

2.3.2.3 Movimiento del agua en relación con la transpiración.

Para explicar el ascenso del agua en la planta a continuación se describen las teorías propuestas según Martín de Santa Olalla y De Juan (1993):

a) Teoría de la cohesión-tensión (Absorción pasiva).

Si una planta transpira con velocidad de normal a intensa, al producirse la evaporación del agua por las superficies de la hoja, se reducirá el potencial hídrico de las células del mesófilo en contacto con los espacios aeríferos de la hoja. Lo que provocará una salida de agua de las células mesofílicas situadas más internamente, disminuyendo por tanto el potencial hídrico de las mismas, lo que inducirá la salida de agua de los conductos xilemáticos de los nervios foliares hacia las células.

A su vez se reducirá el potencial hídrico del xilema y esta disminución se transmite a lo largo de la columna continua de agua del xilema hasta la raíz. El xilema de la raíz disminuye su potencial hídrico y provoca la entrada de agua desde la superficie absorbente de la raíz hacia los conductos xilemáticos, y la columna de agua circula hacia arriba por flujo de masa.

b) Teoría de la presión de raíz (Absorción activa).

Cuando la planta se encuentra en condiciones de transpiración mínima, la teoría de la cohesión no sirve para explicar el movimiento ascendente del agua en la planta.

En este caso, el movimiento se debe a la llamada “presión de raíz”, donde las sales del suelo son absorbidas con gasto de energía, de forma que en el interior de la raíz se alcanza una concentración de sales superior a la del suelo. Al existir esta diferencia de concentraciones, aparece un gradiente decreciente de potencial hídrico que provoca la entrada del agua en la raíz y se produce una presión hidrostática.

2.4 Riego.

El PRONAR (2002) define al riego como la aplicación artificial de agua al suelo, con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su

desarrollo. Así, el riego puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Refrigerar el suelo y la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- Disolver sales contenidas en el suelo.
- Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
- Dar tempero a la tierra.

Gurovich (1983), indica que el agricultor de riego debe formularse cuatro preguntas fundamentales al inicio de su labor:

1) *Por qué regar*, o sea cual es el beneficio que se espera obtener incorporando al riego un suelo de secano.
2) *Cuándo regar,* o con qué frecuencia se debe repetir riegos consecutivos y cual es el criterio para determinar esta frecuencia.
3) *Cuanto regar,* o durante cuanto tiempo o con qué cantidad de agua debe regarse una superficie agrícola.
4) *Cómo regar*, o de que forma se va a aplicar el agua al suelo, lo que constituye el método de riego.

En el riego también se debe considerar:

1) *La uniformidad del riego*, que se refiere al reparto más uniforme del agua hacia la parcela.

2) *La eficiencia de aplicación del agua*, que es la proporción entre la cantidad de agua que aprovechan las plantas y la cantidad que se aplica en la parcela.

2.4.1 Necesidad de riego en el altiplano.

Para la región del altiplano, que en su sistema productivo actual se caracteriza por cultivos anuales, destinados en gran proporción al autoconsumo, el riego pretende mantener como primera prioridad la alimentación familiar, y promover la expansión de áreas que bajo riego produzcan excedentes destinados al mercado (PRONAR, 2002).

El PRONAR (2002) sostiene que, la producción agrícola en verano, está supeditada en gran medida a la cantidad y distribución regular de la lluvia, dependiendo de este componente el riego suplementario que permita la seguridad en la producción esperada. En la mayoría de los meses del año existe déficit de humedad en el suelo, excepto los meses de enero y febrero (en algunos casos) donde existen excedentes de agua, lo que confirma la necesidad de riego suplementario para cultivos de un ciclo de 4 a 5 meses. Existen además otros aspectos altamente valorados en el riego de verano entre los cuales tienen especial significación los siguientes:

Desde el punto de vista social, el riego de verano brinda mayores posibilidades de acceso al agua con los subsecuentes beneficios, especialmente a las comunidades que durante el resto del año tienen poco o ningún acceso al agua de riego.

Desde el punto de vista económico, además de las ventajas descritas respecto al efecto del riego suplementario y la seguridad de producción, el riego de verano permite adelantar las siembras y en consecuencia las cosechas garantizando un acceso al mercado con mejores precios de oportunidad.

2.4.2 Programación del riego.

La programación del riego debe responder a dos preguntas básicas: Cuando se debe regar y con qué cantidad de agua es preciso hacerlo. Responder a la primera es determinar el periodo de riego, hacerlo a la segunda es definir su volumen, definiendo por periodo al tiempo transcurrido entre dos aplicaciones de agua y

volumen, a la cantidad puesta a disposición de la planta en cada aplicación (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993)

Según el PRONAR (2002), en sistemas de riego con oferta de agua a libre demanda, es posible aplicar metodologías de programación de riego con bastante éxito. En cambio en sistemas con la oferta de agua menor a la demanda, como los sistemas de riego del altiplano y valles de nuestro país, una programación según los requerimientos hídricos de los cultivos, son de aplicación poco probable o directamente no son aplicables. En estos sistemas los calendarios de riego funcionan en forma de turnos según sus derechos o asignaciones preestablecidas.

2.4.3 Métodos de programación de riegos.

Los métodos de programación de riego permiten establecer el tiempo oportuno de aplicación de agua. Tradicionalmente los métodos de programación se suelen dividir en tres grupos que se detallan a continuación:

Métodos basados en el estado hídrico del suelo.

Martín de Santa Olalla y De Juan (1993) indican que estos métodos proporcionan información puntual sobre los niveles de agua en el suelo, a partir de la cual y si se han determinado previamente los niveles de agotamiento permisibles, es posible programar el riego. Se riega en el momento en que se sobrepasen estos niveles y en una cantidad tal que vuelva a situar el estado hídrico del suelo dentro del rango previamente aceptado como válido.

Entre los métodos de programación basados en el estado hídrico del suelo posiblemente el tensiómetro, es el instrumento mas ampliamente utilizado tanto en trabajos de investigación como en aplicaciones prácticas con fines agrícolas (Fuentes, 1997)

Métodos basados en el estado hídrico de la planta.

Aunque la planta es el sujeto final de la aplicación del agua mediante el riego, son escasos los métodos de programación basados en el conocimiento de su estado hídrico.

En principio cabe agrupar a estos en dos categorías, los que miden la tensión del agua en los vasos conductores de la planta, es decir en las tráqueas y traqueidas del xilema que se encuentran en general con valores de turgencia negativa ($-\psi p$) y los que miden la temperatura de la planta, a través de su emisión de radiaciones en longitud de onda del infrarrojo (Fuentes, 1997).

Métodos basados en el balance hídrico del conjunto: suelo-planta-atmósfera.

Es el métodos más ampliamente difundido para programar el riego, cuya base trata de establecer un balance hídrico entre las entradas y pérdidas de agua en la unidad de cultivo, bien sea ésta una pequeña superficie, una parcela de más extensión o una amplia zona de regadío lo que indudablemente resulta más complicado y de resultado más incierto.

2.4.4 Riego por aspersión.

Este método de riego según Martín de Santa Olalla y De Juan (1993) implica la aplicación del agua en forma de una lluvia más o menos intensa con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae. Además la pluviometría según Fuentes (1997), debe ser inferior a la velocidad de infiltración del agua en el suelo, pues en caso contrario se producen encharcamientos y escorrentía.

2.4.4.1 Riego por el método de cintas de aspersión.

El riego por el método de cintas de aspersión es desarrollado por SUMITOMO CHEMICAL CO. LTD en Japón, es de gran durabilidad y resistencia a presiones. Con un equipo generador de rayos láser se perforan muchos micro orificios a lo

largo de la cinta, y los bordes de ambas caras fueron unidos con un sellado térmico.

Fig. 6 Cinta de aspersión funcionando.

La disposición de los orificos irrigadores fueron diseñados por computadora. Todas estas facetas especiales son las que permiten que el SUMISANSUI provea de un riego muy uniforme a lo largo y ancho del mismo (León, 2001).

2.5 Fertilidad del suelo.

La fertilidad del suelo es su capacidad para suministrar elementos nutritivos a las plantas. La fertilidad natural de un suelo depende, sobre todo, de su capacidad de retener a los elementos nutritivos durante cierto tiempo, para ponerlos a disposición de las plantas conforme a sus necesidades nutritivas y, de esta forma disminuir las pérdidas por lavado (Fuentes, 1999).

La capacidad del suelo para retener ciertos elementos nutritivos depende de su capacidad de intercambio catiónico (Fuentes1999). Esta capacidad viene condicionada al contenido de arcilla y de humus. Por tanto, la actuación más directa para conservar o aumentar la fertilidad del suelo consiste en aportar materia orgánica, que es la fuente del humus (Yagodin, 1986).

Fuentes (1999) indica, que los cationes importantes, desde el punto de vista de la fertilidad, son los básicos. Por eso, la fertilidad depende, también, del contenido de

cationes básicos. El abonado mineral además de aportar elementos nutritivos, contribuye a aumentar el contenido de cationes básicos. Un abonado racional, por tanto, incrementa la fertilidad del suelo.

2.5.1 Necesidad de la fertilización de suelos.

La fertilización de los cultivos es una práctica generalizada en el país para obtener los rendimientos máximos en las cosechas. Esto es debido fundamentalmente a que los suelos del altiplano son generalmente deficientes en uno o más nutrientes esenciales para el crecimiento normal de la planta.

Para el INAT (2000), fertilizar un suelo significa, enriquecerlo con elementos nutritivos para las plantas, de tal forma que ellos no sean limitantes para el crecimiento y la producción. La mayoría de los suelos en condiciones naturales contienen nutrientes que permiten soportar algún tipo de vida vegetal; sin embargo, el uso continuo del suelo remueve del perfil los elementos nutritivos necesarios para la producción, haciéndose necesaria la aplicación artificial de dichos elementos si se desea mantener o incrementar el nivel de productividad.

Fuentes (1999) al respecto menciona que, el suelo debe contener la suficiente cantidad de elementos nutritivos asimilables para que las plantas puedan absorberlos conforme a sus necesidades. Si hay escasez, las plantas no pueden cubrir sus necesidades y la producción queda disminuida. Si hay exceso se pueden producir pérdidas importantes de elementos nutritivos disueltos en el agua del suelo, cuando esta agua pasa a zonas profundas.

2.5.2 Papel del fósforo en la vida de las plantas.

Este elemento interviene en el metabolismo de las substancias, división de células, multiplicación, transferencia de rasgos hereditarios y otros procesos complejos que tienen lugar en las plantas. Se encuentra en las moléculas de ADN, ARN y en el ATP de las células de las plantas. Esta última forma por ser muy móvil es transportada a sitios que requieren gran energía como las raíces y los brotes de la planta mejorando su desarrollo (INAT 2000).

El fósforo acelera el desarrollo de los cultivos, permitiendo cierta tolerancia a las heladas de otoño, donde el aumento del contenido de carbohidratos solubles en el jugo celular rebaja el punto de congelación de las plantas, lo que conlleva al reforzamiento de la resistencia al frió de los cultivos invernales (Yagodin, 1986).

Fuentes (1999), en el suelo hay suficiente cantidad de fósforo para satisfacer las necesidades de los cultivos durante muchos años, sin necesidad de hacer aportaciones, pero únicamente puede ser asimilado por las plantas el fósforo soluble contenido en la solución del suelo y este representa una parte muy pequeña del total. Desde este punto de vista se distinguen las siguientes formas de fósforo:

- Se asimila inmediatamente.
- Pasa a forma asimilable con mayor o menor lentitud.
- No se asimila prácticamente nunca.

2.6 Análisis marginal en la selección de la tecnología a recomendar

Para el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (1988), el análisis marginal permite al agrónomo organizar los datos experimentales y otra información sobre costos y beneficios de varios tratamientos. El propósito de esta metodología es el de organizar la información de manera tal que ayude a tomar una decisión de manejo en particular. Para este propósito se deben tomar en cuenta los siguientes conceptos:

a) *Rendimiento Neto*, es el rendimiento medido por hectárea en el campo, menos las pérdidas de cosecha y de almacenamiento cuando estas sean aplicables.

b) *Beneficio Neto*, es el beneficio bruto total de campo menos el total de los costos variables.

c) *Costo Variable*, es la suma de los costos de campo por todos los insumos que son afectados por la alternativa.

d) *Costo Marginal*, es el aumento en los costos variables que ocurren cuando se cambia una alternativa de producción por otra.

e) *Beneficio Marginal Neto*, es el aumento en el beneficio neto que podrá obtenerse cambiando una alternativa de producción por otra.

f) *Tasa de Retorno Marginal*, es el beneficio marginal neto dividido entre el costo marginal.

g) *Dominancia*, se dice que una alternativa domina a otra cuando la primera tiene beneficios más altos, e iguales o más bajos costos variables que la segunda.

III MATERIALES Y METODOS.

3.1 Localización del ensayo.

El ensayo fue realizado en la comunidad de Mantecani durante la gestión agrícola de septiembre del 2002 a marzo del 2003.

3.1.1 Ubicación Geográfica.

La comunidad de Mantecani se encuentra en la tercera sección de la provincia Aroma del departamento de La Paz, situado a 98 kilómetros de esta ciudad sobre la carretera a Oruro. Geográficamente se encuentra ubicada a 67°57'16'' de longitud oeste y 17°06'46'' de latitud sur, a una altura de 3895 metros sobre el nivel del mar (ver mapa de ubicación).

3.1.2 Clima.

La zona por situarse en el altiplano, presenta una temperatura media de 9.4 °C, una precipitación anual de 397 mm, humedad relativa del 49% y vientos que alcanzan los 2.0 m/seg. También se tiene la presencia de granizo, nevada y heladas (SENAMHI, 1999).

3.1.3 Suelo.

Los suelo de la zona se encuentran formados en su mayor parte sobre material aluvial. Tienen una profundidad media de capa arable, encontrándose texturas que varían desde el franco a franco limoso con poca pedregosidad.

3.1.4 Agua.

Esta región cuenta con recursos hídricos que son aprovechados para la agricultura y el consumo de los animales, mientras que la población consume el agua que obtiene de pozos rústicos familiares.

3.1.5 Vegetación.

La flora del lugar es característica de la zona altiplánica, la cual esta comprendida por especies como la t'ola (*Parasthrephya cuadrangularis*), paja (*Stipa Ichu*), paja

brava (*Festuca orthophylla*), ch'illiwa (*Festuca dolychophylla*), cola de ratón (*Hordeum muticum*), cebadilla (*Bromus catharticus*), reloj reloj (*Erodium cicutarium*), mostaza (*Brassica campestris*), chijchipa (*Tajetes pussilla*), muni muni (*Bidens andicola*) y otros.

3.2 Materiales.

A continuación se detallan los materiales empleados durante el ensayo:

3.2.1 Material de campo.

- Tractor con implementos de labranza.
- Picota.
- Pala.
- Rastrillo.
- Chontilla.
- Mochila de fumigación.
- Estacas.
- Flexómetro.
- Marbetes.
- Cuerdas.
- Planilla de datos.
- Vernier.
- Balanza.
- Bolsas nylon.
- Bolsas de yute.

3.2.2 Material vegetal

- Semilla de zanahoria: variedad Royal Chantenay

3.2.3 Material químico

- Fertilizantes : Nitrofoska azul 12-6-17
  Triple quince 15-15-15
  Superfosfato triple 0-46-0

- Herbicida : Gesagard 500 FW.
- Adherente : Gomax de 500 ml.

3.2.4 Material de riego

Equipo de bombeo:

- Bomba de 5 HP a gasolina.
- 5 metros de manguera de succión.

Matriz principal:

- 15 tubos de PVC desagüe de 4” de diámetro y 4 metros de longitud
- 6 Cruz PVC reducción 4” x 2” de diámetro.
- 1 Codo PVC de 4” de diámetro.
- 1 Tapón hembra PVC de 4” de diámetro.
- 250 ml de pegamento PVC.

Equipo de riego:

- 12 Cintas de aspersión de 50 metros de longitud y 2” de diámetro.
- 12 Abrazaderas.
- 12 Ganchos sujeta cintas.
- 6 Tensiómetros tipo TAL.
- 1 Manómetro.
- 1 Probeta de 100 ml
- 1 Par de cilindros infiltrómetros.
- 1 Juego de cilindros para muestra de suelos.

3.2.5 Material de gabinete.

- Cuaderno de registros, bolígrafo y lápiz
- Cámara fotográfica.
- Computadora.

3.3 Metodología.

3.3.1 Análisis de suelos y aguas

Previo al desarrollo de la investigación se tomaron muestras de suelo y agua de la zona de ensayo. El análisis realizado permitió conocer las propiedades físicas, químicas e hidrofísicas. Estos resultados fueron evaluados y se determinaron los parámetros iniciales necesarios para la realización del trabajo.

3.3.2 Determinación de los parámetros de riego.

La correcta aplicación del riego, requiere definir adecuadamente los parámetros que definen el proceso: lámina de riego, nivel de humedad del suelo, tiempo de riego de manera que se permita dar la cantidad de agua necesaria a las plantas, evitando la percolación y la escorrentía excesiva

a) Velocidad de Infiltración básica.

Este parámetro fue determinado por el método de los cilindros infiltrómetros registrándose datos de láminas infiltradas por el tiempo de infiltración. Los datos fueron sometidos a un análisis de regresión lineal para una función potencial, determinándose los valores empíricos de infiltración de la ecuación de Kostiakov:

$$\mathbf{Z = A\,t^{B}} \qquad (4)$$

Donde:

Z : Lámina infiltrada (cm).

A y B : Son parámetros empíricos de la ecuación de Kostiakov.

t : Tiempo de infiltración (min).

Para el cálculo de la velocidad de infiltración se derivó la función infiltración (5)

$$\mathbf{Z = d(At^{B})/dt} \qquad (5)$$

Obteniéndose de esta manera la función velocidad de infiltración.

$$\mathbf{I = AB\,t^{B-1}} \qquad (6)$$

Para determinar la velocidad de infiltración básica (VIB) se calculó el tiempo básico (ecuación 7), que es el tiempo que debe transcurrir hasta que la velocidad de infiltración sea constante. Esta velocidad se presenta generalmente cuando la derivada de la infiltración (6) es menor o igual al 10%.

$$\mathbf{T(VIB) = (-10\ (B-1))\ (horas)} \qquad (7)$$

b) Niveles de humedad

Fueron determinados en base a la ecuación de Van Genuchten (8) y la curva de retención generada por dicha ecuación. Los niveles fueron elegidos según el requerimiento del cultivo y el rango de funcionamiento de los tensiómetros. La variación de los niveles de humedad tuvo el objetivo de observar la interacción de la cantidad de agua presente en el suelo con los nutrientes proporcionados por los niveles de fertilización.

$$\theta_i = \theta_r + ((\theta_s - \theta_r)/(1+\alpha * \psi_i)^n)^m \qquad (8)$$

Donde:

α,n,m : Parámetros empíricos de la ecuación de Genuchten estimados en base a un análisis de regresión no lineal en cm agua.

θ_r : Humedad residual (humedad del suelo seco) que generalmente.

θ_r : Humedad residual (humedad del suelo seco) que generalmente se toma la humedad a una tensión de 15 atm (cm^3/cm^3).

θ_s : Humedad a saturación (cm^3/cm^3).

c) Láminas de riego.

Las láminas de riego fueron determinadas en base a la diferencia entre la humedad inicial y la humedad actual del suelo.

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_{suelo} \qquad (9)$$

Donde:

$\Delta\theta$: Humedad a ser repuesta

θ_i : Humedad inicial

θ_{suelo} : Humedad actual del suelo

La diferencia determinada $(\Delta\theta)$, representa la cantidad de agua que debe reponerse por medio del riego en forma de lámina (ecuación 2) manteniendo de esta manera los niveles de humedad en estudio.

b) Tiempo de riego.

El tiempo de riego para los tres niveles de humedad fueron determinados en base a la relación:

Tiempo de riego = Lamina de riego / Intensidad de aplicación (10)

Donde la intensidad de aplicación, se refiere a la cantidad de agua proporcionada por las cintas de aspersión.

3.3.3 Determinación de los niveles de fertilización.

Los niveles de fertilización en estudio fueron establecidos en base al análisis de suelo y las necesidades nutricionales del cultivo. Se determinaron dos niveles de fertilización, el primer nivel, cubriendo el requerimiento del cultivo y el segundo nivel, incrementando en un cinco por ciento el contenido de fósforo con el objetivo de observar la respuesta del cultivo al incremento de este elemento.

3.3.4 Diseño Experimental.

Debido a las características del ensayo se empleó el diseño de bloques al azar en un arreglo en parcelas divididas recomendado por Calzada (1982). Se evaluaron dos factores: niveles de humedad y niveles de fertilización, por tanto, se tuvieron seis tratamientos de estudio con sus respectivas repeticiones.

Para la evaluación de medias se utilizó la prueba del rango múltiple de Duncan y en el análisis de la interacción de los factores, se empleo la prueba de Duncan para efectos simples.

A) Modelo lineal aditivo del diseño Bloques al azar con arreglo en parcelas divididas.

$$\mathbf{Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \varepsilon_a + \delta_j + \alpha\delta_{ij} + \varepsilon_b}$$

Donde:

Y_{ijk} :Una observación cualquiera

μ: Media general

β_k: Efecto del k-ésimo bloque

α_i :Efecto del i-éismo factor A (Niveles de humedad)

ε_a : Error de la parcela mayor

δ_j : Efecto del j-ésimo factor B (Niveles de fertilización)

$\alpha\delta_{ij}$:Efecto de la interacción de los factores AxB .

ε_b: Error de la subparcela o error experimental.

B) Factores de estudio.

Factor h: Niveles de humedad

h_1: 0.397 m^3/m^3

h_2: 0.327 m^3/m^3

h_3: 0.287 m^3/m^3

Factor n: Niveles de fertilización

n_1: 150-97-00

n_2: 150-102-00

C) Tratamientos

Se emplearon seis tratamientos con cuatro repeticiones distribuidos de acuerdo al nivel de humedad y nivel de fertilización correspondiente. La combinación de los tratamientos en estudio son detallas a continuación:

T_1:	h_1 n_1	**T_3:**	h_2 n_1	**T_5:**	h_3 n_1
T_2:	h_1 n_2	**T_4:**	h_2 n_2	**T_6:**	h_3 n_2

D) Unidad experimental.

Según la recomendación del diseño estadístico cada unidad experimental fue distribuidas al azar, para lo cual, se ubicaron las parcelas pequeñas de los niveles de fertilización dentro la parcela mayor representada por los niveles de humedad.

Se tuvieron un total de 24 unidades experimentales. Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 6 metros de longitud y 4 metros de ancho, con un área de parcela de 24 m^2. El ensayó llegó a cubrir una superficie total de 2400 m^2 (aproximadamente 1/4 de hectárea).

3.3.5 Manejo del cultivo.

3.3.5.1 Preparación del terreno y fertilización.

El terreno fue trabajado en el mes de septiembre poco antes de la siembra realizándose las labores de rotura y rastreado del suelo con ayuda de un tractor. La fertilización fue realizada conjuntamente la nivelación del terreno empleando un diseminador de fertilizantes.

3.3.5.2 Siembra.

La siembra se realizó en el mes de octubre bajo el método de siembra al voleo. Se utilizó una densidad de siembra de 9 kg/ha (22 gramos por unidad experimental). Una vez diseminada la semilla se procedió al entierro en forma superficial con la utilización de un rastrillo y finalmente, se cubrió las unidades experimentales con paja para evitar la pérdida de agua del suelo por evaporación.

Luego de este proceso se realizó el primer riego, aplicando una lámina de 8.5 mm de agua, para una profundidad de 10 centímetros en todos los tratamientos. Se aplicó esta cantidad de agua aproximadamente por un mes, hasta la emergencia de las plantas. Pasado este tiempo, se aplicaron las láminas de riego correspondientes para los niveles de humedad del ensayo.

3.3.5.3 Riego.

3.3.5.3.1 Instalación del sistema de riego.

La instalación del sistema de riego se realizó después de la siembra. Primeramente se instaló la matriz principal constituida por 15 tubos PVC desagüe de 4” de diámetro, con una longitud total de 60 m.

Las cruces reducción de 4” x 2” de diámetro, fueron instaladas al final de la matriz principal espaciadas cada 4 metros, llegándose a utilizar 6 cruces para acoplar 12 cintas de aspersión.

Una vez instalada la matriz principal, se procedió al acople de las cintas de aspersión con la ayuda de abrazaderas de unión. La fuente de energía empleada para el funcionamiento del sistema de riego fue proporcionada por una bomba a gasolina de 5 HP de potencia.

3.3.5.3.2 Manejo de los tensiómetros.

El tensiómetro fue el instrumento de medición más empleado durante la investigación, por lo tanto, su manejo y mantenimiento correcto fue imprescindible durante el tiempo que abarcó el ensayo.

a) Calibración de los tensiómetros.

Para poner los tensiómetros en el lugar establecido, previamente se los puso en condición de uso, según el procedimiento recomendado por el INAT (2000).

b) Instalación de los tensiómetros.

Una vez preparados los tensiómetros se procedió a la apertura de orificios en los lugares determinados para su ubicación. Se instalaron seis tensiómetros colocando un par de instrumentos por cada nivel de humedad en las siguientes profundidades.

Cuadro 4. Profundidad de instalación de los tensiómetros por cada nivel de humedad.

Nivel de humedad	Tensiómetro 1 Profundidad (mm)	Tensiómetro 2 Profundidad (mm)
h_1	100	120
h_2	100	120
h_3	100	120

El primer tensiómetro fue colocado con el fin de determinar el momento del inicio del riego, mientras que el segundo, sirvió para verificar el cumplimiento de la aplicación de la lámina de agua.

C) Lectura y mantenimiento de los tensiómetros.

Las lecturas de tensiómetros fueron hechas cada 24 horas, durante la mañana y después de haber efectuado el riego. Las lecturas para el inicio del riego fueron consideradas de acuerdo a los rangos de tensión propuesta por Agudelo (2000) descritas en el cuadro 5.

Cuadro 5. Lectura de tensiómetro para decidir cuando regar.

Lectura del tensiómetro (cb)	Significado
0 – 5	El suelo esta muy húmedo para los cultivos.
10 – 25	Condiciones ideales de agua y aireación. Las lecturas mayores de 25 pueden indicar deficiencia de agua en cultivos sensibles de raíces superficiales y que están creciendo en suelos de textura gruesa.
40 – 50	Adecuada para cultivos con raíces moderadamente profundas, que están creciendo en suelos de textura media.
70 – ó menos	Usualmente adecuado para cultivos de raíces profundas.
80	Se requiere riego, las plantas presentan síntomas de marchitez.

Fuente: Agudelo (2000). Guía para determinar los parámetros hidrofísicos del suelo para riego.

El mantenimiento de los tensiómetros se llevó a cabo reponiendo el agua de los mismos cada vez que se realizaba una lectura o después de un riego cuando la tensión del suelo era baja.

3.3.5.4 Deshierbe.

Fue realizada cuando las plantas de zanahoria presentaron cuatro hojas verdaderas. Se realizó un control químico empleando el herbicida selectivo Gesagard en una dosis de 100 cc por cada 20 litros de agua.

3.3.5.5 Cosecha.

Observada la maduración comercial de la raíz de zanahoria, se procedió a su cosecha en el mes de marzo del 2003. Esta labor fue realizada en forma manual, seleccionando el producto según su longitud y diámetro en productos de primera y segunda calidad.

Luego de la selección se procedió al lavado y pisado dentro del río, con el propósito de tener un producto pulido y brillante en su superficie para su comercialización.

3.3.6 Variables de respuesta agronómica.

La respuesta del cultivo de zanahoria a los tratamientos aplicados, fueron evaluados de acuerdo a las siguientes variables de respuesta:

3.3.6.1 Altura de planta.

Para esta variable se tomó los datos de altura de diez plantas medidas con un flexómetro desde la corona de la raíz hasta el ápice de la hoja.

3.3.6.2 Diámetro de raíz.

Se consideró este dato en el momento de la cosecha midiéndose con la ayuda de un vernier, la parte más abultada de la raíz, es decir el primer tercio superior de la misma.

3.3.6.3 Longitud de raíz.

La longitud de raíz de los distintos tratamientos fueron determinados en el momento de la cosecha con un vernier, midiéndose las zanahorias desde la corona hasta el ápice de la raíz.

3.3.6.4 Rendimiento.

Esta variable de respuesta fue medida considerando la cosecha de un metro cuadrado de las distintas unidades experimentales descartando efectos de bordura y de cabecera.

3.3.7 Análisis de los costos parciales de los tratamientos.

En el análisis de los costos parciales de los tratamientos se siguió la metodología recomendada en el manual metodológico de evaluación económica propuesta por el CIMMYT, donde se considera la relación de los costos variables y los beneficios netos logrados con la nueva tecnología, además, se realizó un análisis de dominancia, para determinar las implicaciones económicas de los tratamientos en el ensayo.

Para este fin se elaboró el presupuesto parcial siguiendo las operaciones de cálculo que consideran ajustes en el rendimiento a un 10% con el objetivo de reflejar las diferencias entre el rendimiento experimental y el rendimiento que el productor podría obtener con esta alternativa.

El análisis de los costos parciales fue desarrollado de la siguiente manera:

a) Beneficio Bruto (BB).

$$\mathbf{BB = R * P} \qquad (11)$$

Donde:

BB : Beneficio Bruto (Bs/ha)
R : Rendimiento (tn/ha)
P : Precio (Bs)

b) Beneficio Neto (BN).

$$\mathbf{BN = BB - C} \qquad (12)$$

Donde:

BN : Beneficio Neto (Bs/ha)
BB : Beneficio Neto (Bs/ha)
C : Costo de producción (Bs.)

c) Relación Beneficio / costo.

$B/C > 1$ Aceptado

$B/C = 1$ Dudoso

$B/C < 1$ Rechazado

Donde:

B : Beneficio

C : Costo

d) Análisis marginal de beneficios netos.

$$\mathbf{TRM = (BNM / CVM)*100} \qquad (13)$$

Donde:

TRM : Tasa de retorno marginal (%)

BNM : Beneficio neto marginal (Bs/ha)

CVM : Costo variable marginal (Bs/ha)

Además:

$$\mathbf{BNM = BNA_i - BNA_j} \qquad (14)$$

$$\mathbf{CVM = CVA_i - CVA_j} \qquad (15)$$

Donde:

BNA : Beneficio neto de la alternativa (Bs/ha)

CVA : Costos variables de la alternativa (Bs)

i,j : Cualquier número de alternativa analizada que depende del valor que obtenga ademas; $BNA_i > BNA_j \wedge CVA_i > CVA_j$.

3.3.7.1 Análisis de dominancia.

Para el análisis de dominancia se determinó los costos variables (CVA) y los beneficios netos (BNA) de los tratamientos. Estos valores fueron ordenados de mayor a mayor y graficados en un eje de coordenadas cartesianas.

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1 Análisis de suelo.

El análisis realizado permitió conocer y evaluar la condición del suelo en base a los parámetros del anexo 2. A continuación se describen sus principales propiedades.

4.1.1 Propiedades físicas del suelo.

Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo.

% Arena (A)	41
% Limo (L)	39
% Arcilla (Y)	19
Clase textural	Franco
% Grava	3.9
Tamaño de grava	3 a 9
Dap (gr/cc)	1.26
Dr (gr/cc)	2.66
%Materia orgánica	1.46

Fuente: Laboratorio de suelos y nutrición animal SEDAG La Paz.

De acuerdo al cuadro 6 se tiene un suelo de textura media, sin problemas de compactación y baja cantidad de materia orgánica, apta para el desarrollo radicular de la zanahoria y otros cultivos.

4.1.2 Propiedades hidrofísicas del Suelo.

Cuadro 7. Propiedades hidrofísicas del suelo.

% Porosidad	52.6
% Aireación	29.82
% CC en base a suelo seco	22.78
% PMP en base s suelo seco	10.09

Fuente: Laboratorio de suelos y nutrición animal SEDAG La Paz

Las propiedades del cuadro 7 describen un suelo con buen porcentaje de porosidad y aireación con capacidad de campo y punto de marchites permanente en estrecha relación con la textura del suelo. Gracias a estas propiedades se

garantizó el equilibrio entre la necesidad de aireación del suelo y la capacidad de retención de humedad, características hidrofísicas deseables para cualquier cultivo.

4.1.3 Propiedades químicas del suelo.

Cuadro 8. Propiedades químicas del suelo.

pH 1:2:5 suelo/agua		6.4	Ligeramente ácido
CE 1:2:5 milimhos/cm		0.074	Normal
% C.O.		0.85	
% N total		0.07	Bajo
C/N		12.14	Buena
P ppm		14	Alto
Carbonatos libres		A	Ausencia
Cationes intercambiables meq/100 gramos de S°	Ca++	6.58	Alto
	Mg++	1.31	Bajo
	Na+	0.29	Bajo
	K	1.19	Alto
	Al+H	0.08	
CIC meq/100 gramos de S°		9.45	Bajo
TBI meq/100 gr de S°		9.39	
% Saturación Bases		99.25	Alto

Fuente: Laboratorio de suelos y nutrición animal SEDAG La Paz

Las propiedades químicas presentadas en el cuadro 8 describen un suelo con pH ligeramente ácido, sin problema de sales, buena relación carbono nitrógeno, baja capacidad de intercambio catiónico y alto porcentaje de saturación de bases. Propiedades que permiten la disponibilidad y buena absorción de elementos nutritivos para los cultivos.

4.2 Análisis Químico del agua de Riego.

Cuadro 9. Resumen del análisis químico del agua de riego.

pH	7.39
CE ds/m *	0.171
Relaciones de adsorción de sodio (RAS)	0.40
Peligro de salinidad	C1-S1

En base al anexo 6 y cuadro 9, el agua utilizada para el riego presenta un pH neutro, una baja conductividad eléctrica (0.171 ds/m) y una baja relación de adsorción de sodio, por tanto, el agua pertenece a la clase C1S1, es de buena calidad, aplicable al cultivo de la zanahoria y a cualquier tipo de suelo .

4.3 Parámetros de riego.

4.3.1 Velocidad de infiltración básica (VIB)

La prueba de los cilindros infiltrómetros determinó una velocidad de infiltración básica de 20.8 mm/hora (anexo 10). Este valor limitó la intensidad de aplicación del riego, obligando a utilizar caudales menores al valor de la VIB para evitar encharcamientos (figura 7a y 7b).

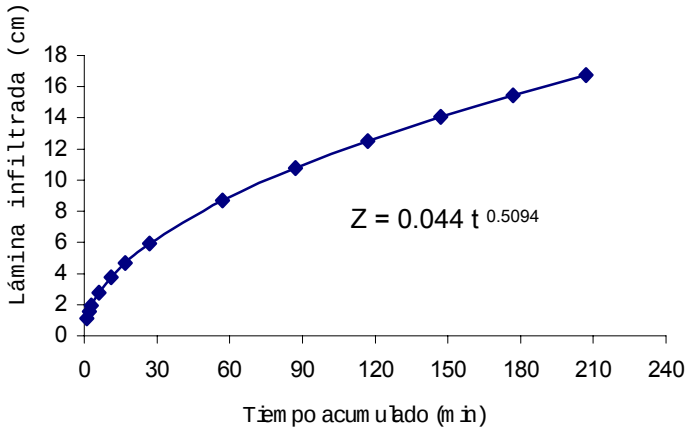


Fig. 7a. Curva de infiltración.

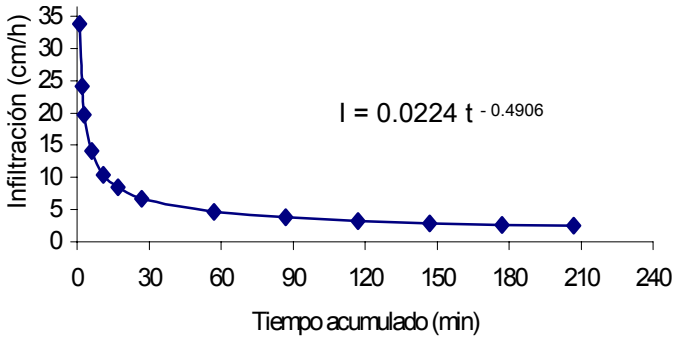


Fig. 7b. Curva de velocidad de infiltración básica

4.3.2 Niveles de humedad.

Los niveles de humedad h_1, h_2 y h_3, son presentados en el cuadro 10 y anexo 9, con sus valores correspondientes de potencial matricial, tensión y lámina de riego.

Cuadro 10. Niveles de humedad.

Nivel de humedad	θi (m^3/m^3)	Ψmi (bar)	Lectura tensiómetro (cb)	Lámina (mm)
h_0	0.505	- 0.06	10	0
h_1	0.397	- 0.21	25	16
h_2	0.327	- 0.36	40	27
h_3	0.287	- 0.51	55	33

Los valores del nivel de humedad h_0 (θ_o=0.505), corresponden al valor que debía alcanzar cada nivel de humedad después del riego de cada tratamiento.

Con una mayor cantidad de valores en humedad volumétrica y tensión matricial (anexo 8), se graficó la curva de retención de humedad (figura 8).

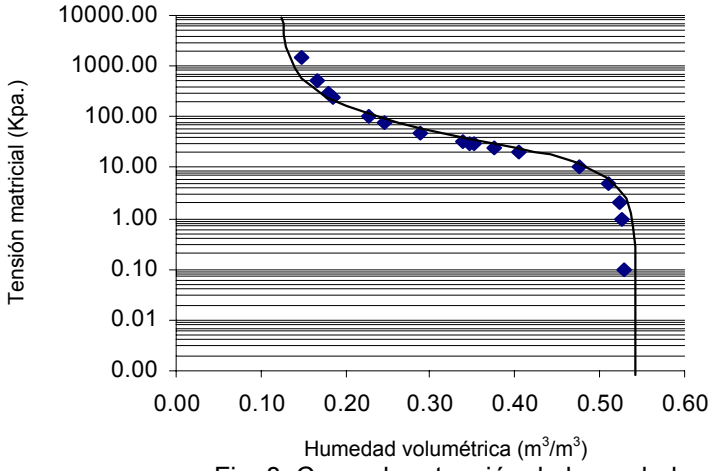


Fig. 8. Curva de retención de humedad

4.3.3 Tiempo de riego.

En el cuadro 11 se observan los diferentes tiempos de riego determinados en el anexo 9, los mismos que fueron aplicados para los niveles de humedad de los tratamientos.

Cuadro 11. Tiempo de riego para los niveles de humedad.

Nivel de humedad	θ_i (m^3/m^3)	Tiempo de riego (minutos)
h_1	0.397	53
h_2	0.327	88
h_3	0.287	106

4.4 Niveles de fertilización.

De acuerdo al análisis de suelo y el requerimiento nutricional del cultivo se determinaron los siguientes niveles de fertilización (Anexo 1, 3 y 4):

- *Primer nivel de fertilización* (**n_1**): 150 – 97 – 00.
- *Segundo nivel de fertilización* (**n_2**): 150 – 102 – 00.

4.5 Análisis de las variables de respuesta.

El análisis de varianza realizado para cada variable de respuesta (anexo 16) determinó los resultados que se dan a continuación.

4.5.1 Altura de planta.

4.5.1.1 Análisis de varianza para altura de planta.

Tabla 1. Análisis de varianza para Altura de planta.

FV	Fc	Ft
Bloque	0.89	4.76 ns
Humedad	1.16	5.14 ns
Niv. de fertiliz.	0.13	5.12 ns
Hum. x Niv.	0.27	4.26 ns
R^2 = 66 %	CV = 17.9 %	

En la tabla 1 se observa que no existen diferencias significativas entre bloques, niveles de humedad, niveles de fertilización y la interacción niveles de humedad por niveles de fertilización. Sin embargo el coeficiente de variación de 17.9% indica que los datos obtenidos son confiables.

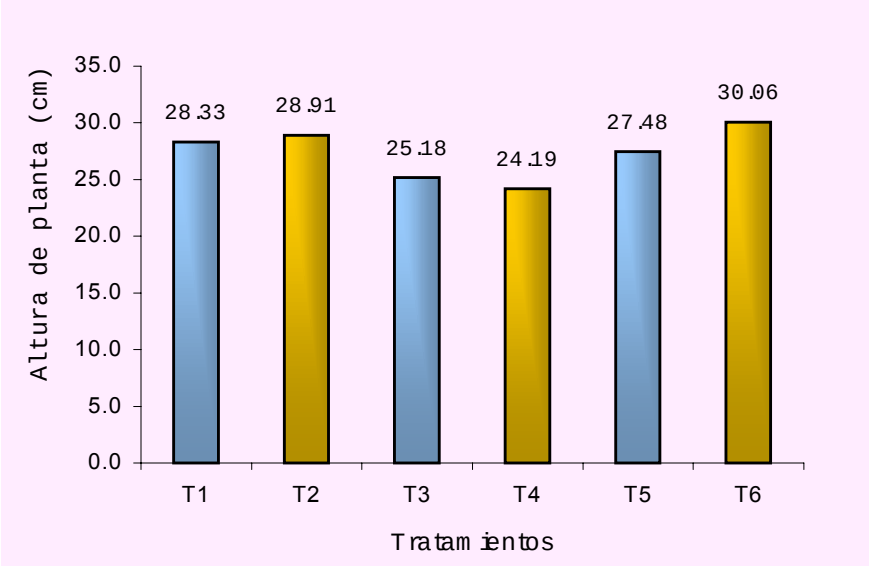


Fig. 9. Altura de planta de zanahoria, para los tratamientos.

La figura 9 muestra el promedio de altura de planta obtenido por cada tratamiento, los cuales, numéricamente son diferentes pero estadísticamente son iguales tal como lo presenta el ANVA de la tabla 1.

El resultado obtenido probablemente se debe a la continua renovación de las hojas, a medida que la planta emite nuevas hojas, las más viejas se van amarilleando e inclinando. Por esta razón no se manifestó el efecto de los tratamientos en esta variable de respuesta.

4.5.2 Diámetro de raíz.

4.5.2.1 Análisis de varianza para diámetro de raíz.

Tabla 2. Análisis de varianza para diámetro de raíz.

FV	Fc	Ft
Bloque	0.29	4.76 ns
Humedad	0.15	5.14 ns
Niv. de fertiliz.	13.07	5.12 *
Hum. x Niv.	3.12	4.26 ns
R^2 = 87.7 %	CV = 4.15 %	

El ANVA de esta variable (tabla 2), muestra que no existe diferencia significativa entre bloques, nivel de humedad y la interacción nivel de humedad por nivel de fertilización. Sin embargo presenta diferencia significativa entre niveles de fertilización. En la figura 10 se puede observar gráficamente esta diferencia.

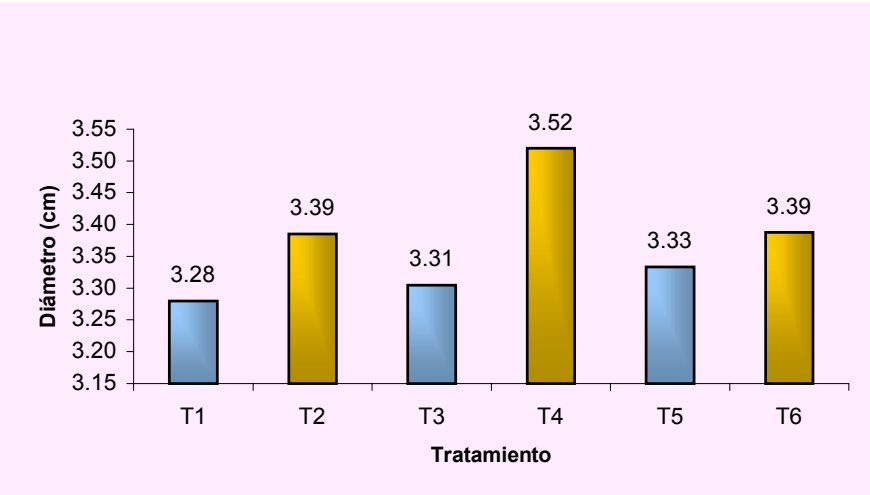


Fig. 10. Diámetro de raíz de zanahoria, para los tratamientos.

Observando la figura 10, los tratamientos 2, 4 y 6 con el segundo nivel de fertilización, presentan un mayor diámetro de raíz en comparación con los tratamientos 1, 3 y 5 del primer nivel de fertilización.

Debido a la diferencia estadística entre los niveles de fertilización, se realizó la prueba de rango múltiple de Duncan.

4.5.2.2 Comparación de medias de Duncan para niveles de fertilización.

Tabla 3. Comparación de medias de Duncan para niveles de fertilización.

n_2	n_1
3.43	3.28

Según la prueba de Duncan (tabla 3) se tiene diferencia significativa entre los niveles de fertilización, con diámetros de 3.28 cm para el primer nivel y 3.43 cm para el segundo nivel.

El mayor diámetro de raíz alcanzado por el segundo nivel, probablemente se debe a la acción del fósforo que intervino en los procesos de crecimiento y división celular, especialmente en las células meristemáticas laterales de la raíz. Gracias a ello, se incrementó la actividad meristemática así como la síntesis de azucares y sustancias de reserva, las cuales, luego de intervenir en los procesos metabólicos, fueron almacenadas en el tejido parenquimático de la raíz originando el aumento en grosor, a diferencia del diámetro de raíz alcanzado por el primer nivel de fertilización.

4.5.3 Longitud de raíz.

4.5.3.1 Análisis de varianza para longitud de raíz.

Tabla 4. Análisis de varianza para longitud de raíz.

FV	Fc	Ft(0.05)
Bloque	3.28	4.76 ns
Humedad	0.30	5.14 ns
Niv. de fertiliz.	33.00	5.12 *
Hum.* Niv	3.81	4.26 ns
R2 = 90.5 %	CV = 4.62 %	

De acuerdo con el ANVA para la variable (tabla 4) se tiene diferencia significativa entre niveles de fertilización, mientras los bloques, niveles de humedad y la interacción no presentaron diferencias significativas.

Graficando el promedio de longitud de raíz de los tratamientos (figura 11), se puede observar la diferencia existente entre los tratamientos 1, 3 y 6 del primer nivel de fertilización con relación a los tratamientos 2, 4 y 6 del segundo nivel de fertilización.

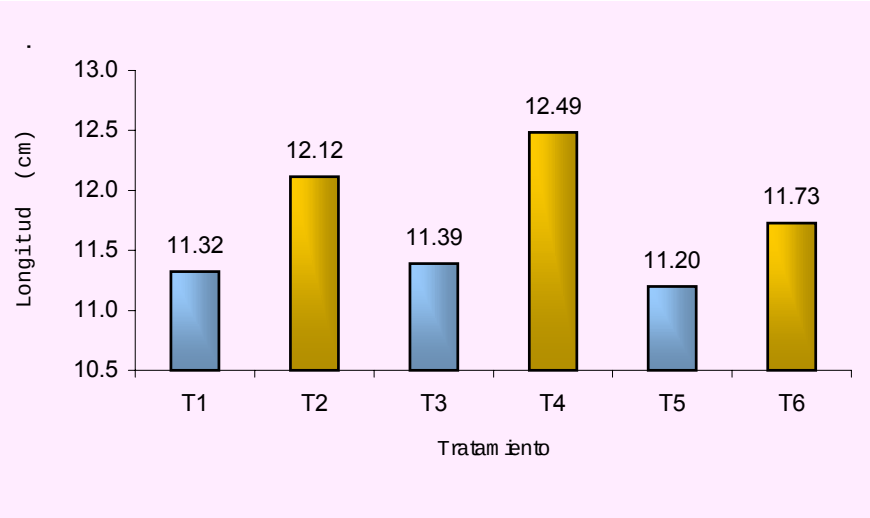


Fig. 11. Longitud de raíz de zanahoria, para los tratamientos.

Para determinar cuan significativas son las diferencias encontradas se procedió a la comparación de medias de Duncan.

4.5.3.2 Comparación de medias de Duncan para longitud de raíz.

Tabla 5. Comparación de medias de Duncan para niveles de fertilización

n_2	n_1
12.11	11.12

La prueba de Duncan (tabla 5) presenta diferencia significativa entre los niveles de fertilización, con un valor en longitud de raíz de 11.12 cm para el primer nivel y 12.11 cm para el segundo nivel.

La variación encontrada posiblemente se deba al efecto del incremento de fósforo en el segundo nivel de fertilización, que por su rol fisiológico, es indispensable en los procesos de crecimiento celular como componente del ATP.

En esta forma es bastante móvil y fácilmente transportada a la zonas de alargamiento de la raíz donde se requiere gran cantidad de energía por las células meristemáticas, favoreciendo al crecimiento celular en longitud.

4.5.4 Rendimiento del cultivo de la zanahoria.

4.5.4.1 Análisis de varianza para rendimiento.

Tabla 6. Análisis de varianza para rendimiento.

FV	Fc	Ft(0.05)
Bloque	10.99	4.76 *
Humedad	6.58	5.14 *
Nivel	26.07	5.12 *
Hum.*Niv.	4.27	4.26 *
R^2 = 93 %	CV = 6.9 %	

El ANVA de la tabla 6 presenta diferencias significativas entre bloques, niveles de humedad, niveles de fertilización y la interacción niveles de humedad por niveles de fertilización. Como consecuencia de estos resultados se procedió a realizar el análisis de varianza para efectos simples de la interacción (tabla 7).

4.5.4.2 Análisis de varianza para efectos simples en rendimiento.

Tabla 7. Análisis de varianza para efectos simples de rendimiento.

FV	FC	FT	
$h(n_1)$	1.92	4.26	ns
$h(n_2)$	14.09	4.26	*
$n(h_1)$	1.26	5.12	ns
$n(h_2)$	20.45	5.12	*
$n(h_3)$	6.40	5.12	*

El análisis de varianza para efectos simples (tabla 7), permite apreciar diferencias significativas entre niveles de humedad dentro del segundo nivel de fertilización, así mismo, se tiene significancia entre niveles de fertilización dentro los niveles de humedad 2 y 3. Sin embargo en el resto de las interacciones no existe significancia.

Para determinar cuan significativo fue la interacción nivel de humedad por nivel de fertilización, se realizó la prueba de Duncan para efectos simples.

4.5.4.3 Duncan para efectos simples de la Interacción niveles de humedad y niveles de fertilización.

En la tabla de doble entrada (tabla 8), se observa la variación del rendimiento de acuerdo al nivel de humedad del suelo con el nivel de fertilización correspondiente.

Tabla 8. Tabla de doble entrada de la interacción

	h_1	h_2	h_3
n_1	59.94	65.72	60.51
n_2	63.59	80.41	68.73

Graficando estos valores se obtiene la figura 12:

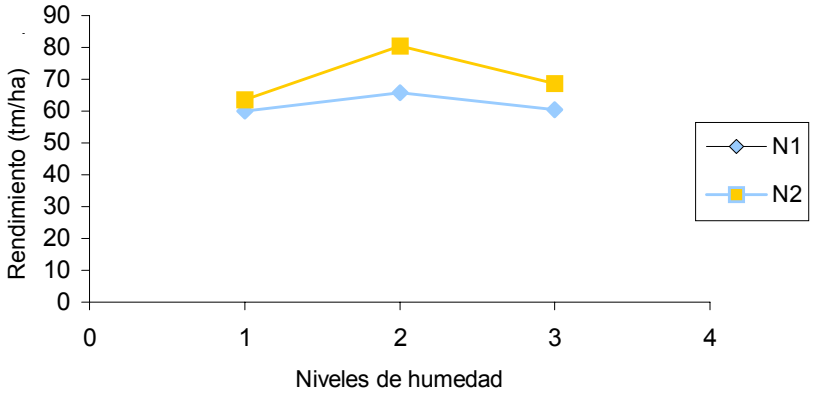


Fig. 12. Grafico de efectos simples del rendimiento, en la interacción niveles de humedad por niveles de fertilización.

En la figura 12 se puede apreciar que el mayor rendimiento fue obtenido por el segundo nivel de humedad con el segundo nivel de fertilización los cuales corresponden al tratamiento 4. Contrariamente el tratamiento 1 con el primer nivel de humedad y primer nivel de fertilización obtuvieron el menor rendimiento.

De manera general se puede observar en la figura 12, que el segundo nivel de fertilización obtiene los mejores rendimientos comparado con el primer nivel de fertilización, sea cual fuera el nivel de humedad utilizado.

Para corroborar estas apreciaciones, a continuación se muestran los resultados de la prueba de Duncan para las distintas interacciones.

Cálculo de Duncan para niveles de humedad dentro del segundo nivel de fertilización.

h_2	h_3	h_1
80.41	68.73	63.59

La valoración de la prueba de Duncan para las medias de rendimientos, determinó la existencia de diferencias significativas del segundo nivel de humedad, respecto al rendimiento obtenido por los niveles de humedad 1 y 3. También se puede apreciar que el rendimiento del nivel de humedad 3 es estadísticamente similar al rendimiento del nivel de humedad 1.

El mayor rendimiento obtenido por el segundo nivel de humedad con el segundo nivel de fertilización posiblemente se debe a la humedad adecuada del suelo, que proporcionó la cantidad de oxígeno necesaria para que los mitocondrios celulares de la raíz de zanahoria cumplan con la función de respiración liberando energía que fue aprovechada por la zanahoria para realizar su trabajo metabólico.

Así mismo, la humedad presente en el suelo mejoró la disponibilidad de nutrientes, entre estos el fósforo, los cuales fueron asimilados y aprovechados con mayor eficiencia por la raíz del cultivo de zanahoria.

La igualdad en el rendimiento obtenido con los niveles de humedad 1 y 3 dentro del segundo nivel de fertilización, puede deberse, a la mayor cantidad de agua en el suelo correspondiente al primer nivel de humedad, debido al riego frecuente, razón por la cual, la aireación del suelo fue disminuida, provocando posibles condiciones anaeróbicas, después de cada riego, que influyeron en los procesos fisiológicos de crecimiento de la raíz. En cuanto al efecto del tercer nivel de humedad, se presume que la menor cantidad de humedad del suelo, provocó que la solución nutritiva del mismo se encuentre disponible para las plantas con mayor preferencia después de efectuarse cada riego.

Cálculo de Duncan para niveles de fertilización dentro del segundo nivel de humedad.

n_2	n_1
80.41	65.72

Los rendimientos obtenidos por los niveles de fertilización dentro del segundo nivel de humedad, presentan diferencias significativas según la prueba de Duncan, reportándose un valor de 80.41 tn/ha para el segundo nivel de fertilización y un rendimiento de 65.72 tn/ha para el primer nivel.

El mayor rendimiento alcanzado, posiblemente se debe a la aplicación oportuna del agua en tiempo real, asociada con el incremento en un 5% del fósforo del segundo nivel de fertilización. Esto hace suponer que el aumento de fósforo fue aprovechado por la planta, en sus procesos fisiológicos básicos como la fotosíntesis y la respiración. Además de procesos que permitieron sintetizar una mayor cantidad de azúcares, proteínas, enzimas y sustancias de reserva para posteriormente ser acumuladas en las células del tejido parenquimático de la raíz obteniéndose los rendimientos registrados.

Cálculo de Duncan para niveles de fertilización dentro del tercer nivel de humedad.

n_2	n_1
68.73	60.51

Según la prueba de Duncan se observa diferencias estadísticas en el rendimiento obtenido por los niveles de fertilización. El segundo nivel presenta un rendimiento de 68.73 tn/ha y el primer nivel presenta un rendimiento de 60.51 tn/ha.

Posiblemente esta diferencia se debe como en el caso anterior, al incremento del 5% de fósforo del segundo nivel de fertilización. Incremento que influyó en la fisiología del cultivo obteniéndose como resultado los rendimientos alcanzados.

4.6 Análisis económico.

Para realizar la selección del tratamiento a recomendar, se presenta el resumen del análisis económico del ensayo detallado en el cuadro 12. El análisis completo y los costos variables de producción se encuentran en el anexo 14.

Cuadro 12. Resumen del análisis económico por tratamientos para el cultivo de zanahoria.

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Rendimiento (tn/ha)	59.94	63.59	65.72	80.41	60.51	68.73
Rendimiento Ajustado 10%	5.99	6.36	6.57	8.04	6.05	6.87
Rendimiento neto (tn/ha)	53.94	57.23	59.15	72.37	54.46	61.86
Precio Bs/kg.	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
Beneficio Bruto (Bs/ha)	38084.61	40401.91	41758.49	51093.78	38448.05	43670.41
Costos Variables (Bs/ha)	22966.02	23338.77	22956.58	24424.26	22292.70	23111.53
Beneficio Neto (Bs/ha)	15118.58	17063.14	18801.91	26669.52	16155.36	20558.87
Tasa de Retorno Marginal (%)	113	124	141	181	127	153

Según el cuadro 12 el tratamiento 4 sobresale con un beneficio neto de Bs26,669.52. Este valor representa el mayor beneficio neto obtenido en contraste con el tratamiento 1 que alcanzo los Bs15,118.58. En cuanto a la tasa de retorno marginal el tratamiento 4 obtiene la mayor tasa con un valor porcentual de 181, en comparación con el tratamiento 1 que llega a tener una tasa de 113 por ciento.

4.7 Análisis de dominancia.

Tabla 9. Análisis de dominancia para el cultivo de zanahoria, con niveles de humedad y niveles de fertilización.

Tratamiento	Beneficio Neto (Bs/ha)	Costo Variable (Bs)
$T_4(h_2n_2)$	26,669.52	24,424.26
$T_6(h_3n_2)$	20,558.87	23,111.53
$T_3(h_2n_1)$	18,801.91	22,956.58
$T_2(h_1n_2)$ *	17,063.14	23,338.77
$T_5(h_3n_1)$	16,155.36	22,292.70
$T_1(h_1n_1)$ *	15,118.58	22,966.02

(*) Tratamientos dominados.

El análisis de dominancia detallado en el cuadro 13 diferencia en dos grupos los 6 tratamientos en estudio. El primer grupo integrado por los tratamiento 1 y 2, corresponde a los tratamientos *dominados*, y el segundo grupo con los tratamientos 3,4, 5 y 6 son los tratamientos *no dominados.*

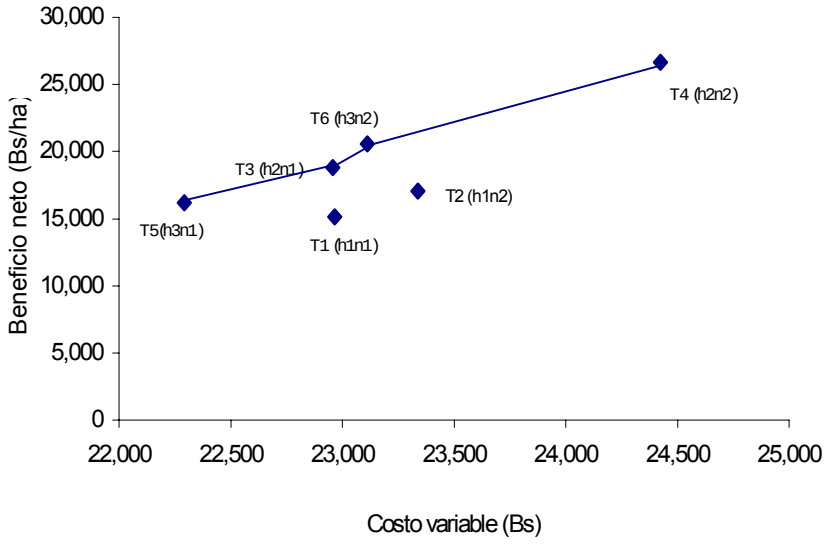


Fig. 13. Curva de beneficios netos para el ensayo..
Entre paréntesis se muestra el nivel de humedad y fertilización correspondiente a cada tratamiento.

En la figura 13 se representan cada uno de los tratamientos a partir de la tabla 9, de acuerdo con el beneficio neto y los costos variables. La curva trazada entre los puntos T_5, T_3, T_6 y T_4 representa en cierta forma la frontera obtenida con las combinaciones de los tratamientos. Puede observarse que los tratamientos dominados caen por debajo de esta línea.

Al analizar la curva de beneficios netos, se puede observar que esta se divide en tres segmentos. Una característica particular de esta curva que puede ser observada, esta comprendida por el primer y ultimo segmento conformados por los tratamientos T_5–T_3 y T_6–T_4. En ambos segmentos, se observa el incremento del beneficio neto cuando varia la humedad del suelo indistintamente del nivel de fertilización. La pendiente que adquieren ambos segmentos es muy similar, sin embargo el tercer segmento es aquel que llega a obtener el mayor beneficio al incrementar el nivel de fertilización.

Otra característica de esta curva se da en el segundo segmento, cuya pendiente es mas elevada con respecto a los otros, demostrando el aumento de los beneficios netos que pueden obtenerse cuando se incrementa un 5 % de fósforo en el nivel de fertilización.

V. CONCLUSIONES.

- Los resultados obtenidos con la asociación de riego y fertilización, demuestran que el cultivo de zanahoria en el altiplano tiene una rentabilidad significativa en la producción a campo abierto.

- Las láminas y frecuencias de riego fueron factores importantes para mantener los niveles de humedad del suelo. El empleo de tensiómetros permitió controlar el contenido de agua en el suelo y establecer la frecuencia de riego en tiempo real de los niveles de humedad. Para el primer nivel de humedad (h_1) se determinó una lámina de riego de 16 mm, aplicada cuando el suelo alcanzaba un potencial matricial de –0.21 bar. En el segundo nivel de humedad (h_2) se utilizó una lámina de 27 mm, a un potencial mátricial de –0.36 bar y para el tercer nivel de humedad (h_3), se aplicó una lámina de 33 mm, a un potencial mátrico de –0.51 bar.

- De acuerdo a las condiciones climáticas, el número de riegos por hectárea determinado para cada nivel de humedad fue: para el primer nivel de humedad se aplico un total de 27 riegos con un gasto en mano de obra de 8.9 horas; el segundo nivel de humedad recibió 15 riegos con un gasto en mano de obra de 4.95 horas y el tercer nivel de humedad recibió 12 riegos con un gasto en mano de obra de 3.96 horas.

- El contenido de humedad y la fertilización de los diferentes tratamientos influyeron distintamente sobre las variables de respuesta.

  En Altura de planta, no se encontraron diferencias estadística como efecto de los tratamientos.

  En *Diámetro de raíz,* solo se manifestó el efecto de los niveles de fertilización. El segundo nivel de fertilización obtuvo el mayor diámetro de

raíz con 3.43 cm en comparación con el primer nivel de fertilización que obtuvo 3.28 cm.

En *Longitud de raíz,* no se encontraron diferencias entre los niveles de humedad, mientras que los niveles de fertilización manifestaron su efecto sobre esta variable, obteniéndose longitudes de 11.12 cm para el primer nivel y 12.11 cm para el segundo nivel.

En cuanto al *Rendimiento,* el segundo nivel de fertilización manifestó los mejores rendimientos comparados con el primer nivel de fertilización sea cual fuere el nivel de humedad empleado. El tratamiento T_4 (h_2n_2) obtuvo el mayor rendimiento con 80.41 tn/ha, mientras que el tratamiento T_1(h_1n_1) obtuvo el menor rendimiento con 59.94 tn/ha.

Analizando los rendimientos obtenidos y comparándolos con la media del rendimiento nacional de 10 tn/ha, se puede apreciar la deficiencia de la agricultura tradicional en cuanto al manejo del agua y nutrientes del suelo.

- El análisis de los costos parciales de producción de los tratamiento, determinó que el tratamiento T_4 (h_2n_2) obtiene el mayor beneficio neto, con Bs26,669.52. y el análisis de dominancia seleccionó como mejores tratamientos al T_4(h_2n_2) seguido por los tratamientos: T_6(h_3n_2), T_3(h_2n_1) y T_5(h_3n_1). Tratamientos óptimos para alcanzar una mejor producción.

- Finalmente el presente ensayo demostró la rentabilidad que puede lograrse cuando se incorpora tecnología sencilla y de fácil aplicación para los agricultores del altiplano, que tienen el privilegio de contar con agua en sus comunidades, de manera que puedan aprovecharla eficientemente disminuyendo costos de oportunidad.

VI RECOMENDACIONES.

A través de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que al ser el primer ensayo realizado, estos resultados son propensos a la variación que presenta el mercado en cuanto a precios. Sin embargo, estos factores deben ser analizados por el productor para tomar las decisiones adecuadas al inicio de se producción.

En este contexto, basados en los resultados obtenidos, se sugiere:

- Aplicar el tratamiento $T_4(h_2n_2)$ como la mejor alternativa para la producción de zanahoria en las condiciones estudiadas.

- De la misma manera se recomienda los tratamientos: $T_6(h_3n_2)$, $T_3(h_2n_1)$ y $T_5(h_3n_1)$, como alternativas de producción debido al beneficio obtenido en relación a sus costos de producción.

- Se recomienda emplear tensiómetros para efectuar el riego en tiempo real, por ser un instrumentos sencillo y práctico para la determinación del contenido de humedad del suelo.

- En cuanto a las cintas de aspersión se recomienda su empleo para diferentes cultivos debido a la baja presión que emplean, la uniformidad de su aplicación en comparación con los aspersores convencionales y su bajo costo.

VII BIBLIOGRAFIA.

AGUDELO, O. 2000. Guía para determinar los parámetros hidrofísicos del suelo para riego. Bogota, Colombia. 60 p.

AITKEN, J. 1987. Manual agrícola. Editorial Wayar y Soux Ltda. La Paz Bolivia. pp 110 – 112.

ARIAS, R. 2001 Tecnologías de cultivos bajo riego en zonas de ladera. 1° Curso Internacional, 2001. pp 36-38.

ARROYO, J. 2001. Tecnológia de cultivos bajo riego en zonas de ladera. Programa de entrenamiento para terceros países. 1er Curso Internacional. Area de cultivos. República de Colombia.

CALZADA, J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. pp 475-476.

CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. México DF.

CNPSH (Centro Nacional de Producción de Semillas de Hortalizas). 2001. Cultivo de Zanahoria. Cochabamba, Bolivia.

CORAS, P. (1995). Propiedades físicas del suelo relacionados con el riego. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Fitotecnia. 250 p.

CORTEZ, A. (1994) Riegos y drenajes e hidráulica agrícola. Universidad Autónoma Tomás Frías. Potosí, Bolivia. 304 p.

CHIPANA, R. 1996. Principios de riego y drenaje. Apuntes de la disciplina de riegos y drenajes. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.

FUENTES, J. (1999). Manual práctico sobre utilización de suelo y fertilización. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 159 p.

GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. IICA. San José, Costa Rica. pp. 379-431.

HUERRES, C.; CARABALLO, N. 1991. Horticultura. Primera Reimpresión. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. pp. 95-105.

INAT (Instituto Nacional de Adecuación de Tierras). 2000. Manejo de cultivos bajo riego en distritos de pequeña escala. Manual de asistencia técnica N°5. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia. pp. 77-79.

MARISCAL, A. 1994. Riegos a drenajes e hidráulica agrícola. Universidad Autónoma Tomas Frías. Bolivia. 304 p.

MAROTO, J. 1995. Horticultura Herbacea Especial. 4ta Edición. Ediciones Mundi Prensa. Impreso por Grafo, S.A. Bilbao. Madrid, España. pp. 45-54.

SANTA OLALLA M., F.; De JUAN, J. 1993. Agronomía del riego. Ed. Mundi – Prensa. Madrid, España. 732 p.

PRONAR. 2000. Riego en Bolivia. Cochabamba, Bolivia. p 11.

VALADEZ, A. 1993. Producción de hortalizas. Noriega Editores. 3era reimpresión. Limusa S.A. de C.V. México. pp. 109-116.

ANEXOS

ANEXO 1

ANÁLISIS DE SUELOS

LABORATORIO DE SUELOS Y NUTRICION ANIMAL
SERVICIO DEPARTAMENTAL AGROPECUARIO "SEDAG"
ESTACION EXPERIMENTAL PATACAMAYA
ANÁLISIS FISICO QUÍMICO DE SUELOS

NOMBRE: _____ PERFIL No: _____

INSTITUCIÓN: _____ LOCALIDAD: Montecani

CARACTERISTICAS		HORIZONTES				
No. De Laboratorio		136				
Símbolo del Horizontes						
Profundidad (cm)		Capa arable				
Arena (A)		41				
Limo (L)		39				
Arcilla (Y)		19				
Clase Textual		F				
Grava %		3,9				
Tamaño Medio de Grava mm		3-9				
Da. G/cc		1,26				
Dr. G/cc		2,66				
pH 1:2.5 suelo/agua		6,4				
pH Extracto						
C.E. 1:2.5 Milimhos/cm		0,074				
C.E. Extracto						
% C.O.		0,85				
%M.O.		1,46				
% N.T.		0,07				
C/N		12,14				
P ppm olsen modificado		14,00				
Boro Soluble ppm						
Cationes Solubles Me/100g	Ca ++					
	Mg ++					
	Na +					
	K +					
CO_3CA%		A				
Color Munsell en seco						
Color Muncell en humedo						
Cationes Intercambiables Me/100g	Ca ++	6,58				
	Mg ++	1,31				
	K^+	1,19				
	Na^+	0,39				
TBI me/100g		9,39				
Ca TOTAL %						
% De Saturación						
POROSIDAD %		52,6				
Humedad a CC %						
Humedad a PMP %		--				

Carbonatos libres
A = Ausentes
P = Presentes
PP = Presente en gran cantidad

YA = Arcillu Arenoso
FYA = Franco - arcillo - arenoso
FA = Franco Arenoso
AF = Arenoso franco
Y = Arcilloso
YL = Arcilloso limoso
F = Franco

FL = Franco limoso
FYL = Franco - arcillo - limoso
L = Limoso
A = Aren

18/12/02
FECHA DE ENTREGA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Vº Bº JEFE

ANEXO 2

NORMAS PARA LA INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FISICO-QUÍMICOS DE SUELOS

NITROGENO TOTAL (Método Micro Kjeldahl).

Nitrógeno (%)	Definición
< 0.1%	Bajo
0.1 – 0.2 %	Medio
> 0.2%	Alto

FOSFORO (Método de Olsen. Extractor NaHCO3 0.5M pH 8.5)

Fósforo (ppm)	Definición
0 - 6 ppm	Bajo
7 – 14 ppm	Medio
> 14 ppm	Alto

POTASIO (Método de Peach. Extractor NaHCO3 pH 4.8)

Potasio (ppm)	Definición
0 – 124 ppm	Bajo
124 – 248 ppm	Medio
> 248 ppm	Alto

MATERIA ORGÁNICA (Método Walkey y Black)

M.O. (%)	Definición
< 2%	Bajo
2 – 4 %	Medio
> 4%	Alto

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (Método del acetato de amonio (pH > 7.0) 1N)

CIC (meq/100 g)	Definición
< 5 meq/100 g	Muy bajo
5 – 10 meq/100 g	Bajo
10 – 15 meq/100 g	Medio
15 – 20 meq/100 g	Alto
> 20 meq/100 g	Muy alto

SATURACION DE BASES

S.B. (%)	Definición
< 35%	Bajo
35 – 80 %	Medio
> 80%	Alto

pH

Se determina potenciométricamente en relación 1:2 suelo-agua ó 1:2:5

Escala de valores	1. Definición
< 4.5	Extremadamente ácido
4.6 – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Medianamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Medianamente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino
> 9.0	Muy fuertemente alcalino

RELACION CARBONO – NITROGENO

C/N	Definición
10	Equilibrio
10- 17	Suficiente N para microorganismo que descomponen M.O si recurrir al N del suelo
17 – 33	N es tomado del suelo
> 33	Materia orgánica no se descompone

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

CE (mMhons/cm)	Definición
< 2 mMhons/cm	No hay problema de sales
2 – 4 mMhons/cm	Ligeros problemas de sales
4 – 8 mMhons/cm	Medio (problemas de sales)
8 – 16 mMhons/cm	Fuerte
> 16 mMhons/cm	Muy fuerte salinidad

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE N, P, K SEGÚN EL ANÁLISIS DE SUELO

(Los cálculos fueron realizados en base al análisis de suelo del anexo 1)

Peso de la capa arable

Profundidad del suelo : 20 cm
Area del suelo a ser analizada (ha) : 1 ha = 10000 m2

*Peso de la capa arable = Area * profundidad * ρ ap*

Peso de la capa arable (tn/ha): 2520 tn = 2520000 kg

Nitrogeno disponible (N):

Coeficiente de mineralización : 1 %

*N disp = N total * coeficiente de mineralización*

Nitrogeno disponible (%) : 0.00073

Nitrogeno disponible kg/ha año : 18.40

Para el ciclo del cultivo

Cultivo : zanahoria
Ciclo en meses: 5

Nitrogeno disponible para el ciclo del culivo: 7.67 kg/ha en 5 meses

Fósforo disponible (P_2O_5)

Fósforo disponible (P) en ppm : 15.00
Fósforo disponible (P) en kg/ha : 37.80

Fósforo disponible en forma de P_2O_5: 86.56 (kg/ha)

Potasio disponible (K_2O):

Consideración de potasio disponible en %: 50

*K disponible = K intercambiable * 0,5*

Potasio disponible (K meq/100 gr S°) : 0.60
Potasio disponible (K kg/ha) : 584.77

Potasio disponible en forma de K_2O : 701.72 kg/ha

Nutrientes disponibles que brinda el suelo

N	P_2O_5	K_2O
7.67	86.56	701.72

Nutrientes disponibles y efectivos que brinda el suelo

			% de fuente tomado por cultivo		
N	=	7.67	* 0.4	=	4.98
P_2O_5	=	86.56	* 0.2	=	25.97
K_2O	=	701.72	* 0.4	=	280.69

N	P_2O_5	K_2O
4.98	25.97	280.69

Limite de rendimiento

Cultivo: zanahoria **Rendimiento:** 40 tn/ha

Requerimiento del cultivo de la zanahoria para un rendimiento d 40 tn/ha

N	P_2O_5	K_2O
125	55	200

Dosis teorica:

N	P_2O_5	K_2O
120	29	0

Dosis real : Considerando la eficiencia de los fertilizantes

N = 80%
P_2O_5 = 30%
K_2O = 70%

N	P_2O_5	K_2O
150	97	0

ANEXO 4

DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE FERTILIZANTES PARA CADA NIVEL

Niveles de fertilización del ensayo

Niveles	N	P_2O_5	K_2O
Nivel 1 :	150	97	0
Nivel 2 :	150	102	0

Fertilizantes a ser utilizados

	RIQUEZA		
Fertilizantes	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**
Nitrofoska azul	12	6	17
Triple 15-15-15	15	15	15
Superfosfato triple	0	46	0

Determinación de la cantidad de nutrientes aportados por cada fertilizante

NITROFOSKA AZUL

Aporte de fósforo 6 kg de P ----------> 100 kg de fertilizante
53 kg de P ----------> X kg de fertilizante

Cantidad de fertilizante : 883.3 kg de Nitrofoska azul

Aporte de nitrógeno 100 kg de fertilizante ----> 12 kg de N
883.3 kg de fertilizante ----> X kg de N

Cantidad de nitrogeno aportado: 106.0 kg de N

TRIPLE 15-15-15

Aporte de fósforo 15 kg de P ----------> 100 kg de fertilizante
44.0 kg de P ----------> X kg de fertilizante

Cantidad de fertilizante : 293.3 kg de Triple 15-15-15

Aporte de nitrógeno 100 kg de fertilizante ----> 15 kg de N
293.3 kg de fertilizante ----> X kg de N

Cantidad de nitrogeno aportado : 44.0 kg de N

Control del nivel de fertilización : Correcto

NIVEL DE FERTILIZACIÓN 1		
N	P	K
150	97	0

SUPERFOSFATO TRIPLE			
Aporte de fósforo	46 kg de P	---------->	100 kg de fertilizante
	2.5 kg de P	---------->	X kg de fertilizante
Cantidad de fertilizante	5.4 Kg de Superfosfato triple		

Control del nivel de fertilización : Correcto

NIVEL DE FERTILIZACIÓN 2		
N	P	K
150	102	0

CANTIDAD DE FERTILIZANTES DETERMINADOS PARA CADA NIVEL DEL ENSAYO

Nivel 1 :

FERTILIZANTES	CANTIDAD POR HECTAREA (kg)
Nitrofoska azul	883.3
Triple 15-15-15	293.3
Superfosfato triple	0.0

Nivel 2 :

FERTILIZANTES	CANTIDAD POR HECTAREA (kg)
Nitrofoska azul	883.3
Triple 15-15-15	293.3
Superfosfato triple	2.5

CANTIDAD DE FERTILIZANTES POR UNIDAD EXPERIMENTAL (U.E.)

Dimensiónes de la unidad experimental

Largo de la parcela:	6	m
Ancho de la parcela:	4	m
Area de la parcela:	24	m2

Nivel 1 :

FERTILIZANTES	CANTIDAD POR U.E. (kg)
Nitrofoska azul	2.12
Triple 15-15-15	0.70
Superfosfato triple	0.00

Nivel 2 :

FERTILIZANTES	CANTIDAD POR U. E. (kg)
Nitrofoska azul	2.12
Triple 15-15-15	0.70
Superfosfato triple	0.01

ANEXO 5

ANÁLISIS DE AGUAS

LABORATORIO DE SUELOS Y NUTRICION ANIMAL
SERVICIO DEPARTAMENTAL AGROPECUARIO "SEDAG"
ESTACION EXPERIMENTAL PATACAMAYA
ANÁLISIS FISICO QUÍMICO DE SUELOS

INSTITUCION: (Consultor)

LOCALIDAD: Mantecani

CARACTERISTICAS	MUESTRAS					
No. De Laboratorio	65					
Símbolo de la Muestra	Mantecani					
CE ds/m. *	0,171					
PH	7,39					
Ca meq/l	5,94					
Mg meq/l	2,15					
Na meq	0,80					
K meq/l	0,31					
Σ Cationes meq/l	9,20					
CO_3 meq/l	0,00					
HCO_3 meq/l	1,82					
Cl – meq/l	0,56					
SO_4 meq/l	6,26					
NO_3 meq/l	0,94					
Σ Aniones meq/l	9,58					
Sólidos Disueltos ppm	250					
Sedimentos g/l	0,00					
Borro ppm soluble	1,00					
Porciento de sodio posible meq/l (PSP)	11,31					
Contenido Salino g/l						
Relación de adsorción de sodio (RAS)	0,40					
Carbonato de sodio residual meq/l (CSR)	0,00					
Peligro de salinidad	C1-S1					

// Partículas de arcilla con contenido de hierro

C1 Agua de baja salinidad
C2 Agua de salinidad media
C3 Agua altamente salina
C4 Agua muy altamente salina

S1 Agua baja en radio
S2 Agua media en radio
S3 Agua alta en radio
S4 Agua muy alta en radio

- 1 mmho/cm = 1 ds/m

Ing. M. C. Rubén Camacho M.
RESP. AREA SUELOS Y LAB.
UNIDAD DE RIEGO Y SUELO
PREFECTURA - LA PAZ

18/12/02

FECHA DE ENTREGA RESPONSABLE DE LABORATORIO V° B° JEFE

ANEXO 6

NORMAS PARA LA INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

Riesgo de salinidad según diferentes autores

Fuente	Parámetro	Grado de problema potencial		
		Ninguno	Ligero a moderado	Severo
FAO	CE (dS/m)	<0,70	0,70-3,00	>3,00
Ministerio de Agr. Israel	CE (dS/m)	<0,70	0,70-3,00	>3,00
Norma Chilena Oficial	CE (dS/m)	<0,75	0,75-3,00	>3,00
Tamés (España)	CE (dS/m)	<0,80	0,80-2,0	>2,0

Riesgo de sodicidad según diferentes autores

Fuente	Parámetro	Grado de problema potencial		
		Ninguno	Ligero a moderado	Severo
FAO				
Ministerio de Agr. Israel	RAS $(meq/L)^{1/2}$	< 6	6 - 11	> 11
Norma Chilena Oficial	RAS $(meq/L)^{1/2}$	< 10	10 - 18	> 18
Tamés (España)	RAS $(meq/L)^{1/2}$	< 5	1,25-2,50	> 15

Riesgo de toxicidad según diferentes autores

Fuente	Parámetro	Grado de problema potencial		
		Ninguno	Ligero a moderado	Severo
FAO	Na (meq/L)	< 3	3 - 9	> 9
	Cl (meq/L)	< 2	2 - 10	> 10
	Alc. (meq/L)	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
	B (mg/L)	< 1	1 - 2	> 2
	NO_3 (mg/L)	< 5	5 - 30	> 30

Valores promedio de aguas superficiales sobre la base del riesgo de salinidad

Parámetro	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
$CE_{25°C}$ (mS/cm)	<0,750	0,750-1,500	1,501-3,00	>3,00
SDT (mg/L)	<500	500-999	1000-2000	>2000
pH	<7,42	7,42-7,69	7,70-8,00	>8,00
Calcio (meq/L)	<2,2	2,2-3,8	3,9-7,0	>7,0
Magnesio (meq/L)	<1,2	1,2-2,4	2,5-5,0	>5,0
Sodio (meq/L)	<3,7	3,7-9,0	9,1-22	>22
Alcalinidad (meq/L)	<4,5	4,5-8,5	8,6-16	>16
Cloruro (meq/L)	<1,9	1,9-3,6	3,7-7,0	>7,0
Dureza (meq/L)	<3,4	3,4-6,2	6,3-12	>12
RAS $(meq/L)^{1/2}$	<2,9	2,9-5,2	5,3-10	>10
ASR (meq/L)	<1,1	1,1-2,3	2,4-4,0	>4,0

Valores promedio de aguas subterráneas sobre la base del riesgo de salinidad

Parámetro	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
$CE_{25°C}$ (mS/cm)	<0,750	0,750-1,500	1,501-3,00	>3,00
SDT (mg/L)	<500	500-999	1000-2000	>2000
pH	<7,11	7,11-7,32	7,33-7,53	>7,53
Calcio (meq/L)	<2,6	2,6-3,6	3,7-4,9	>4,9
Magnesio (meq/L)	<1,1	1,1-2,1	2,2-3,8	>3,8
Sodio (meq/L)	<3,4	3,4-9,1	9,2-24	>24
Alcalinidad (meq/L)	<5,9	5,9-9,0	9,1-14	>14
Cloruro (meq/L)	<1,4	1,4-3,7	3,8-9,8	>9,8
Dureza (meq/L)	<3,7	3,7-5,7	5,8-8,7	>8,7
RAS $(meq/L)^{1/2}$	<2,4	2,4-5,4	5,5-12	>12
ASR (meq/L)	<2,2	2,2-3,3	3,4-5,3	>5,3

Clase I. Excelente. Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.
Clase II. Buena. Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.
Clase III. Regular. Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos.
Clase IV. Mala. Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos. Agua con CE>5 mS/cm deberá usarse sólo como caso extremo y a ser posible en suelos livianos.

ANEXO 7

ECUACION DE VAN GENUCHTEN PARA CURVA DE RETENSIÓN

$$\theta i = \theta r + ((\theta s - \theta r)/(1+\alpha * \psi i)^{n})^{m}$$

α,n,m : Parametros empiricos de la ecuación de Genuchten estimados en base a un análisis de regresión no lineal a en cm agua

θr : Humedad residual (humedad del suelo seco) que generalmente se toma la humedad a una tensión de 15 atm (cm3/cm3)

θs : Humedad a saturación (cm3/cm3)

ρ real	2.66	
ρap	1.26	
Porosidad	0.52750	0.5275
ψ cc =	214.16	cm col de agua
θ r =	0.14731	
θs =	0.52750	
α =	0.00574	
m =	0.46423	
n =	1.86647	
θ cc =	0.397126	m3/m3

θ r =	0.14731	
θs =	0.52750	
α =	0.00574	
m =	0.46423	
n =	1.86647	
θ cc =	0.39713	m3/m3
ψ cc =	214.1605595	cm col de agua
	0.21	bar
	21	cbar
Altura del instrumento :	40	cm
Lectura del tensiometro :	254.16	cm col de agua
	0.25	bar
	25	centibar

ANEXO 8

VALORES DE HUMEDAD VOLUMETRICA A DIFERENTES TENSIONES MATRICIALES

Comunidad: Mantecani Tipo de suelo: Franco

ρap : 1.26

Tensión matricial (KPa)	Tensión matricial (bar)	Humedad volumétrica (m3/m3)
0.00	0.000	0.52750
0.10	0.001	0.52749
1.00	0.010	0.52662
2.00	0.020	0.52432
5.00	0.050	0.51089
10.00	0.100	0.47600
20.00	0.200	0.40337
25.00	0.250	0.37433
30.00	0.300	0.35034
31.00	0.310	0.34608
33.00	0.330	0.33803
50.00	0.500	0.28866
80.00	0.800	0.24457
100.00	1.000	0.22815
250.00	2.500	0.18436
300.00	3.000	0.17898
500.00	5.000	0.16768
1500.00	15.000	0.14731

NIVELES DE HUMEDAD, LAMINAS DE RIEGO Y TIEMPO DE RIEGO

Nivel Humedad	Ψmi	θi (m3/m3)	Lectura (cb)	$\Delta\theta$ (m3/m3)	Lámina (mm)	Intensidad de aplicaciön (mm/h)	Tiempo de riego (hora)	Tiempo de riego (min)
H0	0.06	0.50478	10					
H1	0.21	0.39713	25	0.10765	16	20.4	0.8	47
H2	0.36	0.32703	40	0.17775	27	20.4	1.3	78
H3	0.51	0.28652	55	0.21826	33	20.4	1.6	96

Profundidad (mm) :	150

ANEXO 9

ANEXO 10

PRUEBA DE INFILTRACIÓN

SITIO DEL ENSAYO: Mantecani
FECHA: 10 de octubre del 2002

TIEMPO (minutos)		LÄMINA (cm)		X	Y	XY	X*2	Lámina infiltrada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/hora)
Instantaneo	Acumulado	Instantaneo	Acumulado						
0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
1	1	0.90	0.90	0.00	-0.05	0.00	0.00	1.107	33.838
1	2	0.60	1.50	0.30	0.18	0.05	0.09	1.576	24.083
1	3	0.50	2.00	0.48	0.30	0.14	0.23	1.938	19.738
3	6	1.30	3.30	0.78	0.52	0.40	0.61	2.758	14.048
5	11	1.30	4.60	1.04	0.66	0.69	1.08	3.756	10.434
6	17	0.50	5.10	1.23	0.71	0.87	1.51	4.688	8.427
10	27	0.60	5.70	1.43	0.76	1.08	2.05	5.933	6.716
30	57	2.50	8.20	1.76	0.91	1.60	3.08	8.682	4.655
30	87	2.00	10.20	1.94	1.01	1.96	3.76	10.768	3.783
30	117	1.80	12.00	2.07	1.08	2.23	4.28	12.522	3.271
30	147	1.60	13.60	2.17	1.13	2.46	4.70	14.066	2.924
30	177	1.60	15.20	2.25	1.18	2.66	5.05	15.462	2.670
30	207	1.60	16.80	2.32	1.23	2.84	5.36	16.745	2.472
			Σ	17.75	9.62	16.99	31.81		

B = (n * ΣXY - Σ X * Σ Y)/(n * Σ X2 - (ΣX)2)

B = 0.5094

A = (ΣY * ΣX*2 - Σ X * Σ XY)/(n * Σ X2 - (ΣX)2)

A = 0.044

K = invlog A

K = 1.1072

$Zin = kT^{a}$

VIB = 0.1* I

Tiempo en el cual ocurrirá la velocidad de infiltración básica

T(VIB) = (-10 (a-1)) ⟶ T (VIB) = 4.9064 horas 294.39 minutos

Por tanto:

$VIB = a * k (-10 (a -1))^{a}$

VIB =	0.0347	cm/min =	2.0799	cm/hora =	20.799	mm/hora

INFORMACION GENERAL PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

1. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO

Método de riego:	CINTAS DE ASPERSIÓN	Sistema:	SEMIPORTATIL
Eficiencia del sistema :	85 %		

2. CULTIVO

Tipo de cultivo :	zanahoria
Ciclo del cultivo (mes) :	5
Profundidad radicular efectiva (cm) :	20
Altura media de las plantas (cm) :	45
Fracción de agotamiento :	0.4

3. PARAMETROS HIDROFISICOS DEL SUELO

Textura :	Franco
% Porosidad :	52.60
% Capacidad de campo (U):	22.78
% Punto de marchitez (U):	10.09
Densidad aparente (gr/cm) :	1.26
Velocidad de infiltración básica (mm/hora) :	20.80

4. CLIMA

Temperatura media (°C) :	9.4
% Humedad relativa :	49
Velocidad del viento (m/s) :	2

5. FUENTE DE AGUA

Tipo de agua :	Subterranea
Clasificación del agua :	C1S1
Cantidad disponible por riego (m3) :	180
Desnivel de succión (m) :	1.8

6. CINTAS DE ASPERSIÓN

Marca:	Sumisansui
Material	Polietileno
Díametro (pulg) :	2.00
Longitud por cinta (m) :	100
Tamaño del orificio aspersor (mm) :	0.40
Presión de trabajo (m.c.a) :	2.50
Distancia de humedecimiento (m) :	4.00

7. DIMENSIONES DEL ÁREA EXPERIMENTAL

Largo de la parcela (m) :	6.00
Ancho de la parcela (m) :	4.00
Area de la parcela (m2) :	24.00
Pendiente de la parcela (%):	0.02
Area Total (ha) :	0.576

ANEXO 12 a

INFORMACIÓN CLIMATOLOGICA

Estación climática: Ayoayo
Comunidad: Mantecani
Altitud (m.s.n.m.): 3895
Latitud: 67°57'
Longitud: 17°06'

TEMPERATURAS MENSUALES

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura (°C)	11.60	11.30	11.20	10.20	8.10	6.50	6.80	8.30	9.70	11.30	12.40	11.80

PRECIPITACIONES MENSUALES

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
Prec. (mm.)	98.80	62.00	52.10	20.00	6.60	4.60	4.30	9.30	23.60	24.80	29.90	61.50	397.50

EVAPOTRANSPIRACIÓN MENSUAL

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
ET (mm/mes)	96.10	98.00	99.20	87.00	74.40	69.00	74.40	93.00	99.00	111.60	114.00	111.60
ET (mm/día)	3.10	3.50	3.20	2.90	2.40	2.30	2.40	3.00	3.30	3.60	3.80	3.60

HUMEDAD RELATIVA

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
H°R° media (%)	65.70	63.70	60.00	49.70	43.70	43.00	42.50	46.50	46.00	45.90	46.10	54.40

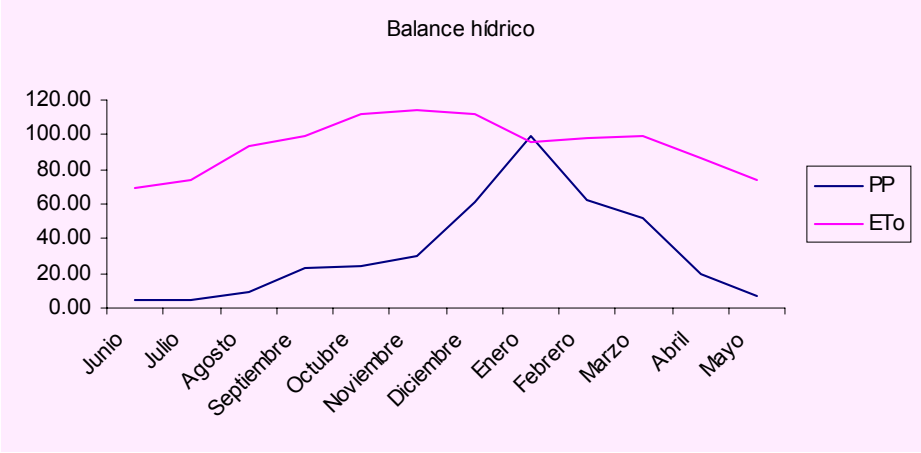
VELOCIDAD VIENTO

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Velocidad (m/s)	1.97	2.00	2.00	1.50	1.00	2.00	2.00	2.50	2.43	2.50	2.03	2.00

ANEXO 12 b

BALANCE HÍDRICO

	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	365
ET (mm/dia)	2.30	2.40	3.00	3.30	3.60	3.80	3.60	3.10	3.50	3.20	2.90	2.40	
ET (mm/mes)	69.00	74.40	93.00	99.00	111.60	114.00	111.60	96.10	98.00	99.20	87.00	74.40	1127.30
Prec. (mm.)	4.60	4.30	9.30	23.60	24.80	29.90	61.50	98.80	62.00	52.10	20.00	6.60	397.50
Prec. Efec. (mm.)	0.00	0.00	0.00	6.02	6.86	10.43	32.55	58.66	32.90	25.97	3.50	0.00	176.890
Kc	0.00	0.00	0.00	0.37	0.73	0.91	1.10	0.95	0.80	0.00	0.00	0.00	
Etc(mm/mes)	0.00	0.00	0.00	36.63	81.47	103.74	122.76	91.30	78.40	0.00	0.00	0.00	514.293
Etc(mm/día)	0.00	0.00	0.00	1.22	2.63	3.46	3.96	2.95	2.80	0.00	0.00	0.00	
Req. Riego (mm.)	0.00	0.00	0.00	30.61	74.61	93.31	90.21	32.64	45.50	0.00	0.00	0.00	366.873
Area (ha)	0.00	0.00	0.00	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.00	0.00	0.00	
Req. Neto (m3)	0.00	0.00	0.00	73.46	179.06	223.94	216.50	78.32	109.20	0.00	0.00	0.00	



DISEÑO DEL RIEGO

1. LAMINA NETA (Zn)

Nivel de humedad	θ i (m3/m3)	Δθ (m3/m3)	Lámina (mm)
H1	0.39713	0.10765	16
H2	0.32703	0.17775	27
H3	0.28652	0.21826	33

2. LAMINA BRUTA (Zb)

Nivel de humedad	Δθ (m3/m3)	Agotamiento %	Eficiencia del sistema	Humedad rápidamente aprovechable %	Profundidad del perfil para calcular la lámina (mm)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)
h_1	0.10765	40	0.9	4.31	150	16	18
h_2	0.17775			7.11		27	30
h_3	0.21826			8.73		33	36

3. FRECUENCIA DE RIEGO

Nivel Humedad	Ψmi	θi (m3/m3)	Lectura (cb)
h_1	0.21	0.39713	25
h_2	0.36	0.32703	40
h_3	0.51	0.28652	55

4. CINTA DE ASPERSIÓN

Tamaño del orificio aspersor (mm) :	0.40
Presión de trabajo (m.c.a.) :	2.50
Distancia de humedecimiento (m) :	4.00
Longitud de la cinta (m) :	50
Numero de cintas en funcionamiento:	6.00
Numero total de cintas:	12.00
Distancia entre orificios por cinta (Es) (m):	0.15
Distancia entre cintas (El) (m) :	4.00
Número de orificios de salida :	333
Caudal por orificio (qs) (l/s) :	0.0034
Caudal por cinta (l/s) :	1.13
Caudal total por cintas (l/s) :	6.80

TASA DE APLICACIÓN

Ip = qs/(Es*El)

Ip = 0.0204 m/h 20.40 mm/h

VALORACIÓN : Como la Ip es menor a la VIB el caudal del orificio aspersor es el adecuado

5. TIEMPO DE RIEGO (Tr)

Nivel Humedad	Lámina (mm)	Intensidad aplicaciön (mm/h)	Tiempo de riego (hora)	Tiempo de riego (min)
h_1	18	20.4	0.9	53
h_2	30	20.4	1.5	88
h_3	36	20.4	1.8	106

6. CAUDAL DEL PROYECTO (Qs)

Numero de cintas en funcionamiento :	6.00
Número de orificios de salida:	333
Caudal por orificio (l/s) :	0.0034
Caudal por cinta (l/s) :	1.13
Caudal total (l/s) :	6.80

7. NUMERO DE CINTAS EN FUNCIONAMIENTO (Nc)

Nc = 6

8. NUNERO DE ORIFICIOS ASPERSORES EN LA CINTA DE ASPERSION (No)

No = Longitud de la cinta * distancia entre orificios
No = 333

9. CAUDAL CORREGIDO

Número de orificios	333
Caudal por orificio (l/s) :	0.0034
Caudal por cinta (l/s) :	1.13

10. DISEÑO DE LA LINEA LATERAL (cinta de aspersión)

La linea lateral es una cinta de aspersión que tiene las siguientes caracteristicas:

Material de la cinta =	polietileno
Diametro interno (pulg) :	2
Tamaño del orificio de salida (mm) :	0.4

Cálculo del Factor de Cristiansen F para

n = 333
m= 1.75

$$F= 1 / (m+1) + 1/(2*n) + (m-1)^{0.5} / (6* n^{2})$$

F= 0.365

Caudal de la linea lateral (cinta de aspersión)

Longitud de la cinta (m) : 50
Caudal por cinta (l/s) : 1.13

Pérdida de carga permitida ΔH

Pérdida de carga permitida ΔH en la línea lateral 20 %

Presión de servicio (hs) : 2.50 mca = 0.25 kg/cm2

ΔH = 0.2 * hs

ΔH = 0.50 mca 0.05 kg/cm2

Para un díametro de 2.00 pulgadas

$$hf = 0.00099\ q^{1.75} / d^{4.75}$$

hf = 0.0097254 m/m

hf´ = hf * F * L

hf´ = 0.17756 m

Valoración = Díametro correcto

10 PRESION EN LA ENTRADA DEL LATERAL (CINTA DE ASPERSION)

Altura del asta 0 m
Pendiente (negativo si es en bajada, positivo en subida) 0.002 m

Presión máxima en el lateral =Hs +3/4 hf' + alt asta +/- 0.5 pendiente

Presión máxima en el lateral = 2.63 m

Presión mínima en el lateral =Hs - 1/4 hf' + alt asta +/- 0.5 pendiente

Presión mínima en el lateral = 2.46 m

11 DISEÑO DE LA LINEA PRINCIPAL

El caudal de la línea principal sera diseñada para 6 cintas de aspersión

Caudal de la línea principal sera = caudal por cinta * No de cintas

Caudal de la línea principal sera = 6.80 l/s = 24.48 m3/hora 0.00680 m3/s

Pérdida de carga permitida ΔH en la línea principal 30 %

Presión de servicio (hs) 2.50 mca = 0.25 kg/cm2

$$\Delta H = 0.3 * hs$$

ΔH = 0.75 mca 0.08 kg/cm2

Para un díametro de 4.00 pulgadas
Longitud de la linea principa 60.00 m
Coeficiente Hazen Williams 145

$$hf = 10.641\ q^{1.85} / c^{1.85}\ d^{4.87}$$

hf = 0.0072 m/m

hf´ = hf * F * L

hf´ = 0.42971 m < 0.75 m

Valoración = Díametro correcto

12 PRESION DE SERVICIO EN EL LATERAL (Cinta de aspersión) MAS CRITICO (Hsc)

Hsc = 3.0639 m

13 ALTURA MANOMETRICA TOTAL (Ham)

Ham= Hsc + H succión + pérdida de carga accesorios

Ham = 14.6683 m

14 POTENCIA DE LA BOMBA

CV = Q(l/s) * Ham

CV = 1.3299
HP = 1.3499

ANEXO 14

ANÁLISIS DE COSTOS PARCIALES
EN LA PRODUCCIÓN DE ZANAHORIA

ANEXO 14-a

PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS POR HECTAREA
(Expresado en bolivianos)

Cultivo: Zanahoria
Variedad: Royal chantenay
Tratamiento: Testigo

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
PREPARACIÓN DEL TERRENO				**610.00**
Roturado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Rastrado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Nivelado con maquinaria	hr	1.00	210.00	210.00
FERTILIZACIÓN DEL SUELO				**116.40**
Aplicación del fertilizante	m2	10000.00	0.01	116.40
SIEMBRA DEL CULTIVO				**5222.44**
Siembra manual de zanahoria	m2	10000.00	0.52	5222.44
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO				**0.00**
Provisión e instalación de la matriz principal	glb		1477.13	0.00
Alquiler equipo de bombeo	glb		2765.00	0.00
Provisión e instalación de las cintas de aspersión	glb		6247.50	0.00
LABORES CULTURALES				**2501.14**
Aplicación del herbicida	m2	10000.00	0.04	395.87
Riego del cultivo	glb	1.00	2105.28	2105.28
COSECHA				**1439.63**
Cosecha manual	bolsa	142.00	0.89	126.81
Selección manual	bolsa	142.00	0.15	20.63
Lavado	bolsa	142.00	1.15	162.86
Embolsado	bolsa	142.00	2.16	307.16
Transporte	bolsa	142.00	5.79	822.18
TOTAL PRESUPUESTO (Bs/ha)				**9889.62**

ANEXO 14-b

PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS POR HECTAREA
(Expresado en bolivianos)

Cultivo: Zanahoria
Variedad: Royal chantenay
Tratamiento: h_1n_1

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
PREPARACIÓN DEL TERRENO				**610.00**
Roturado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Rastrado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Nivelado con maquinaria	hr	1.00	210.00	210.00
FERTILIZACIÓN DEL SUELO				**5343.54**
Aplicación del fertilizante	m2	10000.00	0.53	5343.54
SIEMBRA DEL CULTIVO				**7403.06**
Siembra manual de zanahoria	m2	10000.00	0.74	7403.06
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO				**1925.93**
Provisión e instalación de la matriz principal	glb	1.00	361.93	361.93
Equipo de bombeo	glb	1.00	276.50	276.50
Provisión e instalación de las cintas de aspersión	glb	1.00	1287.50	1287.50
LABORES CULTURALES				**1732.34**
Aplicación del herbicida	m2	10000.00	0.04	410.87
Riego del cultivo	glb	1.00	1321.47	1321.47
COSECHA				**5951.15**
Cosecha manual	bolsa	587.00	0.89	524.19
Selección manual	bolsa	587.00	0.15	85.26
Lavado	bolsa	587.00	1.15	673.22
Embolsado	bolsa	587.00	2.16	1269.75
Transporte	bolsa	587.00	5.79	3398.73
TOTAL PRESUPUESTO (Bs/ha)				**22966.02**

ANEXO 14-c

PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS POR HECTAREA
(Expresado en bolivianos)

Cultivo: Zanahoria
Variedad: Royal chantenay
Tratamiento: h_1n_2

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
PREPARACIÓN DEL TERRENO				**610.00**
Roturado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Rastrado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Nivelado con maquinaria	hr	1.00	210.00	210.00
FERTILIZACIÓN DEL SUELO				**5351.31**
Aplicación del fertilizante	m2	10000.00	0.54	5351.31
SIEMBRA DEL CULTIVO				**7403.06**
Siembra manual de zanahoria	m2	10000.00	0.74	7403.06
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO				**1925.93**
Provisión e instalación de la matriz principal	glb	1.00	361.93	361.93
Alquiler equipo de bombeo	glb	1.00	276.50	276.50
Provisión e instalación de las cintas de aspersión	glb	1.00	1287.50	1287.50
LABORES CULTURALES				**1732.34**
Aplicación del herbicida	m2	10000.00	0.04	410.87
Riego del cultivo	glb	1.00	1321.47	1321.47
COSECHA				**6316.13**
Cosecha manual	bolsa	623.00	0.89	556.34
Selección manual	bolsa	623.00	0.15	90.49
Lavado	bolsa	623.00	1.15	714.50
Embolsado	bolsa	623.00	2.16	1347.63
Transporte	bolsa	623.00	5.79	3607.17
TOTAL PRESUPUESTO (Bs/ha)				**23338.77**

ANEXO 14-d

PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS POR HECTAREA
(Expresado en bolivianos)

Cultivo: Zanahoria
Variedad: Royal chantenay
Tratamiento: h_2n_1

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
PREPARACIÓN DEL TERRENO				**610.00**
Roturado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Rastrado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Nivelado con maquinaria	hr	1.00	210.00	210.00
FERTILIZACIÓN DEL SUELO				**5343.54**
Aplicación del fertilizante	m2	10000.00	0.53	5343.54
SIEMBRA DEL CULTIVO				**7403.06**
Siembra manual de zanahoria	m2	10000.00	0.74	7403.06
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO				**1925.93**
Provisión e instalación de la matriz principal	glb	1.00	361.93	361.93
Alquiler equipo de bombeo	glb	1.00	276.50	276.50
Provisión e instalación de las cintas de aspersión	glb	1.00	1287.50	1287.50
LABORES CULTURALES				**1145.02**
Aplicación del herbicida	m2	10000.00	0.04	410.87
Riego del cultivo	glb	1.00	734.15	734.15
COSECHA				**6529.03**
Cosecha manual	bolsa	644.00	0.89	575.09
Selección manual	bolsa	644.00	0.15	93.54
Lavado	bolsa	644.00	1.15	738.59
Embolsado	bolsa	644.00	2.16	1393.05
Transporte	bolsa	644.00	5.79	3728.76
TOTAL PRESUPUESTO (Bs/ha)				**22956.58**

ANEXO 14-e

PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS POR HECTAREA
(Expresado en bolivianos)

Cultivo: Zanahoria
Variedad: Royal chantenay
Tratamiento: h_2n_2

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
PREPARACIÓN DEL TERRENO				**610.00**
Roturado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Rastrado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Nivelado con maquinaria	hr	1.00	210.00	210.00
FERTILIZACIÓN DEL SUELO				**5351.31**
Aplicación del fertilizante	m2	10000.00	0.54	5351.31
SIEMBRA DEL CULTIVO				**7403.06**
Siembra manual de zanahoria	m2	10000.00	0.74	7403.06
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO				**1925.93**
Provisión e instalación de la matriz principal	glb	1.00	361.93	361.93
Alquiler equipo de bombeo	glb	1.00	276.50	276.50
Provisión e instalación de las cintas de aspersión	glb	1.00	1287.50	1287.50
LABORES CULTURALES				**1145.02**
Aplicación del herbicida	m2	10000.00	0.04	410.87
Riego del cultivo	glb	1.00	734.15	734.15
COSECHA				**7988.94**
Cosecha manual	bolsa	788.00	0.89	703.68
Selección manual	bolsa	788.00	0.15	114.46
Lavado	bolsa	788.00	1.15	903.74
Embolsado	bolsa	788.00	2.16	1704.54
Transporte	bolsa	788.00	5.79	4562.52
TOTAL PRESUPUESTO (Bs/ha)				**24424.26**

ANEXO 14-f

PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS POR HECTAREA
(Expresado en bolivianos)

Cultivo: Zanahoria
Variedad: Royal chantenay
Tratamiento: h_3n_1

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
PREPARACIÓN DEL TERRENO				**610.00**
Roturado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Rastrado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Nivelado con maquinaria	hr	1.00	210.00	210.00
FERTILIZACIÓN DEL SUELO				**5343.54**
Aplicación del fertilizante	m2	10000.00	0.53	5343.54
SIEMBRA DEL CULTIVO				**7403.06**
Siembra manual de zanahoria	m2	10000.00	0.74	7403.06
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO				**1925.93**
Provisión e instalación de la matriz principal	glb	1.00	361.93	361.93
Alquiler equipo de bombeo	glb	1.00	276.50	276.50
Provisión e instalación de las cintas de aspersión	glb	1.00	1287.50	1287.50
LABORES CULTURALES				**998.19**
Aplicación del herbicida	m2	10000.00	0.04	410.87
Riego del cultivo	glb	1.00	587.32	587.32
COSECHA				**6011.98**
Cosecha manual	bolsa	593.00	0.89	529.55
Selección manual	bolsa	593.00	0.15	86.13
Lavado	bolsa	593.00	1.15	680.10
Embolsado	bolsa	593.00	2.16	1282.73
Transporte	bolsa	593.00	5.79	3433.47
TOTAL PRESUPUESTO (Bs/ha)				**22292.70**

ANEXO 14-g

PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS POR HECTAREA
(Expresado en bolivianos)

Cultivo: Zanahoria
Variedad: Royal chantenay
Tratamiento: h_3n_2

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
PREPARACIÓN DEL TERRENO				**610.00**
Roturado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Rastrado con maquinaria	hr	1.00	200.00	200.00
Nivelado con maquinaria	hr	1.00	210.00	210.00
FERTILIZACIÓN DEL SUELO				**5351.31**
Aplicación del fertilizante	m2	10000.00	0.54	5351.31
SIEMBRA DEL CULTIVO				**7403.06**
Siembra manual de zanahoria	m2	10000.00	0.74	7403.06
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO				**1925.93**
Provisión e instalación de la matriz principal	glb	1.00	361.93	361.93
Alquiler equipo de bombeo	glb	1.00	276.50	276.50
Provisión e instalación de las cintas de aspersión	glb	1.00	1287.50	1287.50
LABORES CULTURALES				**998.19**
Aplicación del herbicida	m2	10000.00	0.04	410.87
Riego del cultivo	glb	1.00	587.32	587.32
COSECHA				**6823.04**
Cosecha manual	bolsa	673.00	0.89	600.99
Selección manual	bolsa	673.00	0.15	97.75
Lavado	bolsa	673.00	1.15	771.85
Embolsado	bolsa	673.00	2.16	1455.78
Transporte	bolsa	673.00	5.79	3896.67
TOTAL PRESUPUESTO (Bs/ha)				**23111.53**

ANALISIS DE COSTOS PARCIALES EN LA PRODUCCIÓN DE ZANAHORIA

(Expresados en bolivianos por héctarea)

VARIEDADES	Testigo	h_1n_1	h_1n_2	h_2n_1	h_2n_2	h_3n_1	h_3n_2
Rendimiento (tn/ha)	14.50	59.94	63.59	65.72	80.41	60.51	68.73
Rendimiento Ajustado 10%	0.00	5.99	6.36	6.57	8.04	6.05	6.87
Rendimiento neto (tn/ha)	14.50	53.94	57.23	59.15	72.37	54.46	61.86
Precio 1kg/Bs.	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
Beneficio Bruto (Bs/ha)	**10237.00**	**38084.61**	**40401.91**	**41758.49**	**51093.78**	**38448.05**	**43670.41**
COSTOS MONETARIOS							
Preparación del terreno (Bs/ha)	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00
Semilla (Bs/ ha)	79.38	1260.00	1260.00	1260.00	1260.00	1260.00	1260.00
Paja (Bs/ha)	5000.00	6000.00	6000.00	6000.00	6000.00	6000.00	6000.00
Fertilizantes (Bs/ha)	99.90	5323.60	5331.38	5323.60	5331.38	5323.60	5331.38
Herbicidas y adherente (Bs/ha)	360.00	375.00	375.00	375.00	375.00	375.00	375.00
Matriz principal (Bs/ha)	0.00	278.80	278.80	278.80	278.80	278.80	278.80
Equipo de bombeo (Bs/ha)	0.00	276.50	276.50	276.50	276.50	276.50	276.50
Provisión de cintas de aspersión (Bs/ha)	0.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00
Gasolina (Bs/ha)	0.00	1299.20	1299.20	721.78	721.78	577.42	577.42
Red de cosecha (Bs/ha)	85.20	352.20	373.80	386.40	472.80	355.80	403.80
Bolsas (Bs/ha)	255.60	1056.60	1121.40	1159.20	1418.40	1067.40	1211.40
Transporte (Bs/ha)	710.00	2935.00	3115.00	3220.00	3940.00	2965.00	3365.00
Total de costos monetarios(Bs/ha)	**7190.08**	**20996.90**	**21271.07**	**20841.28**	**21914.65**	**20319.52**	**20919.30**
COSTOS VARIABLES DE OPORTUNIDAD							
Nivelado (Bs/ha)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Fertilizado (Bs/ha)	16.50	19.94	19.94	19.94	19.94	19.94	19.94
Siembra (Bs/ha)	143.06	143.06	143.06	143.06	143.06	143.06	143.06
Prov. e inst. matriz principal (Bs/ha)	0.00	83.13	83.13	83.13	83.13	83.13	83.13
Prov. e inst. cintas de aspersión (Bs/ha)	0.00	47.50	47.50	47.50	47.50	47.50	47.50
Aplicación de herbicida (Bs/ha)	35.87	35.87	35.87	35.87	35.87	35.87	35.87
Riego del cultivo (Bs/ ha)	2105.28	22.28	22.28	12.38	12.38	9.90	9.90
Cosecha (Bs/ha)	126.81	524.19	556.34	575.09	703.68	529.55	600.99
Selección (Bs/ha)	20.63	85.26	90.49	93.54	114.46	86.13	97.75
Lavado (Bs/ha)	77.66	321.02	340.70	352.19	430.94	324.30	368.05
Embolsado (Bs/ha)	51.56	213.15	226.23	233.85	286.14	215.33	244.38
Transporte (Bs/ha)	112.18	463.73	492.17	508.76	622.52	468.47	531.67
Total de costos variables de oportunidad (Bs/ha)	**2699.54**	**1969.12**	**2067.70**	**2115.30**	**2509.61**	**1973.18**	**2192.24**
Total de costos variables (Bs/ha)	**9889.62**	**22966.02**	**23338.77**	**22956.58**	**24424.26**	**22292.70**	**23111.53**
Beneficio Neto (Bs/ha)	**347.38**	**15118.58**	**17063.14**	**18801.91**	**26669.52**	**16155.36**	**20558.87**
Tasa de Retorno Marginal (%)		113	124	141	181	127	153

ANEXO 15

FOTOGRAFÍAS

PREPARACIÓN DEL ÁREA DE ENSAYO

Preparación del terreno

Nivelado del terreno

Siembra del cultivo

Instalación del sistema de riego

SISTEMA DE RIEGO

Prueba de infiltración.

Instrumentos de medición del sistema de riego.

Equipo de bombeo.

Fuente de agua.

Evaluación del sistema de riego.

RIEGO DEL ENSAYO

COSECHA DEL ENSAYO

Cosecha del área experimental.

Selección.

Lavado y pisado del producto.

Embolsado.

ANEXO 16

ANÁLISIS DE VARIANZA

ALTURA DE PLANTA

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
B	4	1 2 3 4
L	3	1 2 3
N	2	1 2

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	14	420.54395833	30.03885417	1.25	0.3751
Error	9	215.64003750	23.96000417		
Corrected Total	23	636.18399583			

R-Square	C.V.	Root MSE	Y Mean
0.661041	17.89206	4.89489573	27.35791667

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	3	98.29224583	32.76408194	1.37	0.3138
L	2	85.66500833	42.83250417	1.79	0.2219
B*L	6	220.61509167	36.76918194	1.53	0.2703
N	1	3.14650417	3.14650417	0.13	0.7254
L*N	2	12.82510833	6.41255417	0.27	0.7711

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	3	98.29224583	32.76408194	1.37	0.3138
L	2	85.66500833	42.83250417	1.79	0.2219
B*L	6	220.61509167	36.76918194	1.53	0.2703
N	1	3.14650417	3.14650417	0.13	0.7254
L*N	2	12.82510833	6.41255417	0.27	0.7711

Tests of Hypotheses using the Type III MS for B*L as an error term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	3	98.29224583	32.76408194	0.89	0.4978

Tests of Hypotheses using the Type III MS for B*L as an error term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
L	2	85.66500833	42.83250417	1.16	0.3737

General Linear Models Procedure
Duncan's Multiple Range Test for variable: Y

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 9 MSE= 23.96

Number of Means	2	3
Critical Range	5.537	5.779

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	L
A	28.769	8	3
A			
A	28.618	8	1
A			
A	24.688	8	2

General Linear Models Procedure
Duncan's Multiple Range Test for variable: Y

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 9 MSE= 23.96

Number of Means	2
Critical Range	4.521

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	N
A	27.720	12	2
A			
A	26.996	12	1

DIAMETRO DE RAÍZ

The SAS System 1

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
B	4	1 2 3 4
H	3	1 2 3
N	2	1 2

Number of observations in data set = 24

The SAS System 2

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	14	0.33865833	0.02418988	2.17	0.0214
Error	9	0.10033750	0.01114861		
Corrected Total	23	0.43899583			

R-Square	C.V.	Root MSE	Y Mean
0.877439	4.147544	0.10558698	3.35458333

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	3	0.01504583	0.00501528	0.45	0.7236
H	2	0.00530833	0.00265417	0.24	0.7930
B*H	6	0.10309167	0.01718194	1.54	0.2684
N	1	0.14570417	0.14570417	13.07	0.0056
H*N	2	0.06950833	0.03475417	3.12	0.0936

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	3	0.01504583	0.00501528	0.45	0.7236
H	2	0.00530833	0.00265417	0.24	0.7930
B*H	6	0.10309167	0.01718194	1.54	0.2684
N	1	0.14570417	0.14570417	13.07	0.0056
H*N	2	0.06950833	0.03475417	3.12	0.0936

Tests of Hypotheses using the Type III MS for B*H as an error term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	3	0.01504583	0.00501528	0.29	0.8302

Tests of Hypotheses using the Type III MS for B*H as an error term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
H	2	0.00530833	0.00265417	0.15	0.8602

The SAS System 3

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: Y

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 9 MSE= 0.011149

Number of Means 2 3

Critical Range .1194 .1247

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	H
A	3.36750	8	2
A			
A	3.36250	8	3
A			
A	3.33375	8	1

The SAS System 4

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: Y

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 9 MSE= 0.011149

Number of Means 2

Critical Range .09751

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	N
A	3.43250	12	2
B	3.27667	12	1

LONGITUD DE RAÍZ

```
                                The SAS System                                    1
                          General Linear Models Procedure
                              Class Level Information
                            Class    Levels    Values
                            B             4    1 2 3 4
                            H             3    1 2 3
                            N             2    1 2

                     Number of observations in data set = 24
                                The SAS System                                    2
                          General Linear Models Procedure

Dependent Variable: Y
Source                  DF      Sum of Squares        Mean Square  F Value    Pr > F
Model                   14         15.33710833         1.09550774     6.17    0.0048
Error                    9          1.59847500         0.17760833
Corrected Total         23         16.93558333

                  R-Square                C.V.           Root MSE             Y Mean
                  0.905614            4.628117         0.42143604        11.61583333

Source                  DF           Type I SS        Mean Square  F Value    Pr > F
B                        3          4.86368333         1.62122778     9.13    0.0043
H                        2          0.29535833         0.14767917     0.83    0.4663
B*H                      6          2.96454167         0.49409028     2.78    0.0815
N                        1          5.86081667         5.86081667    33.00    0.0003
H*N                      2          1.35270833         0.67635417     3.81    0.0633

Source                  DF         Type III SS        Mean Square  F Value    Pr > F
B                        3          4.86368333         1.62122778     9.13    0.0043
H                        2          0.29535833         0.14767917     0.83    0.4663
B*H                      6          2.96454167         0.49409028     2.78    0.0815
N                        1          5.86081667         5.86081667    33.00    0.0003
H*N                      2          1.35270833         0.67635417     3.81    0.0633

Tests of Hypotheses using the Type III MS for B*H as an error term
Source                  DF         Type III SS        Mean Square  F Value    Pr > F
B                        3          4.86368333         1.62122778     3.28    0.1004
Tests of Hypotheses using the Type III MS for B*H as an error term
Source                  DF         Type III SS        Mean Square  F Value    Pr > F
H                        2          0.29535833         0.14767917     0.30    0.7521

                                The SAS System                                    3
                          General Linear Models Procedure
                    Duncan's Multiple Range Test for variable: Y
            NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the
                  experimentwise error rate
                         Alpha= 0.05  df= 9  MSE= 0.177608
                            Number of Means      2      3
                            Critical Range  .4767 .4975
            Means with the same letter are not significantly different.
                    Duncan Grouping              Mean      N  H
                                A           11.7213      8  1
                                A
                                A           11.6638      8  2
                                A
                                A           11.4625      8  3

                                The SAS System                                    4
                          General Linear Models Procedure
                    Duncan's Multiple Range Test for variable: Y
            NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the
                  experimentwise error rate
                         Alpha= 0.05  df= 9  MSE= 0.177608
                               Number of Means      2
                               Critical Range  .3892
            Means with the same letter are not significantly different.

                    Duncan Grouping              Mean      N  N

                                A           12.1100     12  2
                                B           11.1217     12  1
```

Rendimiento

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
B	4	1 2 3 4
L	3	1 2 3
N	2	1 2

Number of observations in data set = 24

grafico de distribucion normal RUN 14

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	14	2491.40852500	177.95775179	8.43	0.0015
Error	9	190.00447500	21.11160833		
Corrected Total(Total)	23	2681.41300000			

R-Square	C.V.	Root MSE	Y Mean
0.929140	6.949088	4.59473703	66.12000000

Source	DF	Type)	Mean Square	F Value	Pr > F
B	3	1113.39326667	371.13108889	17.58	0.0004
L	2	444.58922500	222.29461250	10.53	0.0044
B*L (Error A)	6	202.65560833	33.77593472	1.60	0.2524
Nivel	1	550.46681667	550.46681667	26.07	0.0006
L*N	2	180.30360833	90.15180417	4.27	0.0496

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	3	1113.39326667	371.13108889	17.58	0.0004
L	2	444.58922500	222.29461250	10.53	0.0044
B*L	6	202.65560833	33.77593472	1.60	0.2524
N	1	550.46681667	550.46681667	26.07	0.0006
L*N	2	180.30360833	90.15180417	4.27	0.0496

Tests of Hypotheses using the Type III MS for B*L as an error term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloque	3	1113.39326667	371.13108889	10.99	0.0075

Tests of Hypotheses using the Type III MS for B*L as an error term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Lámina	2	444.58922500	222.29461250	6.58	0.0307

grafico de distribucion normal RUN 15

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: Y

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 9 MSE= 21.11161

Number of Means 2 3

Critical Range 5.197 5.424

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	L
A	71.979	8	2
B	64.620	8	3
B			
B	61.761	8	1

grafico de distribucion normal RUN 16

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: Y

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

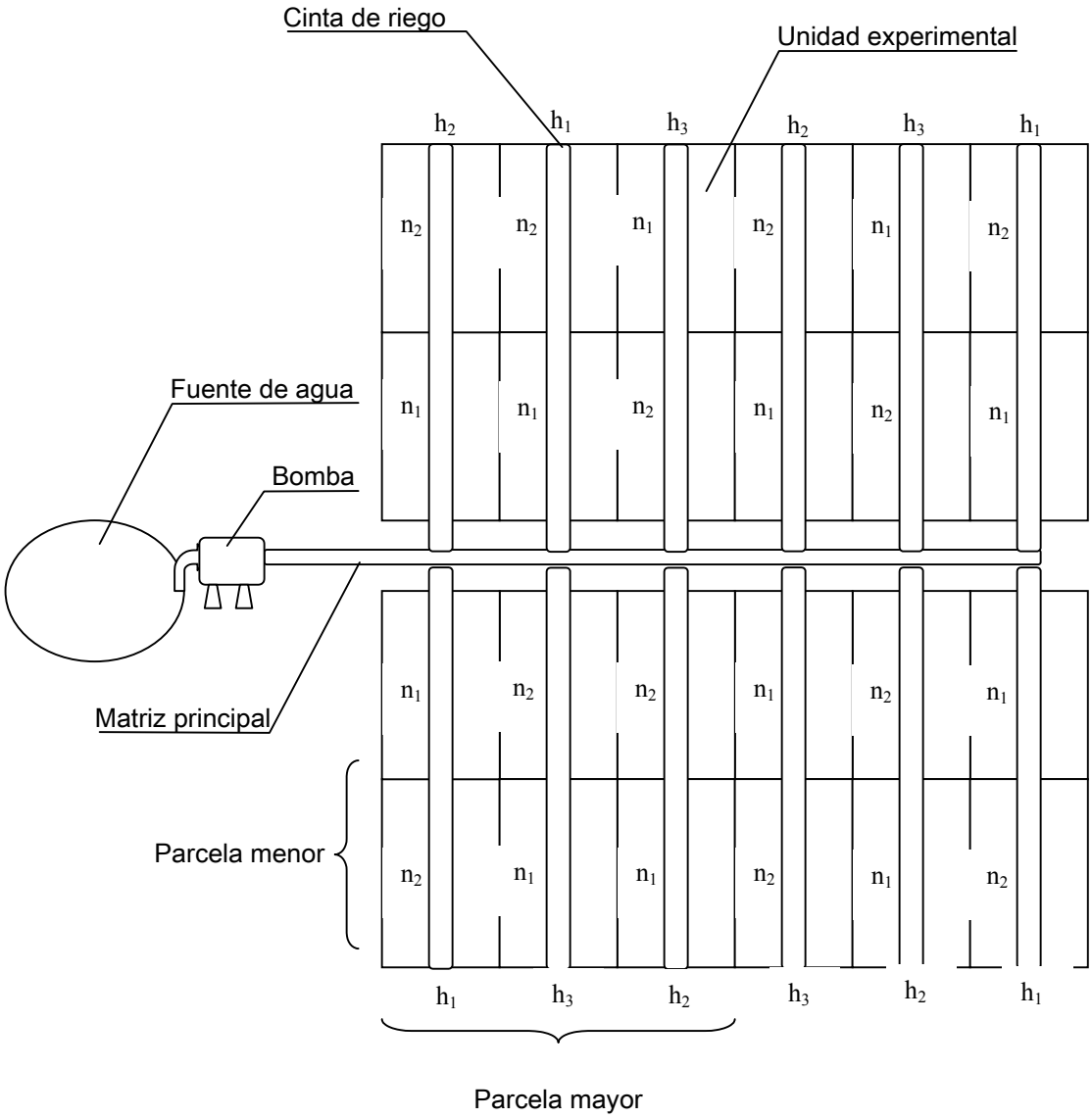
Alpha= 0.05 df= 9 MSE= 21.11161

Number of Means 2

Critical Range 4.243

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	N
A	70.909	12	2
B	61.331	12	1



CROQUIS DEL ÁREA EXPERIMENTAL
Diseño experimental: BLOQUES COMPLETOS AL AZAR EN UN ARREGLO EN PARCELAS DIVIDIDAS
Factores de estudio: NIVELES DE HUMEDAD (h1, h2, h3) NIVELES DE FERTILIZACIÓN (n1, n2)