

**EFFECTO DEL NIVEL DE TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO Y
FERTILIZACION QUIMICA SOBRE VARIABLES AGRONOMICAS Y
ATRIBUTOS DE CALIDAD POSTCOSECHA DE LA VARIEDAD DE PAPA
'Andinita' EN CABIMBU, ESTADO TRUJILLO, REPUBLICA BOLIVARIANA DE
VENEZUELA**

Por
Miguel Ángel Maffei Valero

Trabajo de grado para optar al título de Magister Scientiae en
Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras, mención
"Ingeniería de Riego y Drenaje"

DONACION

SERBIULA
Tulio Febres Cordero

**CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
E INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Mérida, Venezuela
Julio, 2011**

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

LA DEDICO

A mi madre **Carmen Dolores**,
sólo lamento que te hayas ido sin
haber tenido la oportunidad de darte
más de mi vida, por siempre tu hijo.

LA OFREZCO

Muy especialmente a todos los estudiantes
de pregrado y postgrado del área de riego y drenaje,
igualmente a los profesionales y productores
involucrados con el rubro papa de toda la zona andina.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

Es reconfortante escribir los reconocimientos, no significa otra cosa que al fin has concluido un arduo trabajo, éste no hubiera sido posible de realizar sin la colaboración de personas e instituciones involucradas de una u otra forma en el desarrollo del mismo, deseo expresar mi más sincero agradecimiento:

Al Prof. Luis Rázuri Ramírez, por su empeño y dedicación en la formación de especialistas en el riego y drenaje, fue un honor haber sido su alumno; así mismo agradezco su acertada conducción en la realización del proyecto final.

A todo el Grupo de Investigación de Fisiología de Postcosecha del NURR-ULA, del cual me siento orgulloso de pertenecer. Particularmente a la Profa. Ibis Quintero, una vez más la molesto al solicitar que realice una revisión exhaustiva y corrija las cosas que escribo, y a la Profa. Judith Zambrano, siempre acudiré a Usted ávido de sus conocimientos y sugerencias que enriquecen la versión final de cualquier manuscrito. Ambas, Judith e Ibis han sido pilares fundamentales en mi formación como Investigador, les agradezco además sus sabios consejos y el apoyo en cada emprendimiento de estudio que acometo.

Al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) por el soporte económico por medio de la Beca Misión Ciencia contrato N° 200601283 para la realización de Maestría en Desarrollo de los Recursos de Aguas y Tierras, mención Ingeniería de Riego y Drenaje en el CIDIAT Mérida, Venezuela.

Al CDHTA-NURR-ULA por el soporte económico prestado bajo el número NURR-C-507-09-01-B.

Al la Profa. Aixa Núñez, por su colaboración en la realización en el trabajo de campo.

A la Familia Moreno en Cabimbú, por poner a nuestra disposición las instalaciones de la finca Vista Alegre, sus equipos y herramientas.

A la Ing. Lorena Valiente MSc. del Laboratorio de Mecánica de Suelos del NURR por su ayuda en la confección de las curvas granulométricas del suelo.

La deuda se extiende igualmente a todas aquellas personas que contribuyeron a la culminación de este trabajo, a todos mil gracias y Dios se los pague.

www.bdigital.ula.ve

x

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ix
ÍNDICE.....	xi
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS	xix
RESUMEN	xxi
INTRODUCCIÓN.....	23
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	27
2.1. GENERAL.....	27
2.2. ESPECÍFICOS.....	27
2.3. HIPÓTESIS	27
REVISIÓN DE LITERATURA	29
3.1. EL AGUA EN SUELO.....	29
3.1.1. Capacidad de campo (CC).....	30
3.1.2. Punto de marchitamiento permanente (PMP).....	30
3.1.3. Capacidad almacenamiento de agua en el suelo.....	30
3.1.4. Requerimiento de agua de los cultivos	30
3.1.5. Medición del agua en el suelo	31
3.2. LA TÉCNICA DEL RIEGO.....	32
3.2.1. El método de riego a utilizar.....	33
3.2.2. El riego localizado o riego por goteo.....	34
3.2.3. Ventajas e inconvenientes del riego localizado.....	37
3.2.4. Riego por goteo en la modalidad de cinta de goteo:.....	38
3.2.5. Requerimiento de agua de los cultivos	39
3.2.6. Componentes del sistema de riego por goteo	40
3.3. ORIGEN, TAXONOMIA E IMPORTANCIA DE LA PAPA	42
3.4. ASPECTOS BOTÁNICOS Y FENOLÓGICOS DE LA PAPA.....	44
3.4.1. Raíz.....	44
3.4.2. Tallo.....	44
3.4.3. Hojas.....	44
3.4.4. Flor.....	45

3.4.5. Fruto.....	45
3.4.6. Semilla	45
3.4.7. Etapas y eventos en el desarrollo de la planta de papa.....	45
3.5. EL RIEGO EN PAPA.....	47
3.5.1. Efectos del estrés hídrico en la papa.....	47
3.5.2. Requerimientos hídricos de la papa:.....	49
3.5.3. Los periodos críticos en el riego del cultivo de papa.....	51
3.6. LA FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO PAPA	52
3.7. CALIDAD POSTCOSECHA DE PAPA	55
MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA EXPERIMENTAL	59
4.2. CICLO DE CULTIVO	60
4.3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN BÁSICA.....	60
4.3.1. Condiciones climatológicas	60
4.3.2. Muestreo y análisis de suelo y agua de riego	62
4.4. MATERIAL VEGETAL Y SIEMBRA.....	62
4.5. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS	63
4.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS	63
4.7. MANEJO Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO.....	66
4.7.1. Tratamientos de tensión.....	66
4.7.2. Programación del riego.....	66
4.7.3. Cálculo de la lámina de reposición.....	67
4.8. APLICACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN	69
4.9. VARIABLES A EVALUAR.....	71
4.9.1. Variables agronómicas.....	71
4.9.2. Variables de calidad consideradas	72
4.10. SISTEMA DE RIEGO EMPLEADO	74
4.11. PRÁCTICAS AGRONÓMICAS REALIZADAS:	76
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
5.1. INFORMACIÓN BÁSICA	77
5.2. MANEJO Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO.....	78
5.2. EFECTO SOBRE VARIABLES AGRONÓMICAS	83

5.2.1. Altura de planta.....	83
5.2.2. Número de hojas y tallos	85
5.2.3 Peso fresco, peso seco y materia seca de la biomasa aérea	86
5.2.4. Rendimiento comercial.....	87
5.2.5. Rendimiento no comercial.....	91
5.2.6. Rendimiento total.....	92
5.3. EFECTO SOBRE ATRIBUTOS DE CALIDAD.....	93
5.3.1. Atributos físicos de calidad	93
5.3.2. Atributos químicos de calidad.	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
6.1. CONCLUSIONES.....	101
6.2. RECOMENDACIONES.	102
LITERATURA CITADA	105
APÉNDICES	115

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
4.5	Dosis de fertilizantes para cada uno de los tratamientos, así como oportunidad de aplicación	70
5.1	Valores máximos y mínimos de la temperatura, cantidad de precipitación ocurrida y valores promedios de humedad relativa, velocidad del viento y radiación durante el ciclo de cultivo (abril–septiembre 2009) en Cabimbú.	77
5.2	Textura y otras propiedades físicas de las muestras de suelo tomadas en la parcela del ensayo.	78
5.3	Parámetros de la CPRHS, contenido de agua a saturación y residual relacionados con el potencial mátrico a capacidad de campo.	79
5.4	Ejemplo del manejo del riego por tensiometría en una parcela del ensayo correspondiente al nivel de tensión de -12 cb.	80
5.5	Manejo del riego de acuerdo al potencial hídrico del suelo, número de riegos, cantidad de riego aplicado y disponibilidad total de agua para papa Andinita en el Páramo de Cabimbú.	81
5.6	Análisis de varianza para las variables altura de planta, número de hojas y número de tallos en papa Andinita, sometida a diferentes tensiones de humedad del suelo y fertilización química durante el desarrollo del cultivo	83
5.7	Valores medios de efectos simples para las variables altura de planta, número de hojas y número de tallos en papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química a lo largo del desarrollo del cultivo.	84
5.8	Análisis de varianza para las variables peso fresco, peso seco y porcentaje de materia seca de la biomasa aérea de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química a los 128 días después de la siembra (dds).	86
5.9	Valores medios de efectos simples para las variables peso fresco, peso seco y porcentaje de materia seca de biomasa aérea de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química a los 128 dds	87
5.10	Análisis de varianza para las variables peso comercial, no comercial y promedio, así como rendimiento comercial, no comercial y total de tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química	88
5.11	Valores medios y pruebas de medias de efectos simples de cada	89

	componente del rendimiento de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química	
5.12	Promedios de los componentes del rendimiento para cada combinación de tratamientos sobre papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química	91
5.13	Análisis de varianza para las variables gravedad específica, firmeza y materia seca en tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes tensiones de humedad del suelo y fertilización química a la cosecha y almacén	93
5.14	Valores medios de efectos simples para gravedad específica, firmeza y materia seca en tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilización química a la cosecha y almacén	94
5.15	Gravedad específica, firmeza y materia seca en tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilización química a la cosecha y almacén	95
5.16	Análisis de varianza para las variables pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y azúcares reductores de tubérculos en papa Andinita, sometida a diferentes tensiones de humedad del suelo y fertilización química a la cosecha y almacén	97
5.17	Valores medios de efectos simples para pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y azúcares reductores de tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilización química a la cosecha y almacén	98
5.18	Promedios de pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y azúcares reductores en tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilización química a la cosecha y almacén	99

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
4.1	Ubicación relativa del área de estudio	59
4.2	Vista general del centro poblado de Cabimbú, sitio del ensayo de campo	60
4.3	Preparación del terreno para la siembra	62
4.4	Esquema de la distribución en el campo de las parcelas principales y secundarias del ensayo	65
4.5	Vistas de los conjuntos de tensiómetros para el control de la tensión de humedad del suelo	66
4.6	Muestreo en el campo para la determinación de la curva parcial de retención de humedad del suelo.	67
4.7	Procedimiento de laboratorio para la determinación de la curva parcial de retención de humedad del suelo	68
4.8	Pesaje de las fórmulas fertilizantes y siembra del ensayo (Sr. Justo Moreno y sus ayudantes)	70
4.9	Tratamiento de las muestras para la determinación de algunas variables agronómicas.	72
4.10	Determinación de la gravedad específica en tubérculos comerciales de Andinita.	73
4.11	Determinación de parámetros de calidad de tubérculos comerciales de Andinita.	74
4.12	Cabezal de riego utilizado en el ensayo.	75
5.1	Comportamiento de la precipitación efectiva (P_e), la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}) y la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}) en período decadal, durante el ciclo de cultivo en el Páramo de Cabimbú.	78
5.2	Curva parcial de retención de humedad para un suelo franco arenoso	79
5.3	Representación gráfica del potencial mátrico para cada nivel establecido de tensión de humedad del suelo durante el ensayo de campo	81
5.4	Prueba de medias para altura de planta efecto cruzado tensión x fertilidad de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química	85
5.5	Prueba de medias para porcentaje de materia seca efecto cruzado tensión x fertilidad de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química a los 128 dds.	88
5.6	Prueba de medias para rendimiento comercial efecto cruzado tensión x fertilidad de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química.	90

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos	Descripción
CC	Capacidad de campo
Q	Caudal
qe	Caudal del emisor
cb	Centibar
cm	Centímetros
CU	Coefficiente de uniformidad
CE	Conductividad eléctrica
Θ	Contenido de humedad del suelo
Da	Densidad aparente
$dS.cm^{-1}$	Decisiemens por centímetro
$e.m^{-2}$	Emisores por metro cuadrado
cv	Cociente de variación de fabricación
E	Este
ETc	Evaporación del cultivo
ETo	Evapotranspiración del cultivo de referencia
F	Franco
Fa	Franco arenoso
Fr	Frecuencia de riego
$g.cm^{-3}$	Gramos por centímetro cúbico
$g.l^{-1}$	Gramos por litro
ha	Hectáreas
h	Hora
θ_s	Humedad a saturación
θ_r	Humedad residual
km	Kilómetros
$km.h^{-1}$	Kilómetros por hora
kPa	Kilopascal
La	Lamina almacenable
db	Lámina bruta de riego
dn	Lámina neta del diseño
l	Litros
$l.e^{-1}$	Litros por emisor
$l.e.m^{-2}$	Litros por emisor por metro cuadrado
$l.s^{-1}$	Litros por segundo
m^3	Metro cúbico
m	Metros
m^2	Metros cuadrados
$m^3.h^{-1}$	Metros cúbicos por hora
mca	Metros de columna de agua

msnm	Metros sobre nivel del mar
mg.l ⁻¹	Miligramo por litro
mm	Milímetros
mm.d ⁻¹	Milímetros por día
N	Norte
<i>e</i>	Número de emisores
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
PEAD	Polietileno de alta densidad
PMP	Punto de marchitez permanente
%	Porcentaje
%AU	Porcentaje de agua útil
Ψ	Potencial hídrico del suelo
Pe	Precipitación efectiva
“	Pulgadas
Se	Separación entre emisores de la cinta seleccionada
Sh	Separación entre hileras
SL	Separación entre laterales
Sp	Separación entre plantas
Text	Textura
ta	Tiempo de aplicación
tr	Tiempo de riego
t	Toneladas
t.ha ⁻¹	Toneladas por hectáreas
Ve	Volumen del emisor

RESUMEN

Se evaluaron variables agronómicas, componentes del rendimiento y atributos de calidad en un cultivo de papa variedad 'Andinita', como respuesta a diferentes niveles de tensión de humedad del suelo (THS) y fertilización química (FQ). El ensayo de campo fue conducido bajo un diseño experimental correspondiente a un factorial con dos factores a tres niveles: THS de -12, -24 y -36 cb y FQ con 100-180-80, 200-280-160 y 300-380-240, dispuestos al azar y en arreglo de parcelas divididas; en el ensayo de laboratorio los tubérculos fueron seleccionados por uniformidad de tamaño, forma, ausencia de daños físicos y/o por patógenos, se lavaron y colocaron en mallas plásticas. El almacenamiento se llevó a cabo en cuarto frío a ventilación forzada, a 5°C (\pm 1°C) y HR entre 85-90%. Las variables estudiadas fueron altura de planta (AP), número de hojas (NH), número de tallos (NT); peso seco (PS), peso fresco (PF) y materia seca de la biomasa aérea (MS); peso comercial (PC), peso no comercial (PNC), peso promedio de tubérculos (PPT); rendimiento comercial por m² (RC), rendimiento no comercial por m² (RNC) y rendimiento total (RT); gravedad específica (GE), firmeza (F), materia seca (MS), pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y azúcares reductores (AR). Las fórmulas 200-280-160 y 300-380-240 a tensiones de -12 y -24 cb resaltaron en AP, NH y NT. En cuanto el PF, PS y MS, las fórmulas 200-280-160 y 300-380-240 y tensiones a -12 y -24 cb fueron las que proporcionaron los mejores resultados. Para el PC, PNC y PPT se encontró efectos diferentes en los factores principales y su interacción. En cuanto al RC, RNC y RT, la mejor condición de tensión de humedad del suelo y fertilización fue -24 cb y 300-380-240 para RC; la fertilización con 100-180-80 y 200-280-160 produjo los mayores RNC, en el RT no hubo diferencias entre tratamientos. A tensión baja en el suelo (-12 y -24 cb) y formulación baja y media de fertilizante (100-180-80 y 200-280-160) se obtiene altos valores de GE. La firmeza no fue afectada por los factores estudiados. La MS alcanzó niveles elevados a -12 y -24 cb y 100-180-80 y 200-280-160. El pH, los SST y la AT no mostraron respuesta. El nivel de fertilización sólo afectó el contenido de AR a la cosecha, siendo las formulaciones de 100-180-80 y 200-280-160 las que produjeron el menor valor. Se propone la combinación de tensión de humedad del suelo y fertilización de -24 cb y 200-280-160.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, nitrógeno, fósforo, potasio, goteo, calidad comercial.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

En el futuro cercano, nuestro mundo enfrentará eventos de magnitud catastrófica, no para éste como planeta, sino para la especie humana; se deberá lidiar con desafíos como lo son una población continuamente creciente, el cambio climático y la escasez de agua para consumo humano, industrial y de uso agrícola. Es en este preocupante contexto en el cual el desarrollo de mejores tecnologías del agro pueden reducir el impacto ambiental y jugar un rol fundamental en apoyo de la seguridad alimentaria (FAO, 2008).

Como consecuencia del elevado crecimiento poblacional registrado a nivel mundial, se hace necesario un uso eficiente del agua de riego, particularmente en los países más pobres y menos desarrollados.

El riego es la práctica por medio de la cual el hombre ha proporcionado a sus especies vegetales cultivadas, el agua necesaria para su crecimiento y desarrollo cuando el aporte por precipitación es insuficiente o irregular. Debido a que este recurso vital se hace cada día más escaso, a su importancia para la producción de alimentos y otros productos para la humanidad, a su papel en la protección del medio ambiente, el riego debe aplicarse de la forma más eficiente posible.

Una mejor utilización del agua del riego puede contribuir probablemente más que cualquier otra práctica agrícola individual, al incremento de los suministros de fibras y alimentos, a aumentar los beneficios agrícolas y a mejorar las condiciones de vida en el medio rural.

Entre los distintos métodos de riego se conoce el localizado, que es la aplicación directa del agua a la planta. El riego localizado incluye el riego por goteo, que consiste en la colocación del agua, nutrientes y agroquímicos directamente a la zona radicular de las plantas en proporción controlada, lo que permite obtener máximos rendimientos, minimizar el uso del agua y otros recursos como fertilizantes inorgánicos; esta tecnología se está implementando en la actualidad con cada vez más zonas bajo este sistema y se ha

demostrado que se puede aumentar la calidad de los productos agrícolas, aunado al ahorro del recurso agua.

La papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes tanto en países en vías de desarrollo, así como en países desarrollados. Es superior a todos los otros cultivos en producción de proteínas y de energía por unidad de tiempo y superficie; el valor nutricional proteico de este tubérculo es superior al de las otras fuentes vegetales, lo anterior coloca a la papa como uno de los rubros estratégicos más importantes para contribuir a solucionar los problemas de hambre en el mundo.

El cultivo de papa es de gran importancia dentro de los sistemas agrícolas de Venezuela, principalmente en la región andina donde existen condiciones agroecológicas propicias para su desarrollo; es el principal cultivo en el reglón de raíces y tubérculos que produce el país.

En el estado Trujillo se cultiva durante prácticamente todo el año, a excepción de aquellas zonas sobre los 3600 msnm donde no se cultiva entre diciembre y febrero para evitar pérdidas por heladas; esta larga temporada de producción es posible por la aplicación de riego complementario o suplementario.

Sin embargo el manejo deficiente del riego por parte de nuestros productores, viene causando problemas de mal uso del recurso agua, lavado de suelos, incremento de enfermedades fungosas y en general perjuicios al crecimiento vegetal con la consecuente merma en la productividad y calidad del producto final para el mercado consumidor.

En el sistema de producción de papa es común el uso intensivo de fertilizantes y agrotóxicos, estos van aumentando a medida que el cultivo avanza en el ciclo, la causa de este uso intensivo de fertilizantes es producto de una alta tasa de crecimiento de la planta, un ciclo corto y un sistema radicular superficial.

Las recomendaciones existentes para el cultivo son generales, basadas en los resultados del análisis de rutina; existen estudios que evalúan estos factores aisladamente, pocas experiencias han considerado el manejo de la fertilización química en conjunto con el

plan de riego; más escasas aún son las experiencias con distintos niveles de riego y de fertilización química con los elementos N-P-K.

Por referencias de productores de Cabimbú, las fuentes de agua para riego se han visto mermadas en los últimos años trayendo como consecuencias modificaciones en los turnos de riego, siendo de cada dos y tres días en algunos sitios hace sólo cinco años, a de cinco a seis días en la actualidad; las horas para el riego han sido modificadas también llegando en algunos casos a reducirse de 12 a sólo 6 horas diarias para el riego.

En base a lo anteriormente planteado y con el propósito de contribuir al desarrollo del referencial tecnológico del cultivo, se planteó un experimento de campo para la evaluación de distintas tensiones de humedad del suelo y la fertilización química sobre papa Andinita y su efecto en las variables agronómicas y atributos de calidad postcosecha, para las condiciones agroclimáticas de Cabimbú, del estado Trujillo, Venezuela.

Este esfuerzo procura contribuir al desarrollo del referencial tecnológico de la variedad Andinita y así brindar una alternativa de mejora en el sistema de producción de papa de la zona de Cabimbú, la cual es de una enorme importancia a nivel nacional como productora del rubro.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 2

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. GENERAL

Evaluar el efecto de la tensión de humedad del suelo y la fertilización química sobre variables agronómicas y atributos de calidad postcosecha de papa var Andinita en Cabimbú, estado Trujillo.

2.2. ESPECÍFICOS

- Determinar mediante la utilización del riego por goteo, el efecto de diferentes niveles de tensión de humedad del suelo sobre el desarrollo vegetativo y los componentes del rendimiento de Andinita.
- Cuantificar la respuesta agronómica de papa Andinita a diferentes niveles de fertilización química.
- Analizar la interacción entre niveles de tensión de humedad del suelo y disponibilidad de nutrientes N-P-K sobre parámetros de crecimiento, desarrollo, rendimiento y aspectos de la calidad postcosecha de tubérculos de Andinita.

2.3. HIPÓTESIS

Existe al menos un valor de tensión de humedad del suelo aunado a un nivel óptimo de fertilización química con N-P-K, que maximiza el rendimiento agronómico y la calidad postcosecha de los tubérculos de papa variedad Andinita.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 3

REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. EL AGUA EN SUELO

Desde el punto de vista fisiológico, el agua tiene gran importancia en el funcionamiento de las plantas y en su comportamiento ecológico. La misma afecta el crecimiento, la producción vegetal, la mayoría de los procesos fisiológicos, y sus condiciones internas. Sin embargo, para que su aprovechamiento sea más eficiente, se debe considerar que no toda el agua está disponible para los cultivos (Rojas, 1980).

Las fuerzas o tensiones que actúan sobre el agua en el suelo son dos: la acción de la gravedad que trata de llevar el agua hacia una mayor profundidad, y la acción de la capilaridad que conjuntamente con las fuerzas de atracción de las partículas y otras formas de energía, hacen que el agua se desplace en cualquier dirección, o se inmovilice según el caso. No obstante, es muy importante el papel que juega la tensión de succión o el esfuerzo de humedad del suelo (Luque y Paolinni, 1974).

El proceso de conducción y distribución del agua en un predio, hasta llegar a ponerla en el suelo, en los diferentes lotes que lo componen, se realiza con diferentes niveles de eficiencia (Grassi, 2000). Opina este autor que la evolución de tal grado de desempeño, o la calidad de riego, se denomina eficiencia de riego, y es el parámetro que permite relacionar el agua realmente empleada en el riego de cierta área, respecto de las necesidades y el grado de uniformidad con que la misma se distribuye en el perfil del suelo.

Por su parte Clark (1993) señala que las propiedades del suelo juegan un papel importante en la programación del riego y el manejo del agua por parte de la planta. Las plantas extraen agua del suelo hasta que el agua remanente queda tan fuertemente ligada, que es inaccesible para el cultivo y llega al punto de marchitamiento permanente. El volumen de agua disponible para el cultivo, depende del volumen radicular y de las características de retención de agua del suelo.

La deficiencia de humedad del suelo durante la época de crecimiento es muy riesgosa, puede comprometer tanto el ciclo de la cosecha cuando ocurre el estrés, como las cosechas futuras, en cultivos perennes (Hogg, 1976).

Existen conceptos básicos que conviene manejar para entender mejor estas relaciones agua-suelo:

3.1.1. Capacidad de campo (CC)

Puede definirse como el contenido de humedad que tiene el suelo, una vez que haya perdido su exceso de agua por percolación a las capas más profundas del perfil hasta equilibrarse con las fuerzas capilares.

Este contenido de humedad no es fijo sino que depende el tipo de suelo, generalmente el potencial o succión a la que el agua es retenida tiene un valor promedio de 0,3 cb (Palacios, 2002).

3.1.2. Punto de marchitamiento permanente (PMP)

Palacios (2002) comenta que en la medida que el suelo se va secando desde su CC, la diferencia de presión entre el agua en el suelo y las raíces de la planta disminuye, hasta que en un momento dado esta diferencia es tan pequeña, que la velocidad de entrada de agua a la raíz es menor que la de salida por las hojas debido al proceso evapotranspirativo, de manera que la planta puede comenzar a perder agua de sus tejidos iniciándose el marchitamiento, y si el proceso continúa la planta puede morir, en cuyo caso, se dice que el suelo alcanzó un porcentaje de humedad a marchitamiento permanente.

3.1.3. Capacidad almacenamiento de agua en el suelo

De acuerdo a lo expresado por Grassi (1998) la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y su disponibilidad para las plantas, está comprendida entre el contenido hídrico que comprende la CC y el PMP.

La lámina de agua aprovechable que puede almacenar un suelo es posible estimarla de forma aproximada conociendo su textura; sin embargo, es muy importante destacar que no se debe permitir que los cultivos consuman en su totalidad el agua aprovechable que puede almacenar el suelo (Palacios, 2002).

Razuri (1988) afirma que el agotamiento del agua útil almacenada en el suelo se conoce como umbral de riego. El umbral de riego en riego por goteo, es generalmente menor al 50%, dado que los contenidos de humedad en el perfil son siempre altos.

3.1.4. Requerimiento de agua de los cultivos

En cuanto a los requerimientos hídricos de las plantas, Grassi (2000) opina que la cantidad de agua a ser aplicada a una superficie, mediante un sistema de riego por goteo, depende de los siguientes parámetros: características físicas del suelo, tipo de cultivo, ciclo de desarrollo del cultivo y profundidad radicular.

Trezza (1997) expone que la estimación de los requerimientos de agua de los cultivos constituye una de las etapas básicas de todo proyecto agrícola. Propone al balance hídrico como una herramienta muy importante en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos en una determinada zona.

3.1.5. Medición del agua en el suelo

La medición del contenido de agua del suelo es importante en los estudios de efectos del riego en la producción de cultivos. Existen varios métodos para medir el agua del suelo, aquí se describen dos (Ekanayake, 1994):

- Contenido gravimétrico de agua del suelo
- Potencial mátrico del suelo.

En el pasado los estudios sobre estrés por sequía pusieron énfasis en la importancia de medir la condición de agua de la planta. Actualmente se da énfasis a un enfoque que abarca todos los componentes de las relaciones del agua en un sistema suelo-raíz-planta, para el control del estrés por sequía en los cultivos.

Contenido gravimétrico de agua del suelo. Para determinarlo, se toman muestras del suelo a diferentes profundidades empleando un tubo de extracción de muestras de suelo. Por lo general, se toman muestras de los siguientes perfiles: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm y 45-60 cm. En algunos suelos puede ser deseable tomar muestras a profundidades de 90 cm, en función del grado de pérdidas por percolación profunda y escorrentía, y de las características del perfil del suelo.

Se mide el peso húmedo (PH) de las muestras de suelo y se colocan éstas en el horno a 100 °C, por 3 ó 4 días, para obtener el peso seco (PS), o hasta que no se observen más cambios de peso. El contenido de agua del suelo (por peso) se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de agua del suelo (\%)} = \frac{PH-PS}{PS} 100 \quad (3.1)$$

Este método es simple, pero demanda mucho tiempo. Asimismo, la variabilidad espacial constituye un problema, puesto que no se pueden tomar repetidas muestras en un mismo lugar. Para lograr una exactitud del contenido volumétrico de agua del orden de $0,01 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ y una desviación estándar de $0,03 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, se requieren unas 20 muestras, lo que pone de manifiesto cuánto tiempo demanda este método (Campbell y Campbell, citados por Ekanayake, 1994).

Potencial mátrico del suelo (PMS). Este potencial puede medirse empleando tensiómetros de suelo. Se trata de un método fácil y rápido para cuantificar la humedad del

suelo. Los tensiómetros son recipientes porosos llenos de agua acoplados a un manómetro de válvula al vacío.

El suelo ejerce una fuerza de succión contra el agua contenida en el recipiente, mientras más seco está el suelo, mayor será la fuerza. La fuerza de succión o potencial mátrico del suelo puede leerse directamente en el tensiómetro en unidades de presión (bares o Pascales).

En general, los tensiómetros se colocan a diferentes profundidades en el perfil del suelo, preferiblemente adyacentes unos a otros. Por ejemplo, en los estudios con papas, se colocan a profundidades de 15; 30 y 45 cm.

Después de un período de equilibrio de unas 24 horas, se pueden hacer mediciones por lectura directa en el tensiómetro. Suele hacerse una lectura diaria y una antes de cada riego. Las lecturas del potencial mátrico del suelo pueden realizarse de manera continua a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

El empleo de tensiómetros demanda mantenimiento periódico para conservar una columna continua de agua entre la fase agua-suelo y la columna de agua en el instrumento. Asimismo, debe señalarse que los tensiómetros son funcionales sólo en el intervalo de estrés del suelo de 0 a -80 cb.

Otra desventaja de estos tensiómetros es que miden el potencial mátrico del suelo sólo en las inmediaciones de la unidad, de manera que se necesitan varias unidades para obtener un promedio espacial. Como regla general, para medir el estrés de agua del suelo se instalan tensiómetros en cada tratamiento y repetición (Ekanayake, 1994).

3.2. LA TÉCNICA DEL RIEGO

El riego ha contribuido enormemente al desarrollo y bienestar de la humanidad, haciendo posible que la agricultura sea menos dependiente de la distribución de las precipitaciones naturales, así como también permitiendo que la agricultura sea una actividad posible en aquellas regiones donde antes no era posible (Grassi, 1998).

Para Israelsen y Hansen (1965), el riego es la aplicación de agua al terreno con el fin de cubrir los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse
- Asegurar las cosechas contra la sequía de corta duración
- Refrigerar el suelo y la atmósfera mejorando las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal

- Asegurar la lixiviación de sales para mantener el balance salino del suelo.

El cumplimiento de tales objetivos exige reponer periódicamente el agua que consume las plantas en la proximidad del suelo que explora las raíces.

De acuerdo a este autor, el riego tiene como fin “*La aplicación artificial de agua al terreno para suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo*”. El cumplimiento de tal objetivo exige reponer periódicamente a la profundidad del suelo que exploran las raíces, el agua que consumen las plantas.

Grassi (1998) considera que el riego tiene como objeto básico la reposición al suelo del déficit de humedad que resulta de la insuficiencia de precipitación para compensar la evapotranspiración de los cultivos. Complementariamente el riego asegura la lixiviación de sales para mantener el balance salino del suelo y garantizar en general mejores condiciones físicas para el laboreo y mejores condiciones ambientales para el desarrollo de los cultivos.

De acuerdo a lo expuesto por García (1971) el riego sirve para obtener la máxima cosecha posible, es preciso que las plantas tengan a disposición el agua necesaria, en el momento oportuno, de lo contrario disminuye la cosecha. El déficit anual del agua que ha de incorporarse a la tierra mediante el riego, no es igual en los distintos meses del año.

El riego es un complemento de las precipitaciones, aguas superficiales y aguas subterráneas. Norero (1976) califica el riego como: la práctica de ingeniería más obvia para elevar la eficiencia del uso de los recursos agua y la tierra. El conocimiento de la intensidad de evaporación y transpiración de los terrenos cultivados es básico en la formulación de proyectos y ejecución de obras y prácticas de riego.

Olivares y De León (1975) definen el sistema de riego, como un conjunto de estructuras necesarias para captar, conducir y distribuir el agua a los suelos aplicando una lámina que supla las deficiencias de humedad exigidas por las plantas. Desde el punto de vista económico, estos autores definen a un sistema de riego como una unidad de producción o una comunidad de unidades de producción y como tal, las inversiones de capital deben ir acompañadas de la obtención de beneficios directos y marginales que permitan la recuperación de las sumas invertidas.

3.2.1. El método de riego a utilizar

El objetivo principal del riego es evitar que la falta de humedad limite el crecimiento de las plantas. Una mejor utilización del agua del riego puede contribuir probablemente más que cualquier otra práctica agrícola individual al incremento del suministro de productos alimenticios y fibras, a aumentar los beneficios agrícolas y a mejorar las condiciones de vida en el medio rural.

Booher (1974) señala que para la elección del método de riego más conveniente que maximice los beneficios de su uso, en el aumento de la producción de los cultivos, debe realizarse con precaución ya que al seleccionar un método inadecuado, puede producir fallas en el riego pudiendo ocasionar daños serios en el terreno.

Todo diseño de riego se realiza basándose en una estricta relación suelo-agua-planta-clima, factores que determinan tipo y método de riego a emplear. Es muy importante la cantidad, el volumen global para aportar la cantidad de agua necesaria y este volumen está de acuerdo al tipo de suelo por la facilidad con que el agua pueda penetrar y ser retenida (Janet, 1990).

Un diseño adecuado de un sistema de riego requiere de una planeación extensiva. Un sistema debe ser diseñado para satisfacer las necesidades de su cultivo mientras se adapta a las operaciones y prácticas culturales requeridas en su campo para desarrollar y cosechar un cultivo.

Booher (1974) expresa que al proyectar un sistema de riego es necesario aplicar un criterio que se base en la mejor información disponible referente a textura, estructura del suelo, pendiente del terreno y propiedades de la retención del agua y velocidad de movimiento.

Grassi (1984) señala que para proyectar un sistema de riego en un sector, se requiere una abundante información básica. Parte de esta información puede estar disponible en los estudios realizados para analizar la factibilidad del proyecto y para la proyección de las obras hidráulicas. La selección del método de riego está influenciado por el cultivo a desarrollar en la zona, el suelo, topografía, factibilidad técnica y económica y disponibilidad de mano de obra (Grassi, 1984).

3.2.2. El riego localizado o riego por goteo

El método de riego más empleado por los productores de la zona andina es el de aspersión, el cual es utilizado sin criterios técnicos apropiados lo que conlleva a un uso indiscriminado del agua, causando problemas de derroche del recurso, lavado de suelos, incremento de enfermedades fungosas y en general perjuicios al crecimiento vegetal con la consecuente merma en la productividad y calidad del producto final para el mercado consumidor.

La alternativa a esta situación es realizar un manejo tecnificado del riego, el cual procura responder las siguientes interrogantes ¿cuándo regar?, ¿cuánto regar? y ¿cómo aplicar el agua de riego? (Ali, 2010).

Entre los distintos sistemas de riego, el método de riego localizado permite la aplicación directa del agua a la planta. El riego localizado incluye el riego por goteo que consiste en la aplicación del agua, nutrientes y agroquímicos directamente a la zona radicular de las plantas en cantidad controlada, lo que le permite obtener máximos rendimientos, minimizar el uso del agua y otros recursos; esta tecnología se está implementando en la actualidad y se ha demostrado que se puede aumentar la calidad de los productos agrícolas, a la vez incrementa considerablemente los márgenes de comercialización.

La importancia del sistema de riego por goteo es precisamente que su forma de aplicación es localizado, el agua se aplica directa y frecuentemente a la zona radicular de la planta, proporcionando mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua, permitiendo con esto que con la misma cantidad se pueda regar una mayor superficie, la planta alcanza su máximo desarrollo logrando un aumento considerable en la producción (Pérez, 1982).

El principio básico del riego por goteo es mantener un alto potencial mátrico del agua en un volumen reducido de suelo, lo que se logra mediante la aplicación diaria de agua, reemplazando lo consumido por las plantas el día anterior.

El mantenimiento del contenido de agua adecuado durante el periodo de cultivo es necesario para obtener el óptimo crecimiento de la planta, su producción y calidad. Un buen manejo de la irrigación se basa en optimizar la distribución espacial y temporal del agua aplicada, con objeto de incrementar la producción y calidad de los cultivos y en consecuencia obtener el máximo retorno económico (Díez *et al.*, 2005).

Las buenas prácticas de riego, están diseñadas para mantener un adecuado nivel de humedad en esta zona y minimizar las pérdidas por percolación profunda. La cantidad, el estado del agua en el suelo y sus cambios, pueden impactar dramáticamente sobre los cultivos y la absorción de fertilizantes (Díez *et al.*, 2005).

El desarrollo de mejores prácticas de manejo para hacer los cultivos más eficientes y para reducir el impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas, requiere de un gran conocimiento de los factores que afectan la dinámica del agua en el suelo.

La minimización del peligro de salinidad a las plantas regadas por goteo puede atribuirse a la disminución de la concentración de la solución de suelo como consecuencia de la alta frecuencia de riego utilizada para mantener altos contenidos de agua en la zona radicular.

Los fertilizantes, herbicidas, insecticidas fungicidas y dióxido de carbono suministrados por intermedio de este método, pueden ser abastecidos para mejorar la producción del cultivo.

Algunos autores coinciden al señalar que el riego por goteo permite la aplicación de agua al suelo en forma dosificada y localizada, manteniendo al suelo en condiciones óptimas de humedad para obtener un adecuado desarrollo del cultivo.

Entre las ventajas marcadas por algunos investigadores dedicados al estudio de este método de riego destacan las siguientes:

- Es el método más eficiente en el uso del agua, por lo tanto debe aplicarse en zonas donde escasea este recurso
- Por ser un sistema altamente automatizado, la fertilización, la aplicación de biocida y el riego reportan un mínimo de mano de obra
- Se ajusta a cualquier pendiente del terreno
- Permite utilizar aguas de salinidad relativamente elevada por cuanto el suelo permanece con un alto contenido de humedad.

El riego localizado engloba dentro de esta denominación, a todos aquellos métodos de riego donde sólo se trata de aplicar agua a aquella porción de suelo estrictamente ocupada por las raíces del cultivo (Pérez, 1982). Se caracteriza por:

- No mojar la totalidad del suelo, aplicando agua sobre o bajo la superficie en la proximidad de la planta. Utilizar un gasto reducido del agua
- Ser de intervalos de riego muy cortos (riegos de alta frecuencia), tal de mantener en la zona radicular un potencial hídrico muy cercano al máximo. Esto significa que la porción del suelo en la zona radicular debe mantenerse cercana a su mayor contenido de humedad.

En su mayoría, el agua se conduce hasta la zona de aplicación por medio de tuberías a baja presión. Esto no descarta la posibilidad de que en algunos casos se use otro método diferente de conducción.

Los sistemas de riego localizado requieren de una elevada precisión para cumplir con el objetivo para los cuales fueron diseñados, de aquí que se hace necesario evaluarlos; en lo fundamental se requieren efectuar pruebas en las tres situaciones siguientes:

- -Pruebas en sistemas recién instalados, al cual se le conoce el diseño original
- -Pruebas periódicas en sistemas en los cuales se le conoce el diseño original
- -Pruebas en aquellos sistemas donde no se conoce el diseño original.

La principal característica del riego localizado es el aporte de pequeños caudales y pequeñas dosis de agua y fertilizantes muy localmente en la zona de las raíces de los cultivos, por medio de emisores, boquillas, tubos porosos, entre otros; que están colocados encima o debajo de la superficie del terreno.

3.2.3. Ventajas e inconvenientes del riego localizado

a) *Ventajas:*

El riego localizado no estorba en nada las otras operaciones de cultivo, por ejemplo; los tratamientos, la recolección puede hacerse en el transcurso del riego.

Hay economía de tiempo y de mano de obra en comparación con los métodos tradicionales de riego por superficie o riego por aspersión.

Se puede fijar de manera muy precisa el nivel de aporte de agua y de fertilizantes, así como la frecuencia de estos aportes.

Las plantas no deben sufrir la tensión ocasionada por falta de agua, salvo si se hace de forma deliberada.

La posibilidad de aportar directamente a las raíces de los cultivos, cantidades controladas de agua y abono hacen aumentar el crecimiento y el vigor de las plantas jóvenes y acrecienta los rendimientos de las plantas adultas (Pérez, 1982).

El aporte directo del agua a las raíces por una red de tuberías herméticas conlleva a una economía de agua muy importante en las zonas donde los recursos de agua son limitados o costosos, sin embargo, no hay que esperar economías espectaculares. Hay terrenos con riego localizado, que claramente están sub-regados al no utilizar suficiente agua.

Cabría esperar que un riego localizado use quizás un 20 o un 30% menos de agua que un sistema de riego por aspersión o gravedad bien manejado y quizás un 50% menos que un sistema de riego por gravedad de baja eficiencia. Sin embargo, ahorros de sólo el 5% se han registrado cuando el riego localizado no se maneja correctamente (Pérez, 1982).

Lucha más fácil contra las malas hierbas y enfermedades de los cultivos, ya que ni la vegetación ni la superficie del suelo están húmedas y hay posibilidades de circulación en todo momento, una instalación de riego localizado permite una lucha más fácil, más eficaz y menos costosa.

Mejor utilización de suelos difíciles, los suelos muy densos con velocidad de infiltración de 2 a 4 mm.h⁻¹ son difíciles de regar por aspersión. Por otra parte los suelos muy ligeros no pueden ser regados con técnicas de riego por superficie, en estos dos tipos de suelos el riego localizado ha sido utilizado con éxito.

Reducción de los gastos de explotación y utilización de caudales menores, la presión necesaria para el riego localizado es en general igual al 50-70% de la que es necesaria para el riego por aspersión clásico (Pérez, 1982).

b) *Inconvenientes:*

Facilidad con que se obturan las finas secciones de los distribuidores, las causas son la arena, el limo, la materia orgánica, las algas, los geles bacterianos, la precipitación de abonos no disueltos, la presencia de hierro coloidal en el agua de riego. Una buena filtración, que utilice filtros de succión autolimpiables y filtros con arena, pueden eliminar la arena, el limo y los abonos no disueltos y puede reducir de manera acentuada la materia orgánica.

La protección contra la precipitación de productos químicos o el desarrollo de bacterias ferruginosas, necesita un tratamiento químico del agua, el riego localizado debe descartarse allí donde el tratamiento químico es indispensable y no puede hacerse por razones prácticas o económicas.

Como cualquier otra técnica de riego hay peligros potenciales de salinización, pero se puede hacer mucho manejando adecuadamente el suelo y el agua para evitar los daños de la salinización, si no se toman medidas, las sales se acumulan en ciertas zonas, particularmente en la periferia del volumen de suelo humedecido y una ligera lluvia puede arrastrar las sales en profundidad a la zona radicular causando a veces serios daños en los cultivos con enraizamiento superficial.

Cuando la precipitación es insuficiente se pueden hacer además, riegos de superficie o por aspersión con el fin de realizar un lavado y evacuar el exceso de sales.

En el riego localizado, las raíces se concentran en la zona húmeda, si esta zona es demasiado pequeña el enraizamiento puede ser insuficiente, los rendimientos disminuyen y los árboles pueden ser desenraizados por un viento fuerte, de todas formas una posición correcta de los distribuidores puede prevenir este riesgo.

Otro inconveniente en un sistema radicular poco desarrollado es que necesita un aprovisionamiento regular de agua y que si el abastecimiento falta por algún problema, la planta sufre más aunque el caudal necesario en riego localizado puede ser más reducido que en el riego tradicional su suministro debe ser garantizado (Pérez, 1982).

3.2.4. Riego por goteo en la modalidad de cinta de goteo:

Entre los tipos de sistemas de riego localizado que se conocen, se encuentra el riego por goteo, que es aquel sistema que sirve para mantener el agua en la zona radicular, en las condiciones de utilización favorable para la planta, aplicando agua gota a gota.

La tecnología original de riego por goteo era la de proveer a la planta como una fuente de agua en puntos localizados. La tecnología cinta de riego por goteo T-Tape[®] evolucionó durante décadas logrando diversos diseños de emisores para proveer un mejor

control en la uniformidad de distribución, reducir problemas de taponamiento, entre otros. A pesar de ser el sistema de irrigación más eficiente no es el método más económico de riego en el corto plazo para muchos cultivos, ya que requiere en una elevada inversión inicial. Para enfrentar esta situación, la tecnología de la cinta de riego por goteo fue desarrollada con muchas ventajas, en las cuales se incluyen las siguientes:

- Provee la tecnología de riego de precisión, al menor costo disponible en el mundo
- Ofrece al usuario una variedad de emisores a diferentes espaciamientos sin costo adicional
- Crea literalmente una “franja de suelo mojado” para un desarrollo óptimo de las plantas con la más alta eficiencia en el uso del agua, fertilizantes y agroquímicos
- Es fácil de transportar, instalar (manual o mecánicamente) y utilizar, debido a lo compacto y simplicidad del diseño.

3.2.5. Requerimiento de agua de los cultivos

La cantidad de agua influirá sobre el tipo de plantas que puedan cultivarse y determinará la superficie que puedan regarse, evitando pérdidas excesivas por infiltración profunda o por escorrentía superficial en el extremo del terreno. El método de riego debe ser eficiente y proyectado para conseguir el máximo aprovechamiento posible del agua.

Se sabe que los requerimientos de agua para riego pueden ser menores con goteo que con los otros métodos tradicionales. Los ahorros dependen del cultivo, suelo, condiciones ambientales y de la eficiencia de riego. La razón principal dada para este ahorro de agua es la pequeña porción de volumen del suelo a mojar, la disminución de la superficie evaporante, la mínima escorrentía de agua en el campo y la controlada profundidad de precolación debajo de la zona radicular.

Doorembos y Pruitt (1990) concluyeron en que las necesidades de riego se refieren a la cantidad de agua y al momento de su aplicación, con el objeto de compensar los déficit de humedad del suelo durante el periodo vegetativo de un cultivo dado, y que estas necesidades de riego quedan determinadas por la evapotranspiración del cultivo, menos lo que ha aportado las precipitaciones y las aguas subterráneas.

Ello implica que la reposición debe realizarse antes de que los cultivos sufran por falta de agua y en cantidad suficiente para satisfacer la capacidad de retención de agua al suelo.

Según Trezza (1997) el balance hídrico permite determinar el régimen de humedad del suelo en equilibrio con el clima. En el caso del balance hídrico agrícola para estimar

necesidades de riego para un cultivo particular, se debe utilizar la evapotranspiración del cultivo, la cual se obtiene afectando la evapotranspiración del cultivo de referencia por el coeficiente del cultivo (K_c).

Pérez (1981) establece características para obtener demandas de riego más ajustadas, en base a los requerimientos del cultivo, las cuales son:

- Utilizar valores conocidos de los usos consuntivos de los cultivos a desarrollar
- Conocer los valores críticos de los datos climáticos para determinar el requerimiento máximo y mínimo de riego
- Determinar la precipitación efectiva, es decir, la que realmente se infiltra en el suelo y es útil a la vegetación
- Tomar como capacidad de almacenamiento la que realmente corresponde a las características de los suelos y cultivos de la zona.

3.2.6. Componentes del sistema de riego por goteo

Según Holzapfel (2000) los componentes de un sistema de riego por goteo son los siguientes:

Cabezal de control: El cabezal del sistema consiste en una serie de dispositivos para entregar a la red hidráulica agua presurizada, de calidad adecuada, en el momento oportuno y en la cantidad requerida. El cabezal de control se compone, en general, de medidores de flujo, válvulas de control, inyector de productos químicos, filtros, manómetros, sensores especiales, controles automáticos o computadoras y equipo de bombeo (optativo). Normalmente, el cabezal de control está localizado en o cerca de la fuente de agua y/o energía.

Es esencial utilizar aguas limpias para un buen trabajo del método de riego por goteo y por ello los filtros son una parte importante del cabezal. La mayoría de los filtros son equipos sencillos, pero deben cumplir con ciertas características como permitir limpieza automática y ser eficientes en el control de materias que provoquen obturación de los emisores.

El sistema de filtro debe tener la capacidad para transportar el caudal requerido y remover las partículas finas, de tamaño varias veces menor que el diámetro del elemento dentro del emisor. Normalmente las partículas que se filtran deben tener un tamaño igual o mayor a un octavo del área de flujo del emisor.

La mayoría de las instalaciones incluyen dos tipos de filtros: de arena y de malla, que evitan la obturación de los emisores con material extraño. Es recomendable utilizar

desarenadores en la zona adyacente al pozo de captación para proteger la bomba y sacar del flujo hacia el equipo, partículas de tamaño mayor.

Los equipos modernos de riego presurizado tienen normalmente incorporado un módulo para inyectar fertilizantes y otros productos químicos al sistema a través de pequeñas bombas, estanques presurizados que operan por diferencia de presión, de un venturi o una válvula de variación de presión.

Cuando se inyectan productos químicos al sistema de riego es conveniente incluir en la unidad central una válvula de control de devolución de flujo. Por razones de seguridad se debe garantizar que elementos contaminantes no regresen hacia la fuente de agua. Junto con esta válvula es importante establecer un sistema para el control del golpe de ariete que provocaría serios daños al equipo si este se ubica en partes más bajas que la zona de riego del sistema.

Bajo ciertas condiciones del riego por goteo, se requiere de reguladores de presión. Dichos reguladores son utilizados para el control de la presión deseada en diferentes partes del sistema.

Además, se utilizan en el cabezal, válvulas que controlan la apertura y cierre de la sección del sistema en general. Dichas válvulas están conectadas directamente a un computador que determina el tiempo de riego o volumen de agua que debe entregar a cada sección o al sistema en general, dependiendo del tipo de diseño.

Tuberías de distribución: La línea principal transporta el agua desde el cabezal de control a la línea de distribución, ya sean secundarias, auxiliares o laterales, dependiendo del diseño que se haya realizado. Normalmente se utilizan materiales como PVC, asbesto-cemento, o polietileno.

Las tuberías de toda la línea de distribución deben poseer las características establecidas en el diseño referente al diámetro nominal e interno y la capacidad de soportar los niveles de presión calculados para cada sección del sistema.

Los laterales distribuyen el agua desde el principal, secundario o auxiliar a los emisores que se encuentran conectados a él y es la última parte de la tubería de distribución que conduce el agua al cultivo. Los emisores se colocan a lo largo de esta línea en los puntos que se desea distribuir el agua. Los laterales son por lo general de polietileno y tienen diámetros que fluctúan entre 12, 16, 20 ó 25 mm. Los laterales se pueden enterrar, dejar descansar directamente sobre el suelo, o bien levantar para no interferir ciertas labores del cultivo. Es conveniente mencionar que diferentes experiencias demuestran que la mayor vida útil de la tubería lateral se obtiene cuando esta se emplaza directamente sobre el suelo, evitándose de esta manera deformaciones o contracciones de la tubería que afectan el flujo.

Emisores: El elemento más importante de un sistema de riego por goteo es el emisor, ya que afectará directamente los posteriores criterios de diseño. Los emisores son estructuras que reducen la presión prácticamente a cero, aplicando de esta manera el agua a la forma de una gota en la superficie del suelo o asperjada en finas gotas. Los emisores varían en tipo y modelo, desde tubos perforados, microtubos y bandas perforadas, a complicados diseños. El caudal que entregan los emisores es función de la presión en la línea, normalmente en goteo varía entre 2 a 10 litros por hora.

3.3. ORIGEN, TAXONOMIA E IMPORTANCIA DE LA PAPA

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es originaria de los Andes de Suramérica, su centro de origen se encuentra entre Ecuador, Perú Central y el Sur de Chile, continuamente se menciona como originaria de las orillas del Lago Titicaca entre Perú y Bolivia (Horton, 1987; Estrada, 2001).

Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Tipo: Spermatophyta

Clase: Angiospermas.

Sub-Clase: Dicotiledónea.

Orden: Tubbiflorae.

Familia: Solanaceae.

Género: Solanum.

Especie: tuberosum.

Subespecies: tuberosum y andigenum.

Existen un gran número de especies de papa, pero en la producción comercial (consumo fresco e industrial) se usan exclusivamente las sub.-especies tuberosum y andigenum. La tuberosum, tiene plantas, hojas y tubérculos más grandes que la andigenum, por esta razón se cultiva más la especie tuberosum (Montero, 1999).

La papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes tanto en países en vías de desarrollo, como en países desarrollados. Es superior a todos los otros cultivos en producción de proteínas y de energía, por unidad de tiempo y superficie.

La importancia de este tubérculo radica en su valor nutricional proteico, éste es superior al de las otras fuentes vegetales, debido a su alto contenido de aminoácidos esenciales (lisina), constituyéndose en un complemento muy valioso en la dieta basada en cereales que generalmente es baja en aminoácidos, en ello se asemeja a la leche; así como

la soya, es sobresaliente en la forma en que se complementa con otras proteínas (Horton, 1988; FAO, 2009).

Los tubérculos tienen diversos usos, en la alimentación humana el producto se consume fresco o procesado; para la alimentación animal puede consumirse fresco, crudo y/o precocido, deshidratado, como bagazo (subproducto industrial) proveniente de la obtención de almidón.

En 2008 ocupó el sexto lugar en la producción mundial de materia prima agrícola luego de la caña de azúcar, el maíz, el arroz, el trigo y la leche fresca de vaca (FAOSTAT, 2011).

Dentro del renglón de raíces y tubérculos que se cultivan en Venezuela, la yuca y la papa son los rubros de mayor producción, para el 2008 esta última se ubicó en 430245 y 421016 t, respectivamente (FAOSTAT, 2009a), se cultivó una superficie de 22025 ha con un rendimiento de 19115,3 kg.ha⁻¹ (FAOSTAT, 2009b). Para el 2007 la producción en el estado Trujillo alcanzó las 81216,65 T, cosechadas en una superficie de 5000 ha (MPPAT, 2007).

En Venezuela se cultiva principalmente en zonas con bajas temperaturas, dada su condición de país tropical éstas se obtienen con la altura; en los andes venezolanos constituye un rubro básico en la economía de los agricultores, su cultivo tiene relevante importancia principalmente en los estados Mérida, Trujillo y Táchira donde el conjunto de condiciones agroecológicas favorecen su producción comercial.

En el estado Trujillo se siembra durante prácticamente todo el año, a excepción de aquellas zonas sobre los 3600 msnm donde no se cultiva entre diciembre y febrero para evitar pérdidas por heladas; predomina sobre el cultivo de la zanahoria, el apio y las hortalizas de piso alto; recientemente se observa una sustitución de áreas tradicionalmente cultivadas con papa por plantaciones de fresa.

Esta zona es muy frágil, con suelos de baja fertilidad natural y régimen de precipitación variable, donde el cultivo de este rubro se torna altamente demandante en fertilizantes y riego, obligando a que su explotación se realice acorde con principios agroecológicos. Sin embargo el manejo deficiente del riego por parte de nuestros productores, viene causando problemas de mal uso del recurso agua, lavado de suelos, incremento de enfermedades fungosas y en general perjuicios al crecimiento vegetal con la consecuente merma en la productividad y calidad del producto final para el mercado consumidor.

Al aplicar el paquete tecnológico para el manejo del cultivo, existen aspectos importantes que deben seguirse con rigurosidad si se quiere garantizar un rendimiento

económicamente rentable y de calidad aceptable. Entre todas las actividades a desarrollar, el riego y la fertilización son de consideración relevante.

3.4. ASPECTOS BOTÁNICOS Y FENOLÓGICOS DE LA PAPA

La papa es una planta dicotiledónea herbácea anual, potencialmente perenne debido a su capacidad de reproducción por tubérculos, los aspectos botánicos más resaltantes son los siguientes (García y Salas, 2005):

3.4.1. Raíz.

En plantas provenientes de semilla sexual hay una raíz principal fusiforme, claramente distinguible de las raíces secundarias, en plantas provenientes de tubérculos, todas las raíces son secundarias, son de tipo fasciculado. La mayor parte de las raíces se encuentran en los primeros 20 cm del suelo.

3.4.2. Tallo.

En este cultivo hay dos tipos de tallos: aéreos y tallos subterráneos, estos últimos son estolones y tubérculos. Los tallos aéreos son herbeceos, erectos en la primera edad, con nudos y epidermis generalmente pubescentes. En las variedades precoces son cortos y en las variedades tardías largos.

Son triangulares o pentangulares en los entrenudos y en las aristas formadas en las líneas de unión de las caras, presentan estructuras llamadas alas, que pueden ser notorias o inconspicuas, rectas u onduladas.

Los estolones nacen en las axilas de las hojas de la parte enterrada del tallo aéreo. Su longitud es variable, son cortos (entre 10 y 30 cm.) en variedades cultivadas y largos (entre 30 y 100 cm.) en variedades silvestres. El carácter estolón corto, es altamente deseable en una variedad, porque facilita ciertas labores como el aporque y la cosecha. Los tubérculos se encuentran localizados generalmente en el extremo distal de los estolones.

3.4.3. Hojas.

Son compuestas imparipinada, con hojuelas laterales primarias, secundarias (más pequeñas) y terciarias. De acuerdo con el distanciamiento de las hojuelas dentro de cada hoja y a la separación mayor o menor entre éstas, habrá en la planta follaje de “tipo compacto” o de “tipo abierto”.

3.4.4. Flor.

Las flores forman inflorescencias cimosas localizadas en los extremos de las ramas. La flor tiene corola acampanada de cinco lóbulos, cinco estambres soldados en el tubo de la corola que emergen hacia el pistilo único, el cual tiene estigma y ovario bilobulares. El color de la corola puede ser rojo blanco o morado o de los muchos matices que pueden formar la mezcla de los tres. Dentro de una misma especie puede haber variedades de flores blancas, rojas o moradas. En otras palabras el color es un carácter varietal, no específico.

La abundancia a escalas de flores es un carácter específico, pero entre variedades de una misma especie puede haber notable diferencia al respecto. La papa es una planta considerada predominantemente autogama de polinización directa. El porcentaje de polinización cruzada es bajo.

3.4.5. Fruto.

Es una baya semejante a un tomate pequeño de 2 a 3 cm de diámetro. Las variedades mejoradas presentan generalmente abundante fructificación, siendo muy escasa en las especies silvestres.

La forma más común del fruto es la misma que un tomate pequeño, sin embargo, algunas especies presentan formas alargadas. Los frutos no son comestibles por que contienen un alcaloide tóxico (solanina), la cual también se encuentra en menor concentración, en otros órganos de la planta. En algunas ocasiones pueden presentarse frutos partenocárpicos.

3.4.6. Semilla.

Las hay numerosas y fértiles en variedades modernas, en especies silvestres casi no hay semilla. Es semejante a la del tomate pero más pequeña, sin pubescencia y de fácil germinación.

3.4.7. Etapas y eventos en el desarrollo de la planta de papa

La aparición del primordio de una nueva estructura recibe el nombre de evento, el intervalo de los eventos se denomina etapa.

Etapa I

Crecimiento de los brotes: desarrollo de los brotes de los tubérculos semillas, que emergen sobre la superficie del suelo, y comienza el desarrollo de raíces en la base de los

brotos emergidos; las reservas de las semillas son la fuente de energía el crecimiento en esta etapa.

Etapa II

Crecimiento vegetativo: estado en el que las hojas, ramas y tallos se desarrollan sobre la superficie del suelo y los nódulos de los brotes se alargan y emergen las raíces y estolones, los cuales se extienden por debajo de la superficie del suelo.

La planta obtiene algo de energía del tubérculo-semilla en la parte temprana de este estado de crecimiento, pero durante este periodo comienza la fotosíntesis y los procesos de energía para futuro crecimiento y desarrollo.

En este estado se forman todas las partes vegetativas de las plantas y comienza la emergencia y el crecimiento de las puntas de los estolones por debajo de la superficie del suelo, hasta cuando se inicia el desarrollo de los tubérculos.

Etapa III

Inicio de tuberización: Se inicia cuando los tubérculos empiezan a engrosarse en los estolones producto del transporte de asimilados desde las hojas, abarcando un período de entre 5 a 7 semanas después de la siembra (Soboh *et al.*, 2000).

En este estado de crecimiento se forman los tubérculos a partir de las puntas (gancho) del estolón. La iniciación del tubérculo es controlada por los reguladores hormonales de crecimiento producidos por la planta; este estado tiene un periodo de duración de 10 a 14 días y en muchas variedades el final de este periodo coincide con la floración temprana, donde pocas flores se abren y son poco visibles.

En general se cree que muchos tubérculos tienen un tamaño de cosecha ideal aproximadamente 28 g de peso iniciándose durante este periodo la variedades de maduración temprana usualmente inician su tuberización antes que las variedades tardías, los materiales de ciclo largo continúan la iniciación del tubérculo durante la etapa cuatro del crecimiento.

El manejo del agua durante esta etapa es importante para ayudar al desarrollo del tubérculo. De 80 a 90 % de disponibilidad de agua en el suelo durante el crecimiento del tubérculo y ensanchamiento del mismo, favorece el crecimiento rápido de la planta.

Etapa IV:

Maduración: esta etapa se inicia cuando el follaje entra en el proceso de senescencia. Este cambia a color amarillo y las hojas se marchitan, la fotosíntesis decrece gradualmente,

la tasa de crecimiento se hace más lenta y el follaje eventualmente muere. El contenido de materia seca de los tubérculos alcanza el máximo valor de esta etapa y la piel del tubérculo se endurece aumentando su espesor.

En teoría una planta de papa sana (libre de plagas y enfermedades) con todo su potencial genético y llevando a cabo todas sus funciones fisiológicas, va a desarrollar estas cuatro etapas de crecimiento.

Para ello es necesario que la planta de papa incluya una rápida emergencia de los brotes, desarrollo de estolones, raíces y sistema aéreo de la planta, eficiencia en el uso de nutrientes minerales y agua, tasas óptimas de fotosíntesis, uniformidad en el crecimiento y desarrollo de los tubérculos al final del periodo de crecimiento (García y Salas, 2005).

3.5. EL RIEGO EN PAPA

Es innegable que el agua es un elemento fundamental para el crecimiento de las plantas; es indispensable para que se lleven a cabo procesos como la fotosíntesis, respiración y otras funciones fisiológicas. Es igualmente el medio de transporte de minerales y productos de la fotosíntesis, garantiza la turgencia de las células de la planta y para la transpiración y regulación de la temperatura de las hojas.

3.5.1. Efectos del estrés hídrico en la papa

La papa es un cultivo relativamente sensible al estrés hídrico o condiciones de déficit de agua, así como al exceso de humedad. El estrés causa reducción en el rendimiento debido a la merma del crecimiento de la canopia y de la biomasa en general (Yuan *et al.*, 2003). El exceso de agua en el suelo es perjudicial causando mala aireación al sistema de raíces y estolones, lo que se traduce en retardos en el desarrollo y deterioro de la calidad del producto (Miller y Martin, 1985).

Cuando la planta de papa es sometida a condiciones de estrés hídrico, se producen una cadena de reacciones fisiológicas que incluyen: una merma en la fotosíntesis debido al cierre de los estomas, un aumento de la temperatura de la hoja, la disminución de la asimilación de CO₂ originada por la lisis de los cloroplastos (clorosis), ascenso temporal de la respiración, la cual luego se deprime, desnaturalización de enzimas, fallas en las nitrato reductasas, cese en la síntesis de proteínas, aumento en el contenido de ácido abscísico o ABA y detención del crecimiento, produciendo un envejecimiento prematuro de la planta y por ende una disminución en la acumulación de productos fotosintéticos en los tubérculos (King y Stark, 2000; Rojas, 2003).

Por otro lado y comparada con otros cultivos, el cierre de los estomas en papa ocurre más temprano y es relativamente lento en suelos con déficit de agua, es así como una reducción en la humedad en el suelo disminuye la tasa de respiración y la fotosíntesis del cultivo (van Loon, 1981).

Existe una clasificación para las plantas, basada en el ritmo de apertura y cierre de los estomas, la papa posee precisamente estomas “tipo papa”, que definen a aquellas plantas cuyos estomas permanecen abiertos continuamente, excepto en algunas horas del atardecer o crepúsculo vespertino luego de la puesta del sol, durante el resto del día sólo se cierran sus estomas en caso de producirse marchitez o pérdida de turgencia en las hojas (Fuentealba, 2001).

La exposición prolongada de la planta de papa al estrés hídrico reduce considerablemente el rendimiento, deteriora la actividad fotosintética y por lo tanto conlleva a un desarrollo reducido de las hojas (Wullschleger y Oosterhuis, 1991), aunque una escasez de agua controlada ha demostrado mejorar la biomasa y calidad del tubérculo (Dalla Costa *et al.*, 1997).

La merma en los rendimientos cuando el cultivo ha sido sometido a estrés hídrico, es debida en parte a que la planta no tiene la posibilidad de activar un mecanismo de cierre estomático, que le permita reducir la pérdida de agua a través de las hojas. Por otro lado al ser un cultivo C-3, es poco eficiente en cuanto a fijación de CO₂ se refiere, lo que repercute directamente sobre el crecimiento (Fuentealba, 2001).

Solórzano *et al.* (1993) opinan que si la humedad es deficitaria, los requerimientos del cultivo no pueden ser abastecidos a plenitud, la velocidad de transpiración es superior a la velocidad de absorción de agua por las raíces y la planta reduce la transpiración mediante el cierre de sus estomas, retrasándose el desarrollo de los tallos y hojas en crecimiento. Se reduce la fotosíntesis o producción de materia seca, se estimula la respiración y se acelera el envejecimiento.

Los síntomas de déficit de humedad son característicos en cada período del ciclo del cultivo de la papa. Además de ello, estimula la respiración y acelera el envejecimiento del cultivo.

Cuando el estrés hídrico persiste a lo largo de la etapa de crecimiento, la fotosíntesis, la producción de biomasa y la producción de tubérculos disminuye casi proporcionalmente a la magnitud en que escasea el agua. Por otra parte, situaciones de estrés hídrico durante la etapa de iniciación de la tuberización pueden reducir seriamente la producción final de las plantas, que son particularmente sensibles durante esta etapa fenológica, incluso es posible que no llegue a recuperarse después del restablecimiento de un contenido óptimo de agua en el suelo (Dalla Costa *et al.*, 1997).

Otra de las respuestas fisiológicas de la papa al déficit de agua es la reducción del crecimiento generalizado de la planta, se refleja igualmente en el sistema radicular y limita el área de exploración de las raíces.

Esto adquiere importancia relevante considerando que la tasa de absorción de agua por parte de la planta depende factores como la diferencia de potencial de agua entre la raíz y el suelo, el número de raíces y la actividad radicular, entre otros (Ekanayake, 1994). Al producirse la interrupción del desarrollo vegetativo y de la tuberización, puede presentarse el rebrote del tubérculo cuando la escasez de agua finaliza (Domínguez, 1989).

El sistema radicular relativamente superficial de la papa limita la “zona efectiva de raíces” entre los 50 a 80 cm de profundidad, lo que lo clasifica como débil y con un bajo poder de succión de agua (Havenkort, 1986).

Existen importantes diferencias varietales en el crecimiento y desarrollo del sistema radical, debido principalmente a la diferencia en la duración de las tres fases de crecimiento. Es posible que cuando las plantas de papa se establecen en suelos suficientemente húmedos, su sistema radicular llega a superar los 140 cm (Stalham y Allen, 2001).

Otra consecuencia de un sistema radicular deficiente, es la disminución en la capacidad de la planta para absorber agua y sustancias nutritivas produciendo tallos más pequeños y la obtención de tubérculos de tamaño reducido (King y Stark, 2000).

3.5.2. Requerimientos hídricos de la papa:

Las condiciones ideales para el crecimiento y desarrollo de la planta de papa, incluyen un bajo y casi constante potencial de agua, aunado a un contenido elevado de oxígeno en el suelo (Wang *et al.*, 2007).

Estudios han concluido que la disponibilidad de agua en el suelo es el factor más limitante para la producción y calidad de los tubérculos (Fabeiro *et al.*, 2001), además se establece que es posible aumentar su rendimiento con programas adecuados de manejo del riego a lo largo de la fase de crecimiento (Ayas y Korukçu, 2010; Deblonde y Ledent, 2001; Panigrahi *et al.*, 2001).

Para asegurar un buen rendimiento del cultivo de papas es necesario en promedio de 400 a 800 mm de agua, esto dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del período vegetativo (Haverkort, 1986). Otros autores Bosnjak y Pejlik (1996) reportan necesidades que varían entre 460 y 480 mm, por su parte Klassen *et al.* (2001) recomiendan que para la obtención de buenos rendimientos, y dependiendo de las

condiciones climáticas de la zona, el cultivo de papa necesita de aproximadamente 455 mm por ciclo de cultivo.

Doorembos y Kassam (1986) opinan que para lograr altos rendimientos en variedades cuyos ciclos sean de 120 a 150 días, los requerimientos hídricos son de 500 a 700 mm por ciclo, esto tomando en cuenta el comportamiento del clima.

De acuerdo a algunos reportes se ha demostrado que en términos generales, la papa debe regarse a -35 cb de potencial tensiométrico del suelo, esto garantiza el mantenimiento de un micromedio bien regado (Ekanayake, 1994). Por su parte Soboh *et al.* (2000), afirman que la tensión de humedad ideal para el cultivo es de -40 cb; esta pequeña diferencia de resultados entre ambos trabajos (-5 cb) resulta despreciable en la práctica del riego.

El punto de marchitez permanente de la papa es -60 kPa en plantas jóvenes y -100 kPa en las maduras, estos son valores más altos de lo que comúnmente es aceptado (-160 kPa), lo cual indica que la papa tiene una menor capacidad de extracción de agua del suelo que otros cultivos (Vos y Haverkort, 2007).

Si se desea obtener rendimientos satisfactorios, no debe dejarse agotar el agua disponible total en el suelo, por encima del rango del 30 a 50% (van Loon, 1981; Doorembos y Kassam, 1986).

Niveles altos de humedad aprovechable en el suelo (50 a 55%), produjeron un periodo vegetativo más largo y mayores rendimientos en plantas de papas producidas en invernadero, que aquellas que se desarrollaron con niveles más bajos de humedad (20 a 25%) de acuerdo a un estudio realizado por Sepúlveda *et al.* (1999) con dos cultivares.

Cuando se presentan niveles muy altos de humedad en el suelo, la mayor parte del espacio poroso es ocupado por agua, reduciéndose la cantidad de aire, lo que perjudica el proceso respiratorio normal de las raíces limitando su desarrollo en condiciones extremas, esto igualmente limita el rendimiento.

Los tubérculos semillas son sensibles a la pudrición y al ataque de hongos. Si se registra un exceso de agua después de la siembra, puede verse afectada la emergencia debido al crecimiento excesivo de las lenticelas, lo que a su vez permite la entrada de agentes patógenos (Haverkort, 1986). Cuando esto ocurre lo más común que sucede es la podredumbre de la semilla, la presencia de enfermedades fungosas y bacterianas, fallas a lo largo de las hilo de siembra y se ve favorecido el desarrollo de un sistema radical superficial (Solórzano *et al.* 1993).

3.5.3. Los periodos críticos en el riego del cultivo de papa

El estudio del balance que existe entre las disponibilidades de agua y la demanda de los cultivos en una determinada región, condiciona sus necesidades de agua. Los requerimientos hídricos de un cultivo obedecen a las características edafoclimáticas de la zona, y el factor más determinante es la precipitación mediante la oportunidad, la concentración y el número de eventos que ocurren durante el ciclo.

Aunque una sequía o falta de lluvias es limitante para obtener rendimientos óptimos, también el patrón de distribución de estas durante el año provoca que el cultivo pase por periodos tanto de exceso como de escasez de agua (Beniot y Grant, 1985).

Los periodos críticos se refieren a aquellas etapas durante el crecimiento y producción de la papa donde el agua es escasa, lo que causa un efecto negativo muchas veces irreversible. Sobresalen en estos periodos aquellas fases de crecimiento activo o división celular, originando cambios en algún componente de producción de la planta.

Martínez y Moreno (1992) determinaron en ensayos de campo, al menos dos periodos críticos de necesidades hídricas en el cultivo de la papa, inmediatamente después de la emergencia y durante la tuberización.

La siembra de los tubérculos semilla en suelo seco, impide o inhibe la emergencia y desarrollo de las raíces, lo que acorta el periodo vegetativo y disminuye el número de tallos (van Loon, 1981). Observaciones de campo han comprobado que en esas condiciones se retrasa la emergencia y se desarrollan menos tallos (Quintero *et al.*, 2009).

La tuberización es considerada como una de las etapas más importantes del ciclo biológico de la papa. De acuerdo a Doorembos y Kassam (1979) un déficit de agua durante este periodo tiene el mayor efecto negativo sobre el rendimiento y deteriora la calidad de las cosechas, ya que favorece la formación de tubérculos fusiformes.

Durante la etapa de llenado de los tubérculos es donde se alcanzan las mayores tasas de transpiración, generándose también los máximos requerimientos de agua por parte del cultivo, estos requerimientos descienden al finalizar la etapa de tuberización (King y Stark, 2000).

Si se mantiene la capacidad fotosintética durante la tuberización se aseguran buenos requerimientos, en caso contrario se ve comprometido el rendimiento, debido a que el suministro de carbono necesario para el crecimiento de los tubérculos depende directamente de la magnitud del proceso fotosintético a nivel de las hojas. En consecuencia si se limita seriamente la asimilación de CO₂ durante este periodo, los rendimientos serán fuertemente afectados (Martínez y Moreno, 1992).

Es por esto que para lograr rendimientos óptimos, el agua total disponible en el suelo no debe agotarse en más de un 50%. De ocurrir este agotamiento por encima de este valor durante el período vegetativo se traduce en menores rendimientos (Doorembos y Kassam, 1979). Soboh *et al.* (2000) señalan que para la obtención de altos rendimientos el porcentaje de agua disponible en el suelo debe mantenerse en un 70% durante el desarrollo del cultivo.

Haverkort (1986) recomienda que durante la etapa de plena floración hasta la madurez, debe existir agua rápidamente disponible a la planta, y a su vez opina que una escasez puede ocasionar que el follaje quite agua a los tubérculos, los que pueden perder peso volviéndose flácidos.

Cuando la cosecha se acerca, las plantas comienzan a morir y a perder las hojas (senescencia), los tubérculos disminuyen considerablemente su tasa de crecimiento como resultado de la baja en la actividad fotosintética, y el llenado final del tubérculo es el resultado del desplazamiento de los materiales fotosintéticos asimilados restantes en tallos y raíces (King y Stark, 2000). Sin embargo de acuerdo a lo expuesto por Haverkort (1986) el suelo debe mantenerse con cierta humedad para evitar rajaduras que permitan la entrada de enfermedades e insectos perjudiciales que puedan dañar al tubérculo.

3.6. LA FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO PAPA

Los requerimientos de fertilizantes en el cultivo papa guardan relación con el tipo de suelo y su contenido de nutrientes, el manejo de la fertilización en el ciclo o cultivo anterior, la variedad a sembrar y la duración del ciclo productivo.

En el sistema de producción de papa es común el uso intensivo de fertilizantes y agrotóxicos, estos van aumentando a medida que el cultivo avanza en el ciclo (Reis y Monnerat, 2001). Magalhães (1985) acota que desde el punto de vista nutricional, la causa de este uso intensivo de fertilizantes es producto de una alta tasa de crecimiento de la planta, un ciclo productivo corto y un sistema radicular superficial, de modo que el cultivo responde muy bien a la aplicación de nutrientes.

Las plantas de papa requieren más de 14 elementos minerales esenciales que incluyen los macro nutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y los micro nutrientes (Cl, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo y Ni). Estos son adquiridos generalmente de la solución del suelo por intermedio del sistema radicular. Las concentraciones de estos elementos en los tejidos vegetales se deben mantener dentro de ciertos límites, las escasas concentraciones minerales del tejido limitan el crecimiento potencial y pueden afectar la calidad del tubérculo, mientras que un exceso puede inhibir crecimiento por toxicidad (White *et al.*, 2007).

Se conoce que la papa es un cultivo altamente demandante en N, P y K, niveles deficientes o excesivos en uno o más de estos nutrientes causa efectos negativos en el crecimiento de la planta y por consiguiente reduce la producción y la calidad del tubérculo (Öztürk *et al.*, 2010).

En los tejidos de la planta de papa son el K y el N los elementos que se encuentran en mayor cantidad, seguidos por el Ca y el Mg (Westermann, 2005).

Sangoi y Kruse (1994) observaron una cantidad acumulada de 120 kg de N, 17 kg de P y 180 kg de K para una cosecha de 30000 kg.ha⁻¹ de papa. Del total acumulado, 60% de N, 80% de P y 60% de K son extraídos vía tubérculos, y apenas el 10% de Ca y B se acumulan en los tubérculos.

Experiencias de campo en los Andes venezolanos recomiendan la aplicación en promedio de 300 kg.N.ha⁻¹ para el cultivo de papa, debido a los favorables resultados en los rendimientos de la producción (Villa y Sarmiento, 2009). Así mismo, se ha sugerido la combinación de fertilizantes químicos con enmiendas orgánicas como gallinazo y concha de arroz, para proporcionar las cantidades de nitrógeno requeridas para este cultivo (Machado, 2005).

En el oriente de nuestro país, se han llevado a cabo estudios en cuanto al manejo de la fertilización en papa, en una investigación que agrupa estas experiencias se reporta que la dosis económica para el cultivo de la papa fue de 200-150-150 kg.ha⁻¹, en presencia de cero aplicación de cal agrícola (Betancourt citado por Arismendi, 2002). En otro trabajo que evaluó dosis y épocas de aplicación de K, se encontró una tendencia hacia el mejor rendimiento económico al aplicar 200 kg de K fraccionado, mitad al momento de la siembra y la otra mitad al mes de la siembra (Zarzalejo citado por Arismendi, 2002).

Otros reportes combinando diferentes dosis de NPK, indican que la más económica fue de 100 kgN.ha⁻¹, 260 kgP.ha⁻¹ y 150 kgK.ha⁻¹, respectivamente (Diaz citado por Arismendi, 2002); resultado muy similar fue obtenido por Avila (citado por Arismendi, 2002) al indicar que la dosis económica fue de 1200 kg.ha⁻¹ del fertilizante de la fórmula 12-24-12, en plantas sembradas a 20 cm sobre la hilera y tubérculos semillas de 55 g.

Un aspecto crítico para la mayoría de los cultivos se refiere a la disponibilidad del nitrógeno durante la etapa de crecimiento, que en papa puede afectar en forma diferente al rendimiento como a la calidad del tubérculo, dependiendo del sistema de cultivo (Gastal y Lemaire, 2002; Wang *et al.*, 2002).

No sólo se debe proveer al cultivo de suficiente nitrógeno, sino que también se debe evitar los excesos, elevadas dosis de este elemento puede prolongar el crecimiento

vegetativo, retrasar el inicio de tuberización, reducir el rendimiento (Vos y Biemond, 1992; Saluzzo *et al.* 1999) y además afectar el índice de cosecha (Ojala *et al.* 1990).

Menos documentados son los efectos de la fertilización de nitrógeno en la acumulación de proteína, se ha divulgado que el contenido proteínico es realizado por una disponibilidad creciente de nitrógeno (Alva, 2004; Lin *et al.*, 2004), surge la pregunta si ésta también mejoraría el valor alimenticio de estas proteínas.

Con una alta fuente de nitrógeno, las proteínas tienen contenido de aminoácidos esenciales más bajos (Eppendorfer y Eggum, 1996) lisina y metionina por ejemplo, son los aminoácidos esenciales que se han encontrado que disminuyen en respuesta a la fertilización con nitrógeno en trigo y espinaca, respectivamente.

De manera semejante, Eppendorfer *et al.* (1979) aumentando la fertilización con nitrógeno (orgánico o inorgánico) en papa, encontraron una creciente concentración de N en los tubérculos aunado a una disminución en la calidad de la proteína, que al ser administrada a ratas se evidenció una pérdida en la asimilación de ésta.

En cambio, Millard (1986) reporta que el aumento de la fuente de nitrógeno a partir de 0 a 250 kgN.ha⁻¹ aumentó las concentraciones de nitrógeno y de aminoácidos esenciales en los tubérculos.

El fósforo (P) es el macroelemento más limitante para la producción de la papa y el aplicado en mayor cantidad. Esta planta posee mecanismos activos de absorción de este nutrimento alrededor de las raíces, las cuales se concentran en los primeros 20 cm de profundidad (>70%), por esto la superficie de exploración de nutrientes es limitada (Curwen, 1993) esta misma situación propicia que el cultivo responda positivamente a dosis altas de elementos minerales aplicados al suelo.

La concentración de P en el xilema y en la vacuola es mucho mayor que en la solución del suelo, en el orden de 100 y 1000 veces, respectivamente (Raghothama, citado por Covarrubias-Ramírez *et al.* 2005).

El P es determinante en el crecimiento inicial de los tejidos vegetales, especialmente de las raíces. Un déficit produce plantas pequeñas de color violáceo o amarotado por efecto de acumulación de antocianinas, debido a la detención del crecimiento celular. Al contrario del N un contenido adecuado de P tiende a mejorar la madurez del cultivo.

El potasio K es considerado un elemento de gran importancia en la nutrición de las plantas pues mejora la resistencia al ataque de plagas y enfermedades. Posee funciones diversas en la planta, resaltando la función reguladora del cierre estomático de las hojas en las células oclusivas y principal activador de la síntesis de los carbohidratos, esta última función es muy importante, ya que la papa debe formarlos y almacenarlos en los tubérculos.

Es el nutrimento más requerido por la planta y se le atribuyen importantes efectos sobre la calidad del tubérculo. Al cultivo de papa se le relaciona con una alta demanda de K, del cual extrae 1,5 veces más que de N y 4 a 5 veces más que de P (Badillo-Tovar *et al.* 2004).

Los daños mecánicos a los tubérculos durante la cosecha se reducen al aplicar cantidades de K_2O de 432 kg.ha^{-1} (360 kg.ha^{-1} de K) en combinación con 40 a 120 kg.ha^{-1} de N según lo expuesto por Divis y Sterba (1997).

La extracción de K varía de 116 a 520 kg.ha^{-1} de K_2O , en cuanto al P de 13 a 63 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , y para el caso del S de 17 a 38 kg.ha^{-1} (Papadopoulos, 1992; Hegney *et al.*, 1997; Álvarez-Sánchez *et al.*, 1999; Jenkins y Hakoomat, 1999).

Entre los factores que influyen en la extracción de nutrimentos, destacan las condiciones ambientales y hasta el cultivar, así Kádár (citado por Badillo-Tovar *et al.* 2004) indicó que para un rendimiento de tubérculos de 13,4 a $32,6 \text{ t.ha}^{-1}$ con el cultivar Desiré, la extracción de N, P y K correspondiente fue de 66 a 180, 11 a 30 y 46 a 159 kg.ha^{-1} .

3.7. CALIDAD POSTCOSECHA DE PAPA

El fin último del cultivo de papa para consumo puede seguir dos vías, la producción puede estar destinada al consumo fresco, expandidas al detal en pequeños establecimientos de verduras y mercados municipales generalmente presentadas con tierra, como también pre-lavadas por despachos y vendidas al consumidor final en grandes cadenas comercializadoras, o bien puede ser destinada a su empleo en la industria procesadora.

Las preferencias del consumidor varían de acuerdo con el objeto de la producción, así las cualidades culinarias para el consumo fresco son diferentes a los requisitos utilizados en la producción industrial de papas fritas o pre-cocidas orientadas al mercado de comidas rápidas.

La calidad culinaria de los tubérculos de papa es el factor que en última instancia determina la aceptación o el rechazo de una variedad en el mercado, esta no puede ser definida más que en relación con su uso (Lujan, citado por Montado, 1984).

Está influenciada por las condiciones ambientales (temperatura, humedad, precipitación) y el manejo agronómico (calidad y cantidad de riego usado, tipo de suelo, fertilización química y orgánica empleada, época y forma de la eliminación del follaje y especialmente la madurez del tubérculo (Coraspe, 1998).

La producción y calidad de los tubérculos está condicionada por la disponibilidad de agua en el suelo, esto puede corregirse con adecuados programas de riego a lo largo de la

fase de crecimiento (Fabeiro *et al.*, 2001; Ayas y Korukçu, 2010; Deblonde y Ledent, 2001; Panigrahi *et al.*, 2001).

Un exceso de humedad así como también fluctuaciones bruscas en los niveles de agua, favorecen la presencia de tubérculos partidos y deformes debido a los cambios en la turgencia y volumen de los tejidos internos del tubérculo (King y Stark, 2000). Los tubérculos pueden tomar forma semejantes a cuello de botella, o se deforman de diversas maneras pudiendo incluso llegar a presentar rajaduras o hasta romperse debido a estos cambios en la disponibilidad de agua en el suelo (Haverkort, 1986).

Algunos factores agronómicos afectan el rendimiento y la calidad de la papa, Burton *et al.* (1992) reportaron que las prácticas de cultivo y el manejo postcosecha tienen influencia en la composición química de los tubérculos.

Por otro lado, otros autores (Tekaling y Hammers, 2005; Tysboa *et al.*, 2006) indicaron que tanto el número como el tamaño de los tubérculos, el contenido de materia seca, la composición nutricional así como los parámetros de rendimiento, pueden diferenciarse grandemente entre cultivares. Además de la propia variabilidad genética, las determinantes ambientales también afectan el rendimiento y calidad de los tubérculos.

El término “calidad de la papa” engloba diferentes características tanto en el producto crudo como procesado, un buen aspecto general, la textura, el color y el sabor son elementos importantes que marcan la preferencia del consumidor, este es un tema de mucha investigación (Taylor *et al.*, 2007).

Existen diferentes atributos de calidad de los tubérculos de papa, dependiendo de las consideraciones de sus propiedades externas o internas. Desde el punto de vista externo hay criterios que determinan la preferencia del consumidor tales como tamaño y forma del tubérculo, color y grosor de la piel, profundidad de ojos, color de la pulpa; por el lado de sus propiedades internas resaltan el contenido de materia seca, la presencia de azúcares reductores, la gravedad específica, el pardeamiento enzimático y no enzimático y la aparición del desorden fisiológico conocido como corazón hueco.

Entre los principales factores que condicionan la calidad comercial de la papa se pueden considerar los relativos a la expresión genética de los materiales, los derivados de condiciones ambientales y los relacionados con el paquete tecnológico aplicado al cultivo.

En Venezuela no existe la diferenciación de las variedades de papa en función de uso final, como ocurre en otros lugares, donde, de acuerdo con el gusto del consumidor, se pueden comprar papas para freír, hornear o sancochar.

El consumidor no impone ninguna exigencia en cuanto a la calidad culinaria, siendo paradójicamente el intermediario, quien ejerce en cierta manera este control, tomando como

parámetros el tamaño, la forma, el color de la piel y la pulpa del tubérculo, la ausencia de deformaciones y daños causados en la cosecha, en el transporte o por plagas (Coraspe, 1998).

En nuestra zona productora, los materiales genéticos utilizados por los agricultores se ha reducido a unas pocas variedades, donde resaltan Granola, Andinita, Diacol Capiro (R-12), Única y Amarilis, de éstas, es Granola la preferida por su precocidad y gran aceptación en el mercado para consumo fresco, para este propósito también son utilizadas Amarilis y en menor cuantía Andinita y Única; Diacol Capiro se ha sembrado con éxito para su uso industrial como hojuelas de papas fritas.

Entre los factores ambientales de mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de un determinado genotipo son reportados la temperatura y la duración del fotoperiodo, estos combinados con una normal distribución de la precipitación contribuyen a un buen rendimiento tanto en cantidad como en calidad (Kooman *et al.*, 1996a; Kooman *et al.*, 1996b).

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 4

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El ensayo de campo fue conducido en una parcela comercial de la finca Vista Alegre en el Páramo de Cabimbú, parroquia Cabimbú, municipio Urdaneta del estado Trujillo, República Bolivariana de Venezuela. Geográficamente se encuentra ubicada en las coordenadas $9^{\circ} 9' 31''$ N y $70^{\circ} 29' 26''$ O, muy cerca del centro poblado del mismo nombre, a una altitud de 2827 msnm. En la Figura 4.1 se presenta la ubicación relativa del sitio del experimento.

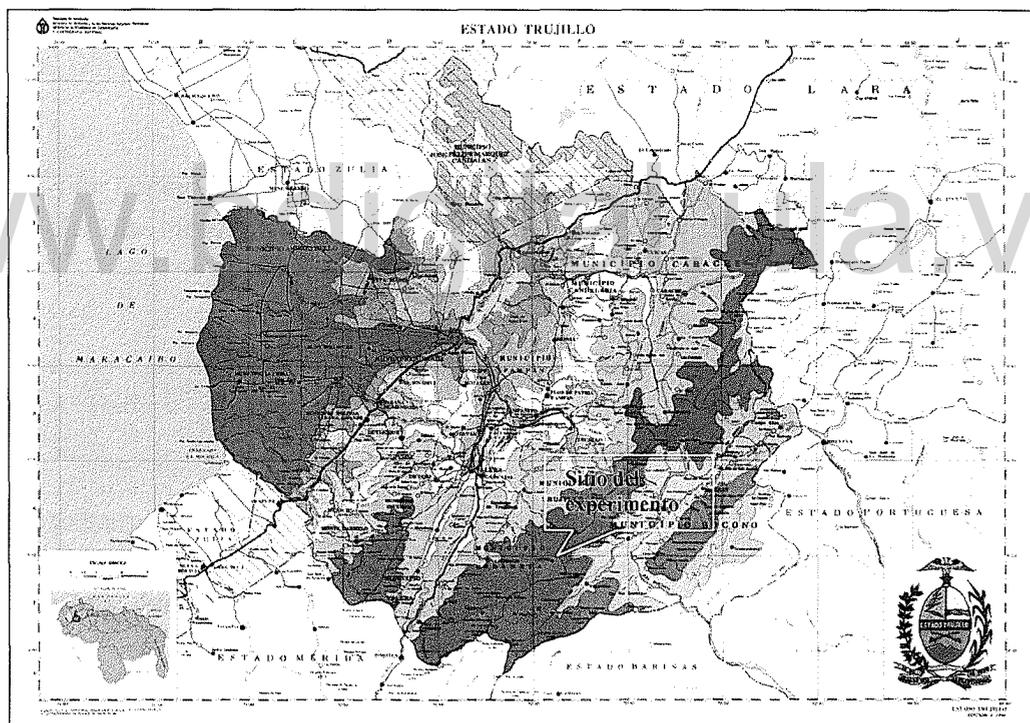


Figura 4.1 Ubicación relativa del área de estudio.

Fuente: <http://turismodeaventuratrujillo.blogspot.com/p/mapas-del-estado-trujillo.html>

La Figura 4.2 muestra una vista general del centro poblado de Cabimbú, sitio donde se instaló el ensayo de campo.

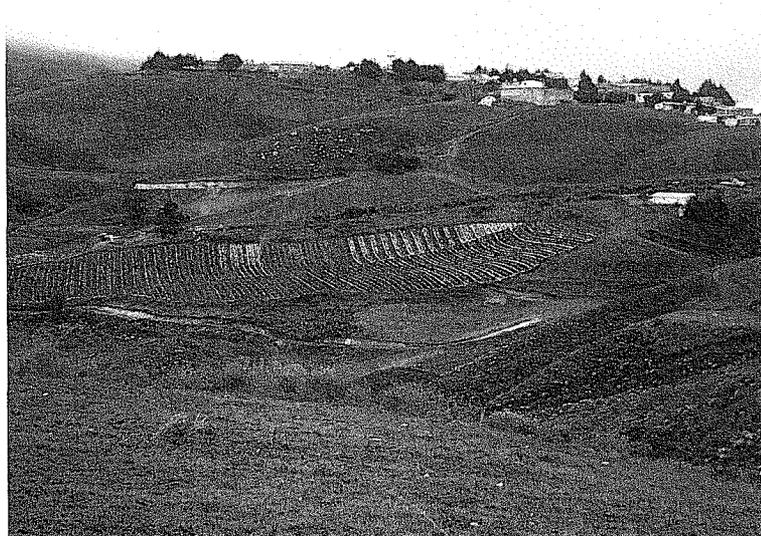


Figura 4.2 Vista general del centro poblado de Cabimbú, sitio del ensayo de campo.

4.2. CICLO DE CULTIVO

El ciclo de cultivo abarcó los meses de abril a septiembre del año 2009, la siembra se efectuó el 20 de abril y la cosecha ocurrió el 12 de septiembre, el ciclo tuvo una duración de 145 días.

4.3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN BÁSICA

4.3.1. Condiciones climatológicas

Durante el ciclo de cultivo y apoyados con una estación meteorológica automática marca Davis modelo Vantage Pro2™ ubicada en el sitio del experimento, se registraron las variables climáticas: temperaturas máxima y mínima media, precipitación, humedad relativa, velocidad media del viento a 2 m y radiación.

Las variables climáticas registradas y anteriormente mencionadas, se utilizaron para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo y así poder comparar con los registros de la cantidad de agua aplicada con el manejo de riego por tensiometría

Se determinó la precipitación efectiva cada diez días ($P_{e_{dec}}$) mediante el método del USDA Soil Conservation Service citado en Grassi (1998), posteriormente este dato formará parte del aporte de agua al cultivo, adicional a la aplicada por intermedio del riego.

Para esto se consideraron los valores decadiarios de precipitación y su cuantificación fue realizada mediante las Ecuaciones 4.1a y 4.1b:

$$P_{ef(dec)} = \frac{P_{ef}(125-0,6)(P_{dec})}{125} \quad (4.1a)$$

para $P_{dec} \leq (250/3)$ mm

$$P_{ef(dec)} = (125/3) + 0,1(P_{dec}) \quad (4.1b)$$

para $P_{dec} > (250/3)$ mm

Se realizó la comprobación de la integridad de los datos de radiación utilizados para el presente estudio, de acuerdo a la metodología propuesta por Allen *et al.* (1998), de acuerdo a la Ecuación 4.2:

$$R_{so} = K_T R_a \quad (4.2)$$

Donde:

R_{so} es la radiación de onda corta calculada que se espera que ocurra bajo condiciones de cielo despejado

R_a es la radiación extraterrestre

K_T es un índice de claridad o de transmisión.

Igualmente se estimó la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) utilizando la Ecuación (4.2) de Penman-Monteith.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \quad (4.3)$$

donde:

ET_o : evapotranspiración de referencia por el método FAO-56 [mm.día^{-1}],

Rn : radiación neta en la superficie del cultivo [$\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$],

G : densidad del flujo de calor en el suelo [$\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$],

T : temperatura del aire [$^{\circ}\text{C}$],

u_2 : velocidad del viento registrada a 2 m de altura del suelo [m.s^{-1}],

e_s : presión de vapor de saturación [kPa],

e_a : presión de vapor [kPa],

$e_s - e_a$: déficit de presión de vapor de saturación [kPa],

Δ : pendiente de la curva de saturación del vapor de agua, calculada a la temperatura T del aire [$\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$],

γ : constante psicrométrica [$\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$].

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó así mismo mediante el procedimiento propuesto por el documento FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) utilizando la Ecuación 4.4.

$$ET_c = ET_o K_c \quad (4.4)$$

donde:

ET_c : evapotranspiración del cultivo [mm.día^{-1}],

ET_o : evapotranspiración de referencia por el método FAO-56 [mm.día^{-1}],

K_c : coeficiente de cultivo de papa, tabulado en el documento FAO-56 (Allen *et al.*, 1998).

4.3.2. Muestreo y análisis de suelo y agua de riego

Con la finalidad de conocer el nivel de fertilidad de la parcela en estudio, se practicó un muestreo compuesto para realizar un análisis de rutina, a una profundidad de 30 cm.

Igualmente se evaluó la calidad del agua para riego, fueron determinados algunos parámetros fisicoquímicos del agua tales como: conductividad eléctrica, salinidad, dureza, nitratos y nitritos, sulfatos y pH.

4.4. MATERIAL VEGETAL Y SIEMBRA

Fueron sembrados tubérculos de la variedad Andinita provistos de grelos fuertes y uniformes, la calidad genética de la semilla corresponde a semilla certificada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-Trujillo), proveniente de la finca semillerista Los Pantanos en el páramo de Ortíz, estado Trujillo.

La preparación del terreno consistió en dos pases cruzados de arado y el surcado con yunta de bueyes (Figura 4.3).

Los tubérculos se sembraron a mano con distanciamiento entre hileras de 0,6 m y entre plantas de 0,3 m, para una densidad de aproximadamente 55.555 plantas.ha⁻¹.



Figura 4.3 Preparación del terreno para la siembra.

4.5. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

Fueron utilizados materiales necesarios para el desarrollo de la investigación tales como: mira, jalones, bidones, palas, picos, baldes, cintas métricas, camisas de cilindros de motor diesel para muestras de suelo no disturbado, tamices, probetas, libreta para registro de datos, entre otros.

Los equipos empleados fueron: vehículo rustico, manómetros, tensiómetros de cápsula porosa (Apéndice C), estaciones microclimáticas automáticas marca Davis modelo Vantage Pro2™ (Apéndice D), cronómetros, calculadora, balanzas, estufas eléctricas, entre otros.

De igual modo fue necesario emplear paquetes de software como Windows®, Word® 2003, Excel® 2003, para el procesamiento de texto y hojas de cálculo.

Para el análisis estadístico se empleó el paquete SAS® ver 9.0. Con respecto a la obtención de la curva parcial de retención de humedad del suelo, se utilizó el paquete RETC® ver 6.0.

El manejo de los datos de variables meteorológicas se realizó por intermedio del software WATHERLINK® ver 5.7.1. Los cálculos de la ETo y ETc fueron posibles utilizando el software REF-ET® ver 3.0.

Los cálculos hidráulicos del sistema de riego por goteo fue hecho mediante el paquete RiegoLoc2002®.

4.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS

Con el propósito de lograr un mejor control sobre los factores en estudio y asegurar una operación sencilla del sistema, se escogió un diseño experimental en parcelas divididas con arreglo factorial y dispuesto al azar. Se evaluaron dos factores tales como: tensiones de humedad del suelo (factor a) y niveles de fertilización (factor b), la parcela principal fue destinada a evaluar el efecto de las tensiones y la parcela secundaria a los distintos niveles de fertilización química.

El modelo matemático que rige este diseño se muestra en la Ecuación 4.5.

El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + (\alpha\rho)_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, r \\ k = 1, 2, \dots, b \end{array} \right. \quad (4.5)$$

siendo:

Y_{ijk} = Variable respuesta medida en la ijk -ésima unidad experimental
 μ = Media general de la variable
 α_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor a (tensión de humedad del suelo)
 β_j = Efecto del j -ésima réplica r
 $(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor a con la j -ésima réplica r , que es utilizado como residuo de las parcelas principales y es representado por $\text{error}_{(a)}$.
 ρ_k = Efecto del k -ésimo nivel del factor b (fertilización)
 $(\alpha\rho)_{ik}$ = Efecto debido a la interacción del i -ésimo nivel del factor a con k -ésimo nivel del factor b .
 ε_{ijk} = Error experimental asociado a Y_{ijk} , es utilizado como residuo a nivel de parcela secundaria, y es definido como $\text{Error}_{(b)}$.

Hipótesis a corroborar:

Ho: $\mu_{i..} = \dots = \mu_{a...}$, contra

Ho: $\mu_{i.k} - \mu_{i..} - \mu_{..k} + \mu = 0$ contra

Ha: por lo menos $\mu_{i..} \neq \mu_{i'}$ para $i \neq i'$

Ha: $\mu_{i.k} - \mu_{i..} - \mu_{..k} + \mu \neq 0$ para algún i y k .

Se propone someter a contraste la hipótesis de que existe al menos un valor de tensión de humedad del suelo y un nivel de fertilización química con N-P-K, que maximiza el rendimiento agronómico y la calidad postcosecha de los tubérculos de papa variedad Andinita.

Posteriormente los resultados de las variables consideradas, más adelante enumeradas, fueron procesados estadísticamente empleando el paquete estadístico SAS[®] versión 9 (2002) y los datos se sometieron a pruebas que garantizan el cumplimiento de los supuestos de normalidad, aditividad, independencia de errores y homogeneidad de varianza. Cuando era procedente, la diferencia entre medias fue corroborada por intermedio de la prueba de rango múltiple de Duncan.

Las parcelas principales tenían dimensiones de 30 m de largo por 10 m de ancho para un área total de 300 m² cada una, y las parcelas secundarias 10 m de largo y 10 m de ancho para 100 m². El área total del ensayo fue de 900 m².

La subparcela constó de 18 hileras con 30 plantas cada una, se destinaron 4 hileras para bordura 2 a cada lado de la subparcela; así mismo las primeras 4 plantas, 2 a cada extremo del pasillo fueron destinadas a compensar el efecto de borde. El área efectiva de cada subparcela era de aproximadamente 50 m².

En la Figura 4.4 se presenta la distribución de las parcelas principales, las subparcelas y el croquis general del ensayo en campo.

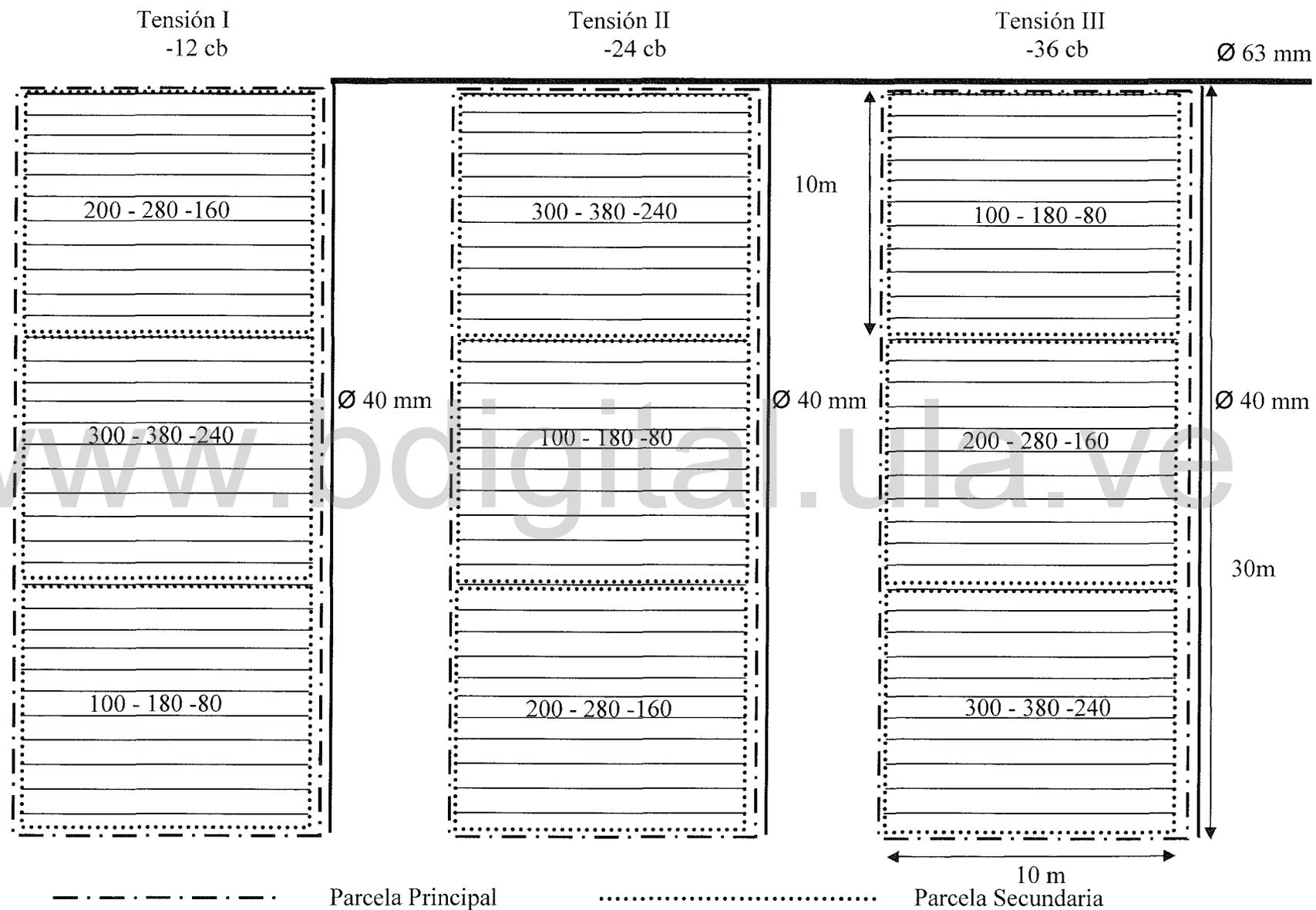


Figura 4.4 Esquema de la distribución en el campo de las parcelas principales y secundarias del ensayo.

4.7. MANEJO Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

4.7.1. Tratamientos de tensión

Los tratamientos de tensión de humedad en el suelo se fijaron en los niveles de: -12, -24 y -36 cb, esta selección estuvo basada en la revisión de literatura realizada, considerándose como niveles de alta, media y baja humedad respectivamente (Ekanayake, 1994; Soboh *et al.*, 2000; Vos y Haverkort, 2007).

4.7.2. Programación del riego

La programación del riego se realizó utilizando el potencial mátrico del suelo, el cual es un método preciso para el cálculo adecuado de la lámina de reposición y el tiempo de riego. El control del potencial hídrico del suelo (ψ) fue realizado por medio de tensiómetros de cápsula porosa marca Irrrometer® y Soil moisture® (Figura 4.5) en los cuales se comprobó su lectura cada dos días y antes del riego.

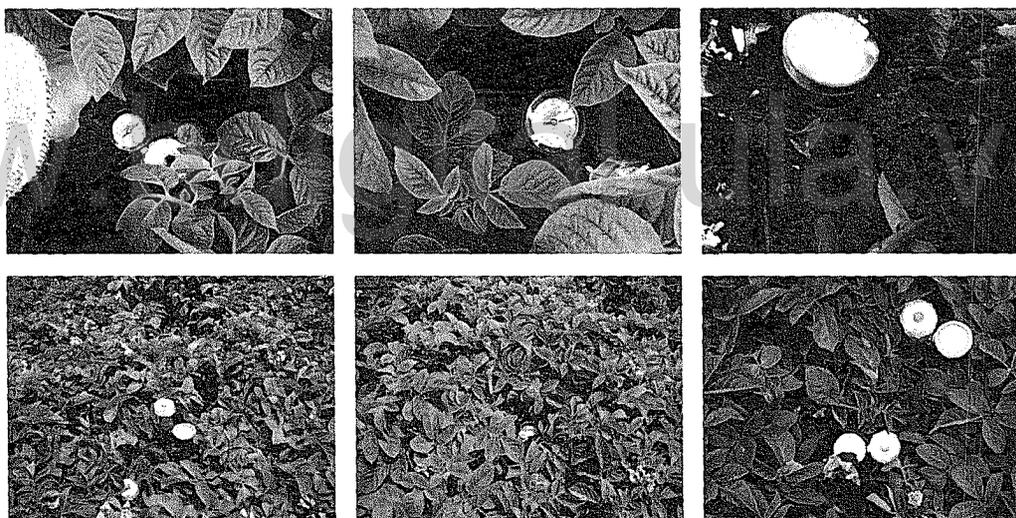


Figura 4.5 Vistas de los conjuntos de tensiómetros para el control de la tensión de humedad del suelo.

Debido a que la papa es una planta con un sistema radicular superficial, se consideró la profundidad efectiva de 30 cm.

Las lecturas de la tensión de humedad del suelo fueron registradas en conjuntos de dos tensiómetros en cada parcela principal, la profundidad de instalación fue de 20 y 30 cm.

El tensiómetro superficial (a 20 cm de profundidad) fue utilizado como indicador del humedecimiento por lluvia y necesidad de riego; la lectura del tensiómetro más profundo (a

30 cm) se usó para determinar la cantidad de agua a aplicar, además la comprobación posterior al riego de su lectura, sirvió para constatar que el agua alcanzó la mayor parte del sistema radicular.

4.7.3. Cálculo de la lámina de reposición

Los valores del ψ se registraron y se relacionaron con el contenido de humedad del suelo mediante Curva Parcial de Retención de Humedad del Suelo (CPRHS).

La determinación de la CPRHS se realizó siguiendo la metodología propuesta por Retzlaff y South (1985) con algunas modificaciones. Esta técnica se basa en el cálculo de la humedad del suelo por gravimetría y su relación con la tensión de humedad del suelo medida con tensiómetro de capsula porosa, el suelo disturbado es colocado en un recipiente de plástico de 3,8 l de capacidad.

El recipiente lleno de suelo es sometido a saturación y la pérdida de humedad se registra en una balanza de precisión, en cada pesaje se registra la tensión marcada en el tensiómetro, con estos datos se construye la CPRHS.

La técnica utilizada en este estudio fue adaptada de la siguiente manera: se utilizaron muestras de suelo no disturbado, tomadas con cilindros de acero de diámetro de 11,3 y 22 cm y altura de 25 y 35 cm, una secuencia del procedimiento de campo se muestra en la Figura 4.6.

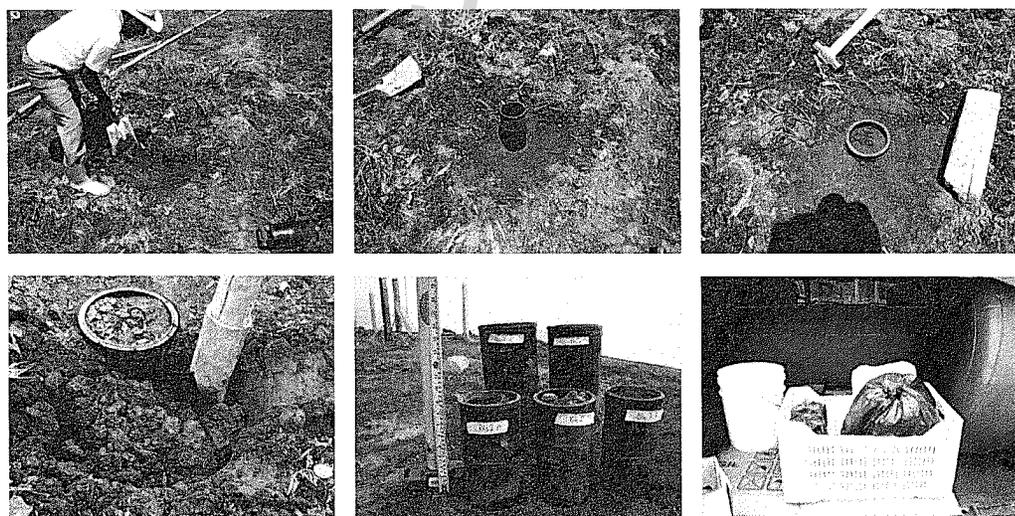


Figura 4.6 Muestreo en el campo para la determinación de la curva parcial de retención de humedad del suelo.

Posteriormente en el laboratorio, los cilindros llenos de suelo no disturbado se sometieron a saturación durante 72 horas, y por medio de un tensiómetro se registraron las

variaciones de tensión hasta aproximadamente -80 cb, la pérdida de humedad se calculó con la ayuda de una balanza electrónica con precisión de 0,005 kg.

Los tensiómetros fueron fijados en el centro del cilindro con suelo saturado; la instalación y operación fue conducida de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Se intrudujeron procurando que la copa porosa quedara a 15 cm de profundidad en el suelo. Estas actividades son mostradas en la Figura 4.7.

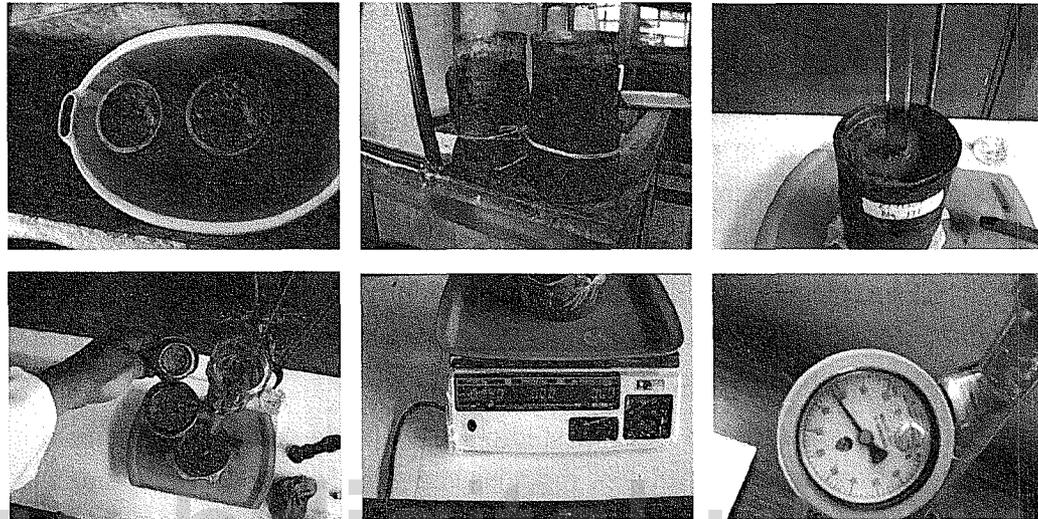


Figura 4.7 Procedimiento de laboratorio para la determinación de la curva parcial de retención de humedad del suelo.

Seis muestras de suelo no disturbado fueron colectadas y determinadas sus propiedades físicas (textura, densidad aparente y granulometría) en el laboratorio de Ensayos y Materiales del Núcleo Universitario “Rafael Rangel” de la Universidad de Los Andes en Trujillo.

La Curva Parcial de Retención de Humedad del Suelo (CPRHS) se calculó con los registros del contenido de humedad del suelo, utilizando en el modelo de van Genuchten Ecuación (4.6) (van Genuchten, 1980). Para la optimización de los parámetros θ_r , α , n con θ_s como valor constante se utilizó el software RETC[®] versión 6 (van Genuchten *et al.*, 1998).

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta} = \frac{1}{[1 + (\alpha|h|)^n]^m} \quad (4.6)$$

Donde:

θ es el contenido volumétrico de humedad del suelo ($m^3 m^{-3}$)

θ_s y θ_r son el contenido de humedad a saturación y residual respectivamente

h es el potencial matricial en valor absoluto (cb)

n y m son parámetros de empíricos de ajuste, m es generalmente $1 - \frac{1}{n}$, (adimensional)

α es un parámetro empírico de ajuste (cb^{-1}).

Se utilizó un ajuste por regresión para estimar el contenido de humedad del suelo entre la lectura actual en el tensiómetro y el nivel de tensión fijado como tratamiento y de esta forma calcular la lámina neta mediante la Ecuación 4.7.

$$dn = \left[\left(\frac{\theta_1}{Da} \right) - \left(\frac{\theta_2}{Da} \right) \right] Zr \quad (4.7)$$

Donde:

dn es la lámina neta (m)

θ_1 y θ_2 son el contenido de humedad fijado como tratamiento y medido respectivamente ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)

Da es la densidad aparente ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Zr es la profundidad radicular (m).

El tiempo de riego fue calculado mediante la Ecuación 4.8 a partir del área establecida en el marco de plantación 0,6 m x 0,3 m ($0,18 \text{ m}^2$) resultando un número de plantas de 5,56 plantas m^{-2} y de emisores de 5,56 $e \cdot \text{m}^{-2}$ o lo que es lo mismo 1 $e \cdot \text{planta}^{-1}$.

$$tr = \frac{A db}{qa} \quad (4.8)$$

Donde:

tr es el tiempo de riego (h)

A es el área de influencia del emisor (m^2)

db es la lámina bruta (m)

qa es el caudal del emisor ($\text{m}^3 \cdot \text{h}$).

4.8. APLICACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN

Los tratamientos de fertilización química se ajustaron de acuerdo a los resultados de los análisis del suelo en estudio y procurando, siempre que la formulación fuese físicamente posible, proveer niveles de nitrógeno cercanos a 100, 200 y 300, de fósforo de 180, 280 y 380 y de potasio de 80, 160 y 240 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente. Los resultados del análisis de laboratorio se presenta en el Apéndice F.

Las fuentes de fertilizantes fueron 12-12-17/2 SP, 11-52-0, 0-46-0, 0-0-60 y Urea (46,4% N). Los tratamientos de fertilización quedaron configurados como sigue: 100-180-80, 200-280-160 y 300-380-240.

La fertilización se realizó con mezcla preparada en presentación granular para facilitar la dosificación de la misma, dado que resultó muy costoso y no práctico la instalación de unidades individuales para el fertiriego y el control de las dosis para cada tratamiento; además es práctica común en todos los andes venezolanos aplicar el fertilizante en dos ocasiones, al momento de la siembra y durante el aporque.

El fertilizante químico granulado fue colocado en el fondo del surco y fraccionado de la siguiente manera: $\frac{1}{3}$ del nitrógeno a la siembra y $\frac{2}{3}$ al aporque, todo el fósforo a la siembra y para el potasio $\frac{1}{2}$ a la siembra y $\frac{1}{2}$ al aporque.

La Figura 4.8 muestra las actividades de dosificación de fertilizantes y la siembra del ensayo. La Tabla 4.5 presenta las distintas dosis de fertilizantes granulados para cada uno de los tratamientos así como la oportunidad de aplicación.



Figura 4.8 Pesaje de las fórmulas fertilizantes y siembra del ensayo (Sr. Justo Moreno y sus ayudantes).

Tabla 4.5 Dosis de fertilizantes para cada uno de los tratamientos, así como oportunidad de aplicación.

Tratamiento	Fuente	kg.ha ⁻¹	kg.300m ⁻²	Siembra kg	Aporque kg
100-180-80	12-12-17/2	200	6	4	2
	11-52-0	300	9	9	
	0-0-60	77	2,3	1,2	1,1
	urea	93	2,8	1	1,8
200-280-160	12-12-17/2	600	18	8	10
	11-52-0	400	12	12	
	0-0-60	97	2,9	1,5	1,4
	urea	181	5,4	1,8	3,6
300-380-240	12-12-17/2	300	9	6	3
	11-52-0	700	21	21	
	0-0-60	343	10,3	5,1	5,2
	urea	430	12,9	4,3	8,6

4.9. VARIABLES A EVALUAR

4.9.1. Variables agronómicas

Durante cuatro evaluaciones, a los 46, 61, 91, 128 días después de la siembra (dds), se registraron efectos sobre variables agronómicas del cultivo.

Se evaluó la altura de la planta, el número de hojas y número de tallos por planta; se determinó el peso fresco y seco de la biomasa aérea para calcular el porcentaje de materia seca los 128 dds.

Sólo la medida de la altura de planta se realizó en campo, las demás determinaciones se realizaron en laboratorio lo que se considera un muestreo destructivo.

A la cosecha se registraron los componentes del rendimiento: peso promedio de tubérculos comerciales, no comerciales y el peso promedio de todos los tubérculos, el rendimiento comercial y no comercial y el rendimiento total.

- **Determinaciones de las variables agronómicas**

Altura de planta: en cada evaluación se seleccionaron al azar y sobre el hilo central cinco plantas de cada tratamiento, estas plantas fueron medidas desde la base del tallo hasta el ápice con cinta métrica, la altura fue expresada en cm.

Número de hojas: utilizando las mismas plantas seleccionadas para la determinación anterior, se contó el número de hojas. No se consideró al conjunto de folíolos que forman pues se considera una hoja compuesta.

Número de tallos: los tallos fueron contados en las mismas cinco escogidas al azar de las determinaciones anteriores, se contaron los tallos principales, perfectamente observables una vez retiradas las hojas.

Follaje: el material vegetal seccionado fue llevado a la balanza para la determinación del peso fresco y seco y se expresó en g.m^{-2} . Esta biomasa aérea se utilizó para calcular el porcentaje de materia seca (MS) para la evaluación a los 128 dds.

Para esta determinación sólo se utilizaron de tres plantas de cada subparcela, se pesaron (peso fresco) y posteriormente fueron introducidas en la estufa con ventilación forzada a 75 °C hasta llegar a peso constante (peso seco), los resultados fueron calculados mediante la Ecuación 4.9 (AOAC, 1984). En la Figura 4.9 se muestra este procedimiento.

$$MS = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} 100 \quad (4.9)$$

Rendimiento: A la cosecha se registró el peso promedio de tubérculos comerciales, no comerciales y el peso promedio de todos los tubérculos (g).

El rendimiento comercial y no comercial expresado en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y el rendimiento total en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ obtenido por extrapolación del rendimiento de área del hilo de siembra (0,6 m x 10,0 m).

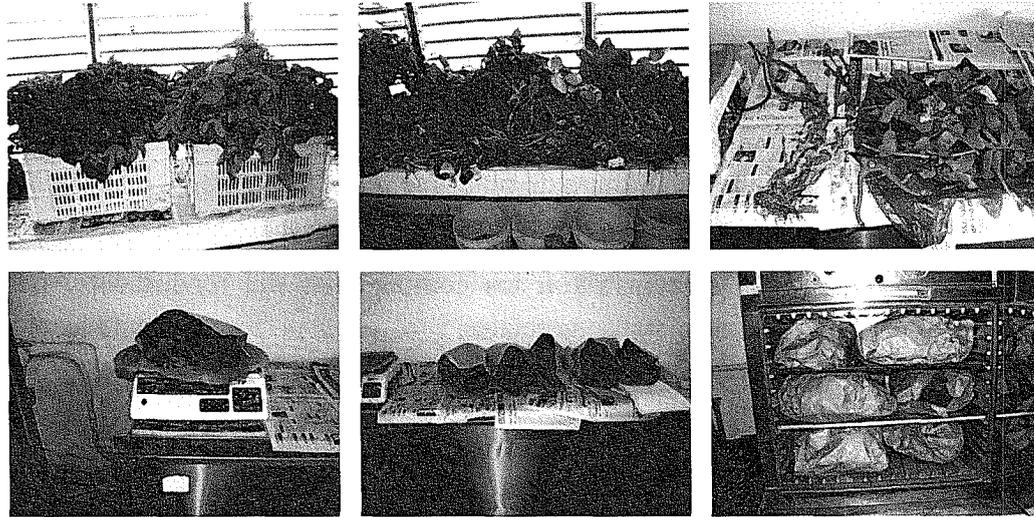


Figura 4.9 Tratamiento de las muestras para la determinación de algunas variables agronómicas.

4.9.2. Variables de calidad consideradas

Al momento de la cosecha y al culminar el almacenamiento, se evaluaron efectos de los tratamientos sobre los atributos de calidad, tales como gravedad específica (GE), firmeza (F), materia seca (MS), pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y azúcares reductores (AR).

El almacenamiento de los tubérculos se llevó a cabo en cuarto frío a ventilación forzada, con condiciones de temperatura de $5^{\circ}\text{C} (\pm 1^{\circ}\text{C})$ y humedad relativa entre 90-95%.

Los tubérculos comerciales fueron seleccionados sobre la base de uniformidad de tamaño, forma, ausencia de daños físicos y/o por patógenos, se lavaron y colocaron en mallas plásticas en lotes de aproximadamente 1 kg por triplicado, luego se acomodaron dentro de cestas plásticas ventiladas individualizando los obtenidos de cada tratamiento. El almacenamiento refrigerado duró 12 semanas.

- **Determinaciones de las variables de calidad**

Gravedad específica: La GE se determinó en aproximadamente 1 kg de tubérculos colocados en malla plástica y se pesaron en una balanza electrónica.

Se tomó en primer término el valor del peso de los tubérculos en el aire, posteriormente se introdujo la malla de papa en un envase con agua limpia hasta el tope y se tomó el peso en el agua manteniendo la malla con las papas sumergidas totalmente, con un espejo de agua en la parte superior de estas, de acuerdo al método de Kleinkopt (Kleinkopt *et al.*, 1987) tal como se muestra en la Figura 4.10.



Figura 4.10 Determinación de la gravedad específica en tubérculos comerciales de Andinita.

EL cálculo de la GE se realizó mediante la Ecuación 4.10

$$GE = \frac{P_{aire}}{P_{aire} - P_{agua}} \quad (4.10)$$

Firmeza: La firmeza se midió con el uso de un penetrómetro Fruit TestTM marca Wagner modelo FT-10 (5 kgf x 50 gf), se cuantificó la fuerza ejercida (kgf) sobre el ecuador de los tubérculos utilizando un pistón de 6 mm en un área efectiva de 28,27 mm².

Materia seca: El contenido de materia seca se determinó sobre muestras de 100 g de pulpa picada, se colocaron en bandejas de aluminio por triplicado y se introdujeron en una estufa a 75°C hasta alcanzar peso constante, el peso se tomó en una balanza Ohaus modelo Adventurer (d=0,01 max=2100 g) según AOAC (1984).

pH: Se midió en muestras de 50 g de pulpa triturada en 10 ml de agua destilada utilizando un potenciómetro calibrado con solución tampón de pH 4 y 7.

La lectura se realizó al momento en que no se observó variación del pH corrigiéndose por temperatura.

Sólidos solubles totales (°Brix): Los sólidos solubles totales (SST) se midieron en el sobrenadante de 10 g de pulpa centrifugada a 3000 rpm, por refractometría en un

refractómetro ABBE MARK II modelo 10495 NY, a temperatura de 22°C, los resultados se expresaron en °Brix.

La Figura 4.11 ilustra otras actividades de laboratorio para la determinación de parámetros de calidad.

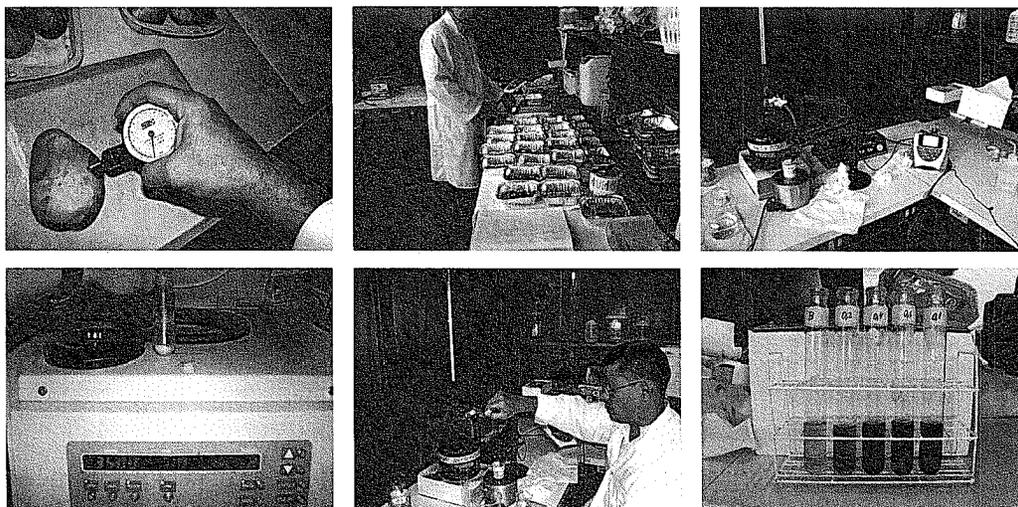


Figura 4.11 Determinación de parámetros de calidad de tubérculos comerciales de Andinita.

Acidez titulable: La acidez titulable se determinó tomando 10 g de la pulpa molida en 25 ml de agua destilada por titulación potenciométrica con NaOH 0,1 N, hasta alcanzar un pH de 8,1 (COVENIN, 1984).

Azúcares reductores: Los azúcares reductores se cuantificaron en la pulpa liofilizada de muestras representativas de los tubérculos correspondientes a cada tratamiento. Se tomaron triplicados de 100 mg de pulpa liofilizada, las muestras se sometieron a reflujo con una mezcla de etanol y agua (80:20) a 80°C durante 1 h.

Una vez obtenido el extracto alcohólico, este se enfrió y filtró al vacío con una membrana de 0,45 μm , se concentró en un rotavapor (40-60°C), se diluyó en agua destilada (25 ml), para luego medir los azúcares reductores mediante la técnica de Ting (1956), expresando el resultado en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ peso seco (ps).

4.10. SISTEMA DE RIEGO EMPLEADO

Fue utilizado un cabezal de riego por goteo modelo 201/2" con capacidad de entrega de $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Provisto de un filtro de anillas marca AZUD Modelo MIX A-25/M de 130 micrones, un inyector Venturi, además de un colector de arena en su parte baja con llave de

paso para el lavado como se presenta en la Figura 4.12. La ficha técnica del equipo se presenta en el Apéndice G.

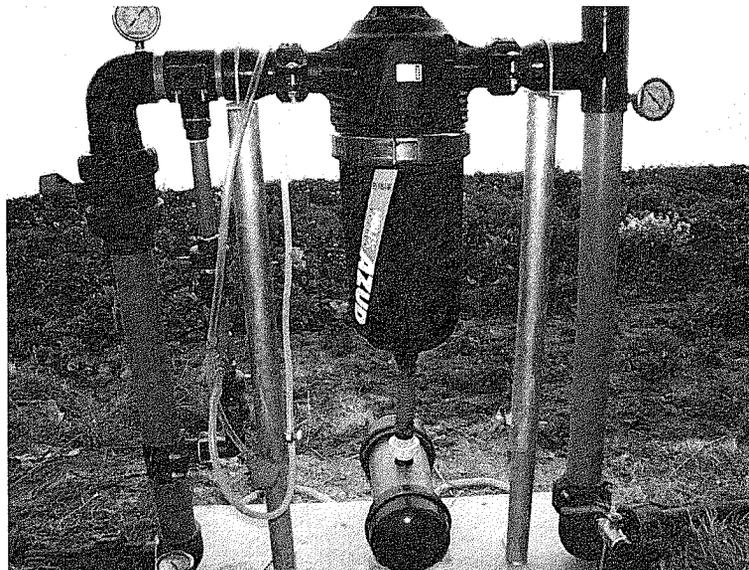


Figura 4.12 Cabezal de riego utilizado en el ensayo.

La tubería principal utilizada fue de PEAD de 63 mm y las secundarias para cada subparcela de un diámetro de 40 mm. El control de la aplicación individualizada del riego se realizó por intermedio de válvulas de paso.

La cinta de goteo seleccionada fue de marca Siberline P1 Ultra 22 mm 8 mil, con distanciamiento entre goteros de 0,3 m, de caudal nominal de $1,5 \text{ l.h}^{-1}$, para una presión de operación de 1 bar o 10,33 mca.

El coeficiente de variación proporcionado por el fabricante es $cv=0,025$ y la ecuación de descarga se presenta en la Ecuación 4.11; el caudal medio ajustado para el diseño resultó de $1,56 \text{ l.h}^{-1}$. La ficha técnica de la cinta de goteo es presentada en el Apéndice H.

$$q_{l.h^{-1}} = 1.489 h^{0,577}; (h = \text{bar}) \quad (4.11)$$

El diseño hidráulico de las unidades de riego fue realizado con la ayuda del software RiegoLoc2002[®] y las capturas de pantalla y salidas de este programa se muestran en el Apéndice I.

4.11. PRÁCTICAS AGRONÓMICAS REALIZADAS:

Las actividades destinadas al control de malezas, plagas y enfermedades, se realizaron de acuerdo a recomendaciones mínimas de productos químicos indicados en el paquete tecnológico para la zona. El aporque fue efectuado a los 45 días después de la emergencia y el corte de follaje para la cosecha, al presentarse síntomas de madurez fisiológica en el cultivo, esto ocurrió a los 125 días después de la emergencia.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. INFORMACIÓN BÁSICA

En la Tabla 5.1 se presentan los valores de las variables climatológicas recopilados con estación microclimatológica automática marca Davis modelo Vantage Pro2™ durante el desarrollo del ensayo:

Tabla 5.1 Valores máximos y mínimos de la temperatura, cantidad de precipitación ocurrida y valores promedios de humedad relativa, velocidad del viento y radiación durante el ciclo de cultivo (abril–septiembre 2009) en Cabimbú.

	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m s ⁻¹)	Radiación Solar (MJ m ⁻² día ⁻¹)
Abril	6,3	16,1	43,6	86,0	3,15	16,11
Mayo	7,1	17,7	94,2	81,2	3,33	17,87
Junio	7,8	19,3	74,8	82,4	3,17	18,37
Julio	7,2	18,2	76,6	72,7	3,28	17,81
Agosto	7,9	18,3	44,4	80,4	2,71	17,89
Septiembre	8,1	18,4	26,0	73,5	2,74	21,29
	7,4	18,0	359,6	79,4	3,06	18,22

La Tabla 5.1 muestra que las condiciones de los promedios mensuales de la temperatura máxima y mínima durante el período experimental fueron de 18,0°C y 7,4°C respectivamente; la precipitación acumulada fue de 359,6 mm, el promedio de la humedad relativa se ubicó en 79,4%, la velocidad media del viento fluctuó alrededor de 3,06 m.s⁻¹ y la radiación promedio resultó de 18,22 MJ.m⁻².día⁻¹.

Durante el período experimental se calculó los valores de la Pe, ETo y ETc, estas variables se presentan en forma decadal (10 días) en la Figura 5.1, se observa además un acumulado de 173 mm de Pe, una ETo de 393,2 mm y 315,7 mm para la ETc. Claramente se evidencia la necesidad de riego para lograr un buen desarrollo y la rentabilidad del cultivo.

Con respecto a las propiedades de los suelos, la parcela en cuestión presenta suelos franco arenosos, con valor medio de Nitrógeno de 0,18%; Fósforo 70 ppm, alto; Potasio 70 ppm, medio; Calcio 1040, medio; Magnesio 168 ppm, bajo. Niveles de pH de 5,2 y materia orgánica de 3,8, alto y sin problemas de salinidad 0,42 dS.m⁻¹ (1:2,5). La densidad aparente se ubica entre 1,49 Mg m⁻³ y 1,57 Mg m⁻³.

El agua para riego de la parcela, proviene de una laguna de aproximadamente 250 m³. Los parámetros físicos químicos encontrados fueron 10 °C de temperatura, pH de 8,1 conductividad eléctrica de 197 mS.cm⁻¹, dureza total de 70 mg de CaCO₃.l⁻¹, sulfato 12

mg.l⁻¹, cloruro 9 mg.l⁻¹, nitratos + nitritos 0,813 mg.l⁻¹ y fósforo total de 0,12 mg.l⁻¹. El agua es catalogada como de baja salinidad (USDA).

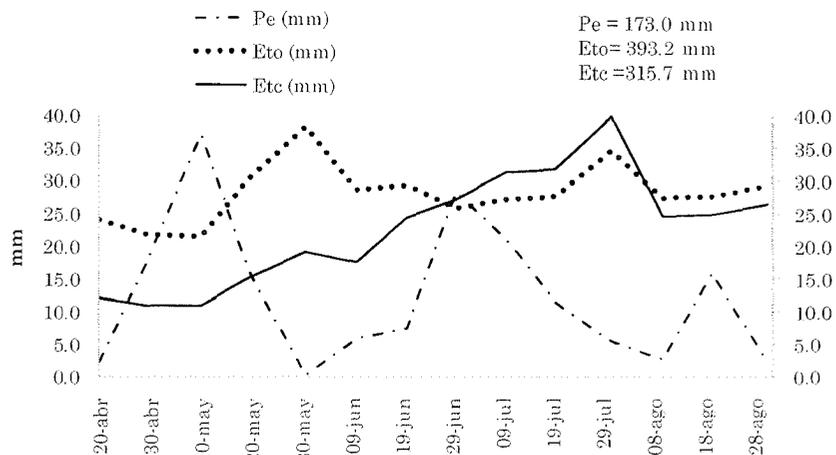


Figura 5.1 Comportamiento de la precipitación efectiva (Pe), la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) y la evapotranspiración del cultivo (Etc) en período decadal, durante el ciclo de cultivo en el Páramo de Cabimbú.

5.2. MANEJO Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

Las propiedades físicas de las muestras de suelo se presentan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Textura y otras propiedades físicas de las muestras de suelo tomadas en la parcela del ensayo.

Muestra	Profundidad (m)	Distribución granulométrica (% por peso)			Densidad Aparente ρ (Mg m ⁻³)	Textura
		Arena	Limo	Arcilla		
1	0-0,21	74	20	6	1,57	Franco Arenosa
2	0-0,20	72	22	6	1,53	Franco Arenosa
3	0-0,23	70	24	6	1,50	Franco Arenosa
4	0,21-0,40	65	27	8	1,54	Franco Arenosa
5	0,20-0,40	68	22	10	1,50	Franco Arenosa
6	0,23-0,40	66	24	10	1,49	Franco Arenosa

Con el uso del software RETC[®] versión 6 (van Genuchten et al., 1998) se optimizó los parámetros θ_r , α , n , con θ_s como valor constante proveniente de la medición a saturación, para obtener los puntos de las curvas parciales de retención de humedad del suelo.

La Tabla 5.3 muestra el resultado de la optimización de los parámetros de la ecuación de van Genuchten y la correspondiente tensión de humedad del suelo. Así mismo, la

Figura 5.2 presenta la Curva Parcial de Retención de Humedad del Suelo (CPRHS) correspondiente a los valores promedio para la parcela del ensayo. Se observa claramente el valor de ψ para capacidad de campo alrededor de -10 cb y el contenido de humedad de $0,445 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.

Tabla 5.3 Parámetros de la CPRHS, contenido de agua a saturación y residual relacionados con el potencial mátrico a capacidad de campo.

Muestra de Suelo	Parámetros de la ecuación van Genuchten				θ_m $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	θ_f $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	R^2	Potencial mátrico (kPa)
	θ_s $(\text{m}^3 \text{ m}^{-3})$	θ_r $(\text{m}^3 \text{ m}^{-3})$	α (kPa^{-1})	n				
1	0,4398	0,2877	0,00599	2,29609	0,4117	0,4118	0,9714	10
2	0,4432	0,2934	0,00436	2,43630	0,4266	0,4295	0,9612	11
3	0,4969	0,3251	0,00595	2,30124	0,4652	0,4719	0,9715	10
4	0,6069	0,2932	0,00950	2,12615	0,4926	0,5026	0,9727	11
5	0,5935	0,2727	0,00845	2,03718	0,5263	0,5365	0,9587	8
6	0,5897	0,2798	0,00934	2,04563	0,5246	0,5278	0,9664	8
				Media	0,4745	0,4800		
				Desv.	0,0487	0,0515		

θ_m : contenido de humedad volumétrico medido; θ_f : contenido de humedad volumétrico calculado; R^2 : coeficiente de determinación entre valores calculados y medidos.

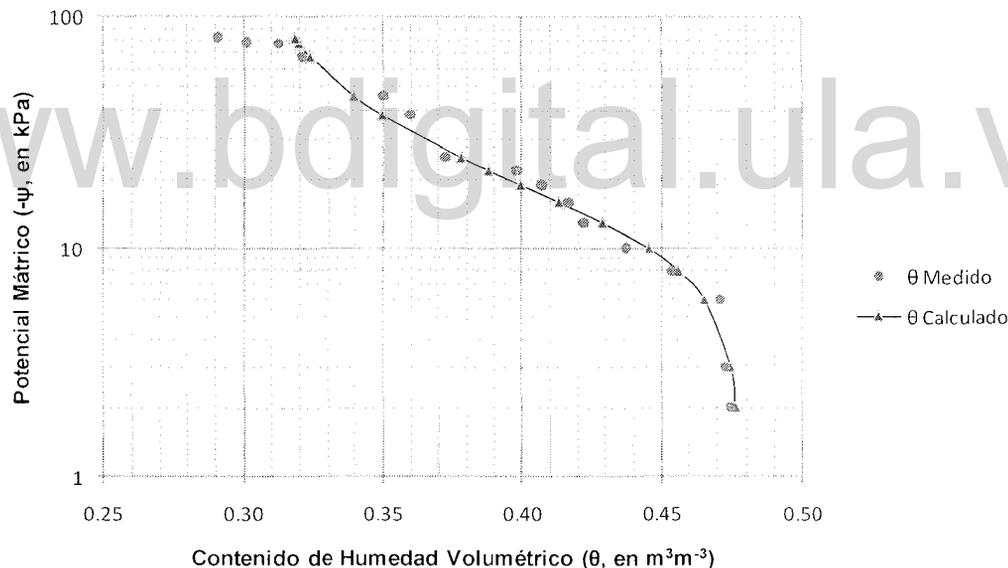


Figura 5.2 Curva parcial de retención de humedad para un suelo franco arenoso.

Para el cálculo de la lámina a reponer en cada riego, se utilizó un modelo polinomial de grado 4, y de esta forma estimar el contenido de humedad del suelo entre la lectura actual en el tensiómetro y el nivel de tensión fijado como tratamiento, el modelo utilizado fue el siguiente:

$$\theta = -0,0000000069 \psi_m^4 + 0,0000007852 \psi_m^3 + 0,0000210813 \psi_m^2 - 0,0053568417 \psi_m + 0,4922688123$$

$$R^2 = 0,9973008115$$

De esta forma el cálculo de la lámina bruta a aplicar quedó definida por la diferencia entre la lectura al momento de la evaluación y el nivel de tratamiento fijado, así por ejemplo si al realizar la lectura, esta fue de -20 cb y la parcela corresponde al nivel de tensión de -12 cb, entonces los contenidos correspondientes de humedad son:

	Ψ		Ψ		Ψ		Ψ		θ (m ³ m ⁻³)
-0,0000000069	12 ^d	0,0000007852	12 ^s	0,0000210813	12 ²	-0,0053568417	12	0,492268812	0,4322
-0,0000000069	20 ^d	0,0000007852	20 ^s	0,0000210813	20 ²	-0,0053568417	20	0,492268812	0,3987

Teniendo el valor medio de la densidad aparente de la parcela, de 1,55 Mg.m⁻³, eficiencia del riego de 95%, y considerando la profundidad radicular del estado fenológico del cultivo de 0,30 m, se calculó la lámina neta utilizando la Ecuación 4.6.

El manejo del riego para el ejemplo planteado se presenta en la Tabla 5.4; en el Apéndice C se presenta la planificación total del riego.

Tabla 5.4 Manejo del riego por tensiometría en una parcela del ensayo correspondiente al nivel de tensión de -12cb.

Ψ (cb)	(θ) m ³ m ⁻³	Hum (%)	db (mm)	t_r (min)
12	0,4322	27,89	0,00	0
13	0,4277	27,59	0,92	7
14	0,4233	27,31	1,82	13
15	0,4190	27,03	2,70	19
16	0,4147	26,76	3,57	26
17	0,4106	26,49	4,41	32
18	0,4065	26,23	5,24	38
19	0,4026	25,97	6,04	43
20	0,3987	25,73	6,82	49

En la Figura 5.3 se representa gráficamente el comportamiento del potencial mátrico y los eventos de riego, para cada tratamiento de tensión durante la fase experimental.

Azuaje (2006) en un experimento de manejo del riego por goteo en papa, donde se determinaron las láminas por evaporación en la tina clase A, encontró que la demanda del cultivo fue de 260 mm, en la zona del páramo de Mucuchíes, estado Mérida; los resultados aquí presentados no difieren mucho a los reportados por este autor ya que los valores de requerimiento de agua del cultivo fueron 212,6 mm para el tratamiento a -12 cb, 297,3 mm para el nivel de -24 cb y cuando fue sometido a tensión de -36 cb fue de 297,9 mm.

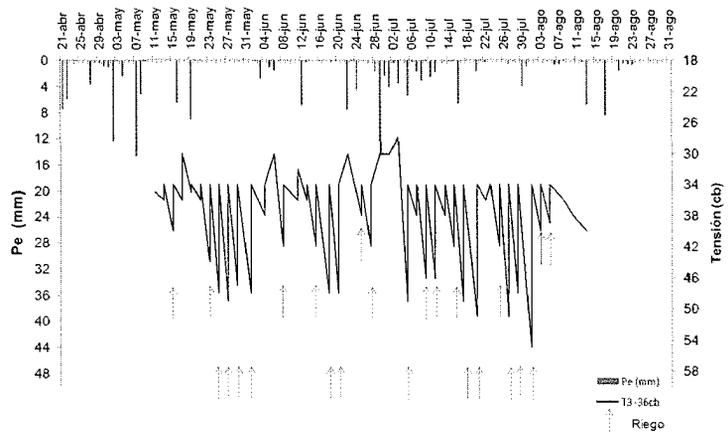
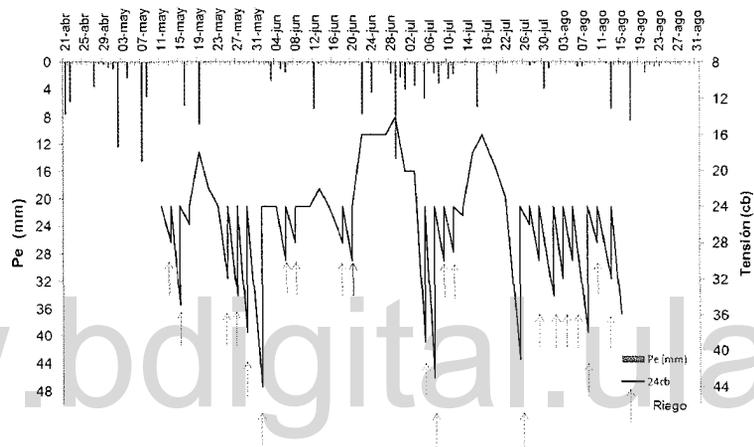
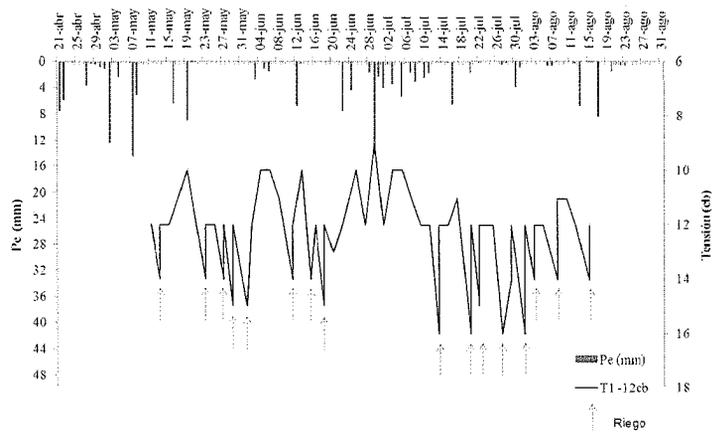


Figura 5.3 Representación gráfica del potencial mátrico para cada nivel establecido de tensión de humedad del suelo durante el ensayo de campo.

La cantidad de agua aplicada para cada tratamiento de tensión de humedad del suelo, así como el número de riegos durante el ensayo se presentan en la Tabla 5.5.

Mayor detalle de las mediciones del potencial, así como las láminas de reposición en cada tratamiento se muestran en el Apéndice J.

Tabla 5.5 Manejo del riego de acuerdo al potencial hídrico del suelo, número de riegos, cantidad de riego aplicado y disponibilidad total de agua para papa Andinita en el Páramo de Cabimbú.

Tratamientos	ψ_m	θ ($m^3 \cdot m^{-3}$)	Agotamiento (mm)	Número de riegos	Riego (R) (mm)	Pe (mm)	R+Pe (mm)
Tensión 1	-12 cb	0,4322	6,1	16	39,6		212,6
Tensión 2	-24 cb	0,3844	37,3	22	124,3	173,0	297,3
Tensión 3	-36 cb	0,3518	58,6	25	84,9		257,9

El tratamiento a -12 cb resultó el de menor demanda de riego con 39,6 mm, así mismo se observa que la lámina total de reposición a -24 cb fue de 124,3 mm y a -36 cb fue de 84,9 mm.

Para el caso de la tensión a -12 cb, la precipitación contribuyó a mantener la humedad del suelo, se observó igualmente que el dosel del cultivo cubrió totalmente el suelo por lo que se redujo la evaporación correspondiente a suelo desnudo. Sólo fueron necesarios 16 riegos durante el ciclo de cultivo a este nivel de tensión de humedad del suelo.

En el tratamiento de tensión de humedad del suelo a -24 cb se realizaron 22 riegos y a la tensión de -36 cb 25 riegos. Se observa en la Tabla 5.2 que fue necesario una mayor lámina de reposición a -24 cb que a -36 cb, con 124,3 y 84,9 mm respectivamente.

Esto puede explicarse si compara la lámina de reposición en los tratamientos -24 cb y -36 cb; si en el primer caso (-24 cb) se registra una lectura -30 cb para llevarlo al nivel establecido de -24 cb (diferencia de -6 cb) serán necesarios 3,82 mm, este resultado se obtiene de la aplicación del modelo de regresión utilizado (Apéndice F). Esta misma diferencia de -6 cb en el tratamiento de -36 cb, es decir, de -42 cb a -36 cb, demanda una lámina de reposición de 2,25 mm. Si bien es mayor el número de riegos, la lámina suministrada fue menor comparando estos dos tratamientos.

5.2. EFECTO SOBRE VARIABLES AGRONÓMICAS

5.2.1. Altura de planta

En la Tabla 5.6 se presenta el análisis de varianza para las variables agronómicas relacionadas con el desarrollo del cultivo. Los datos originales de esta variable, así como de número de hojas y tallos, se encuentran en el Apéndice K.

Para la altura de planta se evidencia que existe efecto significativo en relación al nivel de fertilización y de tensión de humedad del suelo (efectos simples).

Así mismo el efecto cruzado tensión x fertilización resultó significativo, demostrando que el desarrollo de la planta se debe en gran medida al nivel de humedad en el suelo y la consecuente disponibilidad de nutrientes, en otras palabras, que el efecto de dosis de fertilizante sobre la altura de planta depende de los diferentes niveles de humedad del suelo o viceversa.

Tabla 5.6 Análisis de varianza para las variables altura de planta, número de hojas y número de tallos en papa Andinita, sometida a diferentes tensiones de humedad del suelo y fertilización química durante el desarrollo del cultivo.

		Altura de planta (cm)							
		46 dds		61 dds		91 dds		128 dds	
F.V.	gl	CM	p>F	CM	p>F	CM	p>F	CM	p>F
<i>P. Principal</i>									
Tensión (A)	2	36,82	0,0062**	262,67	<0,0001**	502,40	0,0004**	1259,02	0,0003**
Error 1	12	4,61		9,13		31,93		73,77	
<i>P. Secundaria</i>									
Fertilidad (B)	2	50,56	0,0012**	19,36	0,0472*	109,07	0,0128*	400,69	0,0057**
A*B	4	107,76	<0,0001**	244,42	<0,0001**	73,87	0,0205*	385,02	0,0014**
Error 2	24	5,58		5,57		20,77		61,97	
Total	44								
Número de hojas									
<i>P. Principal</i>									
Tensión (A)	2	295,49	<0,0001**	519,75	<0,0001**	193,49	0,9248NS	543,20	0,9473NS
Error 1	12	4,97		18,03		2457,89		9981,42	
<i>P. Secundaria</i>									
Fertilidad (B)	2	25,49	0,0268*	108,95	0,0008**	1782,15	0,3116NS	7474,20	0,2942NS
A*B	4	37,72	0,0014**	112,62	0,0667NS	696,89	0,7509NS	2933,00	0,7321NS
Error 2	24	6,03		11,12		1455,17		5803,21	
Total	44								
Número de tallos									
<i>P. Principal</i>									
Tensión (A)	2	0,20	0,7564NS	0,09	0,7489NS	0,09	0,7489NS	1,40	0,0381*
Error 1	12	0,70		0,03		0,03		0,32	
<i>P. Secundaria</i>									
Fertilidad (B)	2	0,07	0,8895NS	0,36	0,0629NS	1,08	0,0629NS	0,46	0,3333NS
A*B	4	0,57	0,4269NS	0,35	0,4190NS	0,35	0,4190NS	0,67	0,1959NS
Error 2	24	0,57		21,29		0,35		0,40	
Total	44								

F.V.: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrados medios; p>F: probabilidad de la prueba F.

* Significativo a $\alpha=0,05$; ** Significativo a $\alpha=0,01$; NS: No Significativo.

Evaluando más profundamente los efectos simples de esta variable y considerado que no es posible realizar la comparación de medias dada la significancia del efecto cruzado, se

observa que el factor tensión fue el que aportó mayores diferencias en la altura, resaltando la tensión a -36 cb con la menor altura de planta (Tabla 5.7).

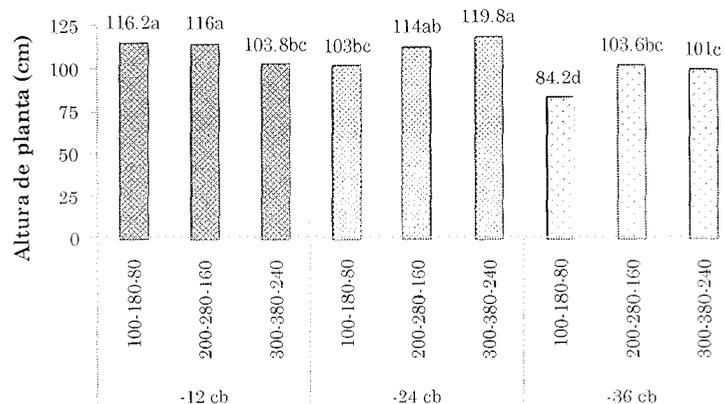
Tabla 5.7 Valores medios de efectos simples para las variables altura de planta, número de hojas y número de tallos en papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química a lo largo del desarrollo del cultivo.

	Altura de planta (cm)				Número de hojas				Número de tallos			
	dds				dds				dds			
	46	61	91	128	46	61	91	128	46	61	91	128
<i>Tensión</i>												
-12 cb	18,1	34,3	69,3	112,0	21,1	24,9a	87,5	152,1	3,4	2,4	2,7	2,6a
-24 cb	16,6	37,3	70,1	112,3	16,3	26,8a	93,0	164,1	3,2	2,9	2,9	2,4ab
-36 cb	15,0	29,1	59,7	96,3	12,2	15,8b	86,3	152,1	3,2	2,7	2,7	2,0b
<i>Fertilidad</i>												
100-180-80	14,8	34,3	63,3	101,1	16,9	24,0a	76,6	132,8	3,3	2,9	2,9	2,1
200-280-160	16,5	34,2	67,4	111,2	15,1	19,4b	92,8	168,6	3,2	2,5	2,5	2,5
300-380-240	18,5	32,3	68,3	108,2	17,6	24,1a	97,3	173,8	3,3	2,9	2,9	2,4

Medias de cada grupo de datos acompañadas de diferentes letras, difieren significativamente (Duncan a $p < 0,05$).

A este nivel de humedad del suelo las plantas alcanzaron alturas medias de 96,3 cm, en contraste con 112,0 cm para la tensión a -12 cb, y 112,3 cm para -24 cb a los 128 dds; por otro lado la fórmula fertilizante 200-280-160 fue la que proporcionó plantas con altura superior a las demás combinaciones con 111,2 cm.

Al revisar la comparación de medias del efecto cruzado, las combinaciones de fertilizante de 100-180-80 y 200-280-160 con tensión de humedad en el suelo de -12 cb, y las fórmulas 200-280-160 y 300-380-240 a nivel de humedad de -24 cb resultaron los tratamientos de mayor altura de planta con 116,2, 116,0 cm y 114,0 y 119,8 cm respectivamente, sin embargo todos arrojaron ser estadísticamente iguales entre sí, lo cual coloca a la combinación 100-180-80 y -12 cb como alternativa de uso de fertilizante y riego, pues produjo una buena condición de crecimiento y desarrollo de Andinita bajo las condiciones del experimento (Figura 5.4).



Medias de cada grupo de datos acompañadas de diferentes letras, difieren significativamente (Duncan a $p < 0,05$).

Figura 5.4 Prueba de medias para altura de planta efecto cruzado tensión x fertilidad de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química.

Esta pareciera una opción razonable de riego y fertilización, pero tiene el agravante del constante nivel de humedad del suelo y los consecuentes problemas fitosanitarios que esto conlleva, en observaciones de campo se constató alta incidencia de babosas (*Limax maximus*), para lo cual se aplicó Babotox[®] (Metaldehído) en 10 oportunidades.

En una experiencia anterior en la misma finca, se reportaron alturas de planta para Andinita cercanas a 50 cm, esto con niveles de fertilización de 100-120-60 y riego por aspersión cada 4 días dependiendo de la precipitación (Quintero *et al.*, 2009).

5.2.2. Número de hojas y tallos

En cuanto al número de hojas, a partir de los 91 dds momento en que se uniformizó totalmente el cultivo, no se encontró diferencia entre tratamientos (Tabla 5.6), es decir, todas las combinaciones de fertilización y niveles de humedad del suelo produjeron similar número de hojas.

Es posible que esta variable no represente en forma adecuada la variabilidad causada por los distintos tratamientos, ya que se trata del conteo del follaje, pudiendo obtenerse un número similar de estructuras pero diferentes en cuanto a tamaño o área foliar

Para el caso del número de tallos, fue a los 128 dds que se encontró diferencias entre las distintas tensiones (Tabla 5.6), resaltando las tensiones de -12 y -24 cb con medias de 2,9 y 2,5 tallos.planta⁻¹, siendo estos valores estadísticamente iguales; la situación experimental de mayor déficit hídrico (-36 cb) produjo 2,0 tallos.planta⁻¹ (Tabla 5.7).

Kumar *et al.* (2007) en una experiencia con diferentes niveles de aplicación de N en papas para consumo industrial, reportan que los parámetros de crecimiento altura de planta,

número de hojas y número de tallos respondieron positivamente a la fertilización con nitrógeno en dosis superiores a 180 kgN.ha⁻¹, sin embargo no encontraron diferencias significativas en el número de tallos.

Por su parte Zebarth *et al.* (2006) no encontraron efecto del aumento en la dosis de N sobre el número de tallos.

Yuan *et al.* (2003) al evaluar diferentes regímenes de riego por goteo en papa, reportan que la altura de planta, la biomasa y el contenido de agua en los órganos de la planta aumentaron con el nivel de riego.

5.2.3 Peso fresco, peso seco y materia seca de la biomasa aérea

La asimilación del fertilizante es el resultado de tres procesos, conocidos como absorción, traslocación e incorporación, y está directamente relacionada con el crecimiento vegetal y la producción de la materia seca.

A los 128 dds fue cuantificado el peso fresco, el peso seco y el porcentaje de materia seca de la biomasa aérea; el peso fresco y seco de la biomasa aérea (g.m⁻²) expresan eficientemente el desarrollo vegetativo por unidad de superficie. Los datos originales de estas variables se encuentran presentados en el Apéndice L.

En la Tabla 5.8, se muestra que el efecto cruzado tensión x fertilización para ambas variables resultó no significativo, demostrando efecto independiente de los factores involucrados en el estudio sobre el peso fresco y seco de la biomasa aérea.

Tabla 5.8 Análisis de varianza para las variables peso fresco, peso seco y porcentaje de materia seca de la biomasa aérea de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química a los 128 dds.

F V	gl	Peso fresco (g.m ⁻²)		Peso seco (g.m ⁻²)		Materia seca (%)	
		CM	p>F	CM	p>F	CM	p>F
<i>P. Principal</i>							
Tensión (A)	2	1111229	0,0139**	33659	0,0015**	7,61	0,1438NS
Error 1	12	115277,2		2061,39		2,11	
<i>P. Secundaria</i>							
Fertilidad (B)	2	916162	0,0803*	16734	0,0121**	0,09	0,9200NS
A*B	4	263826	0,5321NS	7360,28	0,0833NS	5,57	0,0047**
Error 2	24	326394		3137,39		1,12	
Total	44						

F.V: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrados medios; p>F: probabilidad de la prueba F.

* Significativo a $\alpha=0,05$; ** Significativo a $\alpha=0,01$; NS: No Significativo.

Al revisar el comportamiento del peso fresco de la biomasa aérea por unidad de superficie, se constata que tanto la tensión a -24 cb como la fórmula 200-280-160 alcanzaron los mayores valores de peso fresco con 1395,7 y 1104,6 g.m⁻² respectivamente (Tabla 5.9).

Del mismo modo se puede observar que la situación de bajo contenido de humedad del suelo (-36 cb) y el nivel de fertilización más bajo (100-180-80) proporcionaron los menores valores de peso fresco con 855,2 y 860,9 g.m⁻² respectivamente.

Para el caso del peso seco de la biomasa aérea, se constata una situación similar, siendo el tratamiento a -24 cb y 200-280-160 el que originó los mayores registros de peso seco con 177,4 y 165,8 g.m⁻² respectivamente (Tabla 5.9).

Tabla 5.9 Valores medios de efectos simples para las variables peso fresco, peso seco y porcentaje de materia seca de biomasa aérea de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química a los 128 dds.

	Peso fresco (g.m ⁻²)	Peso seco (g.m ⁻²)	Materia seca (%)
<i>Tensión</i>			
-12 cb	1069,8b	124,1b	11,7
-24 cb	1395,7a	177,4a	12,5
-36 cb	855,2b	83,0c	11,1
<i>Fertilidad</i>			
100-180-80	860,9b	101,9b	11,7
200-280-160	1104,6ab	165,8a	11,8
300-380-240	1355a	116,8b	11,8

Medias de cada grupo de datos acompañadas de diferentes letras, difieren significativamente (Duncan a p<0,05).

Con respecto al porcentaje de materia seca, se encontró que la interacción tensión x fertilización fue significativa reflejando esto que la combinación de los diferentes niveles de humedad en el suelo y de fertilización son determinantes en la expresión de ésta.

En la Figura 5.5, la prueba de Duncan muestra 3 grupos de medias, resaltando como la mejor combinación de los factores involucrados la tensión a -24 cb y la fórmula 300-380-240 con 13,8 %, y la de menor porcentaje con la tensión a -36 cb y la fórmula 300-380-240 con 10,6 %.

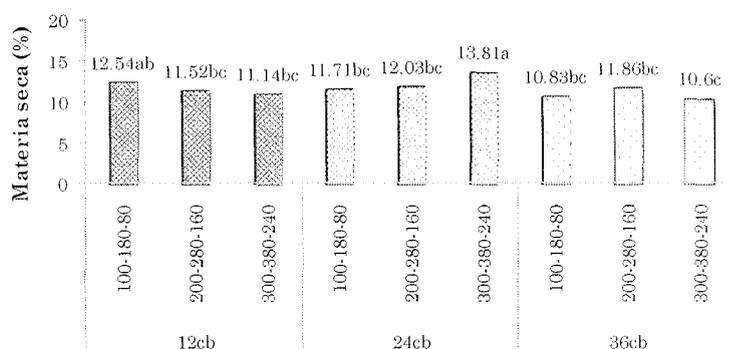
Se tienen reportes del aumento de la materia seca del follaje con el incremento de la dosis de nitrógeno (Zebarth *et al.*, 2006; Bélanger *et al.*, 2001).

5.2.4. Rendimiento comercial

El rendimiento de papa depende de varios factores entre ellos las condiciones ambientales, el suelo, la dosis y niveles de fertilizante, el requerimiento de agua del cultivo, las prácticas culturales, la variedad y la duración del ciclo. Dada esta complejidad de factores que intervienen, es difícil establecer una comparación directa entre los rendimientos obtenidos en esta investigación y referencias anteriores.

El componente comercial del rendimiento, es quizás el más importante para el productor a la hora de evaluar el resultado económico de una práctica como el riego por

goteo y la fertilización química del cultivo. Está conformado por el peso promedio de los tubérculos comerciales en g y el rendimiento comercial en kg.m^{-2} , para el rendimiento comercial fue realizada la extrapolación a t.ha^{-1} para comparaciones posteriores.



Medias de cada grupo de datos acompañadas de diferentes letras, difieren significativamente (Duncan a $p < 0,05$).

Figura 5.5 Prueba de medias para porcentaje de materia seca efecto cruzado tensión x fertilidad de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química a los 128 dds.

De la Tabla 5.10 se obtienen los resultados del análisis de varianza para estas variables; con respecto al peso promedio de los tubérculos comerciales, el mismo reveló diferencias significativas para el caso de niveles de fertilización y la interacción tensión x fertilización, en esta variable tiene mayor influencia la cantidad de nutrientes disponibles para la planta.

Los datos originales del rendimiento comercial, rendimiento no comercial y rendimiento total de tubérculos, están disponibles en el Apéndice M.

Tabla 5.10 Análisis de varianza para las variables peso comercial, no comercial y promedio, así como rendimiento comercial, no comercial y total de tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química.

F V	gl	Peso comercial (g)		Peso no comercial (g)		Peso promedio (g)	
		CM	p>F	CM	p>F	CM	p>F
<i>P. Principal</i>							
Tensión (A)	2	111,26	0,5758NS	79,67	0,0141*	213,53	0,0127*
Error 1	3	166,78		3,28		8,20	
<i>P. Secundaria</i>							
Fertilidad (B)	2	2094,23	0,0059**	450,47	0,0016**	121,83	0,3372NS
A*B	4	2424,12	0,0025**	180,48	0,0104*	301,80	0,0964NS
Error 2	6	153,98		20,03			
Total	17						continua..

F V	gl	Rendimiento comercial (kg.m ⁻²)		Rendimiento no comercial (kg.m ⁻²)		Rendimiento total (kg.ha ⁻¹)	
		CM	p>F	CM	p>F	CM	p>F
<i>P. Principal</i>							
Tensión (A)	2	0,81	0,0142*	0,17	0,0019**	24113055	0,0748NS
Error 1	3	0,03		0,00		3469197	
<i>P. Secundaria</i>							
Fertilidad (B)	2	1,07	0,0173*	0,22	0,0261*	33807809	0,2450NS
A*B	4	0,18	0,3251NS	0,11	0,0761NS	54167103	0,1198NS
Error 2	6	0,12		0,03		18841796	
Total	17						

F.V: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrados medios; p>F: probabilidad de la prueba F.

* Significativo a $\alpha=0,05$; ** Significativo a $\alpha=0,01$; NS: No Significativo.

Los resultados más resaltantes corresponden al rendimiento comercial por m²; en este componente se encontró que los factores involucrados tuvieron efecto significativo sobre esta variable, no así la interacción tensión x fertilización, es decir, para las condiciones del ensayo, no se encontró evidencia de que el nivel de tensión de humedad del suelo influyera sobre este componente del rendimiento, en la medida de que varía el nivel de fertilización.

Los valores promedios y las pruebas correspondientes para los efectos simples, en aquellas variables en donde la interacción tensión x fertilización resultó no significativa, se presentan en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Valores medios y pruebas de medias de efectos simples de cada componente del rendimiento de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química.

	Peso comercial (g)	Peso no comercial (g)	Peso promedio (g)	Rendimiento comercial (kg.m ⁻²)	Rendimiento no comercial (kg.m ⁻²)	Rendimiento Total (t.ha ⁻¹)
<i>Tensión</i>						
-12 cb	167,2	30,1	96,3a	3,31a	0,57c	38,83
-24 cb	160,4	27,9	85,2b	3,20a	0,66b	38,67
-36 cb	168,4	35,0	86,9b	2,63b	0,90a	35,28
<i>Fertilidad</i>						
100-180-80	185,2	38,8	93,8	2,65b	0,87a	35,14
200-280-160	162,8	32,5	89,6	3,01ab	0,76a	37,76
300-380-240	148,1	21,7	84,8	3,49a	0,50b	39,88

Los valores de peso promedio más altos de tubérculos comerciales se obtuvieron con los menores niveles de humedad y de fertilización, 168,4 g (-36 cb) y 185,2 g (100-180-80) respectivamente, es decir, el peso individual de cada tubérculo comercial fue mayor a la tensión de -36 cb y la fertilización con la fórmula 100-180-80, pero debido principalmente al poco número de tubérculos cosechados.

El mayor rendimiento comercial se obtuvo en las tensiones correspondientes a -12 cb (3,31 kg.m⁻²) y -24 cb (3,20 kg.m⁻²) o lo que es lo mismo 33,1 y 32,0 t.ha⁻¹ respectivamente, ambos estadísticamente iguales.

Las fórmulas 200-280-160 y 300-380-240 mostraron valores de 3,01 y 3,49 kg.m⁻² o 30,1 y 34,9 t.ha⁻¹ respectivamente, sin presentar diferencia estadística entre ellos (Tabla 5.11).

En la Figura 5.6, se puede observar el comportamiento del rendimiento comercial internamente en cada tratamiento de tensión de humedad de suelo, estos aumentan proporcionalmente al aumento de la fertilización.

La prueba de Duncan del efecto cruzado tensión x fertilización indica como la mejor condición de manejo del riego y fertilización a -24 cb y 300-380-240, con rendimiento comercial de 4,03 kg.m⁻² (40,3 t.ha⁻¹).

Sin embargo niveles medios de fertilización de 200-280-160 con valores de tensión de humedad del suelo de -24 cb, resultaron estadísticamente iguales a la combinación anterior, esto demuestra que es posible el ahorro de fertilizante, con el consecuente beneficio al ambiente, si es el rendimiento comercial por unidad de área utilizado como criterio de decisión.

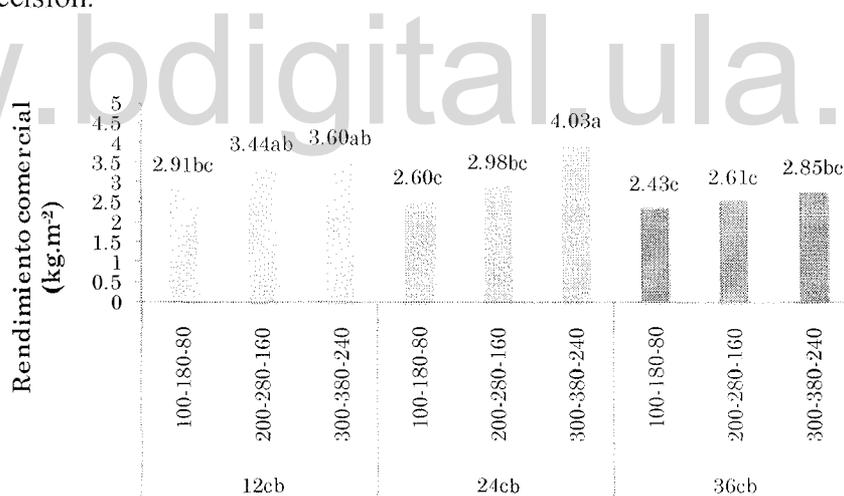


Figura 5.6 Prueba de medias para rendimiento comercial efecto cruzado tensión x fertilidad de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química.

Es pertinente acotar que en la clasificación de los componentes del rendimiento, intervienen criterios de selección que son condicionados por las exigencias del mercado destino de la producción. Existen temporadas en que el mercado es más exigente en el tamaño y uniformidad de tubérculos comerciales, así como otras en que se presenta escasez

de semilla, entonces tubérculos que son catalogados como comerciales son destinados al almacenamiento para su posterior siembra.

5.2.5. Rendimiento no comercial

Se refiere al peso promedio de los tubérculos no comerciales y el rendimiento no comercial por m^2 , a este componente se le clasifica regularmente en semilla y pasilla.

En lo que concierne al peso medio de tubérculos no comerciales, se encontró que los efectos simples así como la interacción tensión x fertilización fue significativa (Tabla 5.10).

En la Tabla 5.11 se puede apreciar que a bajos niveles de fertilización la producción de tubérculos no comerciales es mayor, en tanto que con elevados niveles de fertilización ocurre lo contrario. Lo deseable es obtener la menor cantidad posible de tubérculos no comerciales (pasilla), sin embargo tubérculos de pesos mayores a los 30 g son útiles para ser utilizados como semilla.

Si el objetivo de la explotación es la venta de tubérculos semilla, entonces debe evitarse manejo del cultivo en situaciones que involucren elevadas dosis de fertilizante como con la fórmula 300-380-240 (Tabla 5.11).

En relación al rendimiento no comercial por m^2 y evaluando los efectos simples por separado, la Tabla 5.11 muestra que los mayores promedios de rendimiento se alcanzaron en las fertilizaciones con 100-180-80 ($0,87 \text{ kg.m}^{-2}$) y 200-280-160 ($0,76 \text{ kg.m}^{-2}$) ambas estadísticamente iguales e independientes del nivel de tensión de humedad.

Por otro lado la tensión de -36 cb produjo el mayor rendimiento ($0,90 \text{ kg.m}^{-2}$), es decir, muchos más tubérculos no comerciales, situación esta que no es deseable. Se evidencia que condiciones de elevados niveles de fertilizantes disponibles producen los menores rendimientos no comerciales, de igual manera una situación de deficiencia de riego produce grandes cantidades de tubérculos no comerciales. El detalle para cada situación experimentada de humedad del suelo y fertilización se presenta en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Promedios de los componentes del rendimiento para cada combinación de tratamientos sobre papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilidad química.

Tensión	Fertilidad	Peso promedio tubérculos comerciales (g)	Peso promedio tubérculos no comerciales (g)	Peso promedio tubérculos (g)	Rendimiento Comercial (kg.m^{-2})	Rendimiento no comercial (kg.m^{-2})	Rendimiento total (t.ha^{-1})
-12 cb	100-180-80	152,9 \pm 4,78	46,1 \pm 1,34	109,0 \pm 10,67	2,91 \pm 0,27	0,62 \pm 0,12	35,25 \pm 1,53
-12 cb	200-280-160	208,0 \pm 24,85	30,4 \pm 5,56	102,4 \pm 15,07	3,44 \pm 0,30	0,74 \pm 0,05	41,78 \pm 3,39
-12 cb	300-380-240	140,8 \pm 7,50	13,9 \pm 0,25	77,4 \pm 3,87	3,60 \pm 0,67	0,36 \pm 0,05	39,47 \pm 1,26
-24 cb	100-180-80	200,2 \pm 10,88	23,8 \pm 2,15	79,5 \pm 4,20	2,60 \pm 0,04	0,67 \pm 0,02	32,67 \pm 0,71
							continua...

-24 cb	200-280-160	140,5 ±5,25	32,7 ±4,28	88,4 ±10,59	2,98 ±0,07	0,65 ±0,10	36,33 ±1,65
-24 cb	300-380-240	140,6 ±5,06	27,1 ±1,48	87,6 ±4,07	4,03 ±0,15	0,68 ±0,06	47,00 ±0,94
-36 cb	100-180-80	202,5 ±3,54	46,5 ±5,76	93,0 ±7,24	2,43 ±0,42	1,32 ±0,28	37,50 ±1,07
-36 cb	200-280-160	139,9 ±23,17	34,5 ±4,79	78,1 ±2,62	2,61 ±0,16	0,91 ±0,27	35,17 ±1,18
-36 cb	300-380-240	162,9 ±2,55	24,0 ±4,00	89,5 ±4,60	2,85 ±0,07	0,47 ±0,05	33,27 ±0,78

5.2.6. Rendimiento total

En este renglón del rendimiento no se encontró evidencia de que los factores involucrados, ni la interacción entre estos, influyera sobre el rendimiento total; es decir, todas las combinaciones de riego y fertilización lograron rendimientos totales similares.

Evaluando los efectos simples se encuentra que los más altos promedios de rendimiento total se obtuvieron en la tensión a -12 cb (38,8 t.ha⁻¹) y con la fórmula 300-380-240 (39,9 t.ha⁻¹), los menores valores correspondieron a la fertilización con 100-180-80 (35,1 t.ha⁻¹) y la tensión -36 cb (35,3 t.ha⁻¹).

Si se desea ahondar en detalle acerca de las mejores combinaciones de los factores involucrados sobre esta variable, se observa en la Tabla 5.12 que resaltan la tensión a -24 cb y la fertilización con 300-380-240 (47,0 t.ha⁻¹), y la tensión a -12 cb y la fertilización con 200-280-160 (41,8 t.ha⁻¹); del mismo modo el rendimiento total más bajos fueron obtenidos con las combinaciones a -24 cb y 100-180-80 (32,7 t.ha⁻¹), y a -36 cb y 300-380-240 (33,3 t.ha⁻¹).

Rosen y Bierman (2008) reportan que la aplicación de fertilizante con altas dosis de fósforo aumentó el rendimiento total de tubérculos y de tubérculos pequeños (menos de 85 g), pero disminuyó la proporción de tubérculos más grandes (mayores de 285 g).

Debido al incremento de tubérculos de menor tamaño, la aplicación de fertilizante con P no tuvo efecto significativo en el rendimiento de tubérculos comerciales (> 85 g). El número total de tubérculos por planta y el número de tubérculos pequeños fue también alto y el número de tubérculos grandes fue menor cuando se aplicó P comparado con ninguna aplicación de P al testigo.

En Bolivia, Devaux *et al.* (1997), evaluando la respuesta agronómica de las variedades Rosita y Waych'a a cuatro niveles de nitrógeno y fósforo combinados con dos niveles de potasio, indican que la respuesta de ambas variedades fue muy marcada a la aplicación de N y P pero la aplicación de K no tuvo un efecto significativo; el efecto de los niveles de N y P sobre el número de tubérculos por planta sigue la misma tendencia que los rendimientos, lo que indica que la respuesta de ambas variedades a los niveles de fertilización se debe más al incremento del número de tubérculos, que al incremento del

tamaño de los tubérculos. Bélanger *et al.* (2000), encontraron que rendimientos totales y comerciales aumentaron en la misma medida aumentaron los niveles del riego.

5.3. EFECTO SOBRE ATRIBUTOS DE CALIDAD

5.3.1. Atributos físicos de calidad

La Tabla 5.13 presenta el análisis de varianza para gravedad específica, firmeza y materia seca de tubérculos de papa. La matriz de datos originales de las variables gravedad específica, firmeza y materia seca se encuentran en el Apéndice N.

Para la gravedad específica al momento de la cosecha, se revela que existió efecto significativo en relación al nivel de fertilidad aplicada (efecto simple), igualmente el efecto cruzado tensión x fertilidad resultó significativo ($p=0,0012$).

Tabla 5.13 Análisis de varianza para las variables gravedad específica, firmeza y materia seca en tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes tensiones de humedad y fertilización química a la cosecha y almacén.

		Gravedad específica (gr.cm ⁻³)			
		A la cosecha		Almacén (12 semanas)	
F.V	gl	CM	p>F	CM	p>F
<i>P. Principal</i>					
Tensión (A)	2	0,00001440	0,2934NS	0,00003194	0,2466NS
Error 1	6	0,00000951		0,00001790	
<i>P. Secundaria</i>					
Fertilización (B)	2	0,00027411	<.0001**	0,00016242	0,0089**
A*B	4	0,00010318	0,0012**	0,00005567	0,1021NS
Error 2	12	0,00001113		0,00002264	
Total	26				
Firmeza (kgf)					
<i>P. Principal</i>					
Tensión (A)	2	0,10259259	0,8054NS	0,14703704	0,8314NS
Error 1	6	0,45703704		0,77185185	
<i>P. Secundaria</i>					
Fertilización (B)	2	2,38037037	0,1872NS	3,62703704	0,1499NS
A*B	4	0,74870370	0,6646NS	1,12259259	0,6122NS
Error 2	12	1,23148148		1,62462963	
Total	26				
Materia seca (%)					
<i>P. Principal</i>					
Tensión (A)	2	10,9881815	0,0269*	4,33761481	0,6573NS
Error 1	6	1,56762593		9,62919259	
<i>P. Secundaria</i>					
Fertilización (B)	2	9,70738148	0,1876NS	0,62558148	0,8513NS
A*B	4	21,0134481	0,0240*	15,2781648	0,0278*
Error 2	12	5,0300204			
Total	26				

F.V: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrados medios; p>F: probabilidad de la prueba F.

* Significativo a $\alpha=0,05$; ** Significativo a $\alpha=0,01$; NS: No Significativo.

Lo anterior evidencia que la gravedad específica se ve influenciada tanto por el nivel de humedad en el suelo como por la disponibilidad de nutrientes, en otras palabras, que el efecto de dosis de fertilizante sobre la gravedad específica a la cosecha depende de los diferentes niveles de humedad del suelo o viceversa.

En la Tabla 5.14 se muestran los efectos simples de los factores estudiados sobre cada variable.

La gravedad específica puede ser afectada negativamente por la tensión del agua del suelo (Westerman *et al.*, 1994), se ha documentado que el estrés hídrico durante la tuberización puede reducir los sólidos del tubérculo; incluso las fluctuaciones del déficit hídrico (aumento o disminución) influyen en la distribución de los sólidos dentro del tubérculo, dependiendo si la medición de los mismos es hecha en el ápice, el centro o la parte final del tubérculo y si ésta determinación se realiza durante el déficit hídrico o al concluir el mismo (Shock *et al.*, 1993).

Tabla 5.14 Valores medios de efectos simples para gravedad específica, firmeza y materia seca en tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilización química a la cosecha y almacén.

	Gravedad específica (g.cm ⁻³)		Firmeza (kgf)		Materia seca (%)	
	Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén
<i>Tensión</i>						
-12 cb	1,07923	1,08032a	11,17a	10,04a	20,89	21,12
-24 cb	1,07993	1,08213a	11,30a	9,91a	20,62	21,66
-36 cb	1,07748	1,07837a	11,38a	10,17a	18,86	20,28
<i>Fertilización</i>						
100-180-80	1,08431	1,08413a	11,54a	10,34a	21,17	21,28
200-280-160	1,07906	1,08097a	10,69a	9,31a	20,10	21,04
300-380-240	1,07328	1,07572b	11,61a	10,47a	19,10	20,75

Medias de cada grupo de datos acompañadas de diferentes letras, difieren significativamente (Duncan a $p < 0,05$).

Analizando la Tabla 5.14, se constata que a una tensión de humedad del suelo de -12 cb la gravedad específica más elevada fue 1,086 g.cm⁻³, correspondiendo ésta a la fertilización con 100-180-80, así mismo valores de gravedad específica altos y estadísticamente iguales al anterior se obtuvieron a -24 cb con formulaciones de 100-180-80 y 200-280-160 (1,086 g.cm⁻³), y a -34cb con fertilización de 100-180-80 (1,081 g.cm⁻³), esto revela que en la medida que aumenta cantidad de fertilización con NPK la gravedad específica disminuye, claro está que la humedad en el suelo contribuye con la disponibilidad de los nutrientes, de allí que exista significancia en la interacción del riego y la fertilización.

Una excesiva aplicación de N y K aunado a elevados niveles de cualquiera de estos nutrientes en el suelo, puede reducir los sólidos en el tubérculo; el P puede mejorar la gravedad específica cuando los análisis de suelo arrojan niveles bajos de P, las fuentes de fertilizante con altos índices de sales reducen la gravedad específica más que aquellos con índices bajos de sales (Laboski y Kelling, 2007).

Luego del almacenamiento por 12 semanas, la gravedad específica sólo mostró diferencias por niveles de fertilidad con valor $p=0,0089$ (Tabla 5.13), este parámetro mostró una tendencia a ser independiente del tratamiento de tensión de humedad del suelo y de la interacción de ambos factores a lo largo del almacén.

Se encontró un ligero aumento de la gravedad específica prácticamente en todos los tratamientos estudiados luego del período de almacenamiento, los valores de gravedad específica obtenidos en este estudio tanto para la cosecha como luego del almacenamiento se ubicaron entre 1,068 y 1,086 g.cm^{-3} , y 1,073 y 1,087 g.cm^{-3} respectivamente (Tabla 5.15).

Fitzpatrick *et al.* citados por Asmamaw *et al.* (2010), categorizaron a los tubérculos de acuerdo la gravedad específica en: bajos ($<1,077$), intermedios ($1,077 \leq GE \leq 1,086$) y altos ($>1,086$) g.cm^{-3} . Respondiendo a esta clasificación, los tubérculos de Andinita almacenados durante 12 semanas a 5°C son de contenido intermedio de gravedad específica

Generalmente se acepta que tubérculos de papa con gravedad específica sobre 1,080 son preferidos para la industria, mientras que los valor de gravedad específica menor a 1,070 son destinados exclusivamente para en consumo fresco.

Tabla 5.15 Gravedad específica, firmeza y materia seca en tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilización química a la cosecha y almacén.

Tensión	Fertilización	Gravedad específica (g.cm^{-3})		Firmeza (kgf)		Materia seca (%)	
		Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén
-12 cb	100-180-80	1,08593a	1,08437a	11,67a	10,97a	23,07a	21,43ab
-12 cb	200-280-160	1,07723b	1,08123a	10,73a	8,70a	18,92bcd	19,46b
-12 cb	300-380-240	1,07453b	1,07537a	11,10a	10,47a	20,69abc	22,48ab
-24 cb	100-180-80	1,08640a	1,08703a	11,10a	9,73a	22,53ab	21,47ab
-24 cb	200-280-160	1,08580a	1,08633a	11,07a	9,83a	22,68ab	24,43a
-24 cb	300-380-240	1,06760c	1,07303a	11,73a	10,17a	16,64d	19,08b
-36 cb	100-180-80	1,08060ab	1,08100a	11,87a	10,33a	17,92cd	20,93ab
-36 cb	200-280-160	1,07413b	1,07533a	10,27a	9,40a	18,69bcd	19,22b
-36 cb	300-380-240	1,07770b	1,07877a	12,00a	10,77a	19,96abcd	20,69ab

Medias de cada grupo de datos acompañadas de diferentes letras, difieren significativamente (Duncan a $p < 0,05$).

En cuanto a la firmeza, no se encontró evidencia de que los factores y las combinaciones de ellos influyeran sobre esta variable, tanto a la cosecha como luego del almacenamiento (Tabla 5.13).

Sin embargo se registró una disminución en estos valores al comparar las dos situaciones; es considerado normal que se produzca una ligera pérdida de la firmeza luego

de un período largo de almacén (3 meses), debido principalmente a la pérdida de humedad de los tejidos.

A la cosecha se registraron mediciones de firmeza entre 10,27 y 12,00 kgf, posterior al almacén los tubérculos estos registros se ubicaron entre 8,70 y 10,97 kgf; esto se traduce en resistencia a la presión de 36,33 y 42,45 kgf.cm⁻², y 30,77 y 38,80 kgf.cm⁻² esta es una propiedad mecánica importante pues representa la capacidad de soporte de Andinita al maltrato durante la cosecha, el transporte y en el almacenamiento a granel.

Para el contenido de materia seca, la Tabla 5.13 también muestra que al momento de la cosecha, la tensión de humedad del riego así como la interacción tensión x fertilización influyeron sobre esta variable $p=0,0269$ y $p=0,0240$ respectivamente. Posterior al período de almacenamiento, sólo se encontró efecto combinado de ambos factores sobre la materia seca ($p=0,0278$).

El comportamiento de los resultados de materia seca en todas las combinaciones de los tratamientos estudiados no reveló un patrón definido, sin embargo, si se evalúa más profundamente los efectos simples de esta variable (Tabla 5.10), y considerando que no es posible realizar la comparación de medias dada la significancia del efecto cruzado, se puede destacar que los mayores porcentajes de materia seca a la cosecha se alcanzaron con niveles de tensión de humedad de -12cb y -24cb con 20,89% y 20,62% respectivamente y a fertilizaciones de 100-180-80 (21,17%) y 200-280-160 (20,10%), situación similar se encontró luego del período de almacén con los mismos niveles de riego y fertilización (Tabla 5.14).

Este ligero aumento en la materia seca puede explicarse dada la evidencia que existe en cuanto a que la transpiración causa pérdida de agua, y por consiguiente aumenta la concentración de todos los componentes de la materia seca (Casañas *et al.*, 2003).

5.3.2. Atributos químicos de calidad.

Los resultados del análisis de varianza de pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y azúcares reductores (AR) se presentan en la Tabla 5.16. El Apéndice Ñ muestra la totalidad de los datos originales de estas variables.

La respuesta de los atributos de calidad a los factores tensión de humedad y fertilización resultaron no significativos ($p>0,05$), tanto para los efectos simples como los cruzados, a excepción de los AR a la cosecha, que al evaluar el efecto simple del factor fertilización resultó significativo ($p=0,0112$).

Tabla 5.16 Análisis de varianza para las variables pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y azúcares reductores de tubérculos en papa Andinita, sometida a diferentes tensiones de humedad del suelo y fertilización química a la cosecha y almacén.

		pH			
		A la cosecha		Almacén (12 semanas)	
F V	gl	CM	p>F	CM	p>F
<i>P. Principal</i>					
Tensión (A)	2	0,04952593	0,4056NS	0,01677037	0,7667NS
Error 1	6	0,04704444		0,06037778	
<i>P. Secundaria</i>					
Fertilización (B)	2	0,05290370	0,0562NS	0,05898148	0,0619NS
A*B	4	0,01001481	0,6069NS	0,01830926	0,4011NS
Error 2	12	0,01431667		0,01666667	
Total	26				
SST (°Brix)					
<i>P. Principal</i>					
Tensión (A)	2	0,11592593	0,3512NS	0,03370370	0,7885NS
Error 1	6	0,09259259		0,13629630	
<i>P. Secundaria</i>					
Fertilización (B)	2	0,00703704	0,9083NS	0,13481481	0,5805NS
A*B	4	0,11870370	0,2291NS	0,08370370	0,8368NS
Error 2	12	0,07259259		0,23685185	
Total	26				
Acidez titulable (%)					
<i>P. Principal</i>					
Tensión (A)	2	0,00023666	0,7432NS	0,00047207	0,7848NS
Error 1	6	0,00075852		0,00187070	
<i>P. Secundaria</i>					
Fertilización (B)	2	0,00070997	0,2072NS	0,00163482	0,3417NS
A*B	4	0,00059164	0,2634NS	0,00168582	0,3558NS
Error 2	12	0,00039443		0,00139038	
Total	26				
Azúcares reductores (mg.g ⁻¹ ps)					
<i>P. Principal</i>					
Tensión (A)	2	0,08200201	0,7963NS	3,83182365	0,7169NS
Error 1	6	0,34653691		10,8848290	
<i>P. Secundaria</i>					
Fertilización (B)	2	1,97924877	0,0112*	45,4871030	0,0643NS
A*B	4	0,30292793	0,4345NS	13,2455347	0,4388NS
Error 2	12	0,29620499		13,0722100	
Total	26				

F.V: fuente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrados medios; p>F: probabilidad de la prueba F.

* Significativo a $\alpha=0,05$; ** Significativo a $\alpha=0,01$; NS: No Significativo.

Los valores medios de las variables químicas evaluadas de cada factor por separado se presentan en la Tabla 5.17.

Al examinar más detalladamente los efectos simples sobre estas variables (Tabla 5.13), se observa que a la cosecha los mayores valores de pH fueron obtenidos a -36 cb y 100-180-80 ambos con pH de 6,44, el valor más bajo fue 6,28 y con fertilización de 200-280-160.

Si se analizan los valores de pH luego de 12 semanas de almacén, se encuentra que no se registró pH por debajo de 6,11. Un pH bajo se asocia a una gravedad específica baja, textura (firmeza), contenido de almidón y azúcares reductores altos, y una mayor respiración (Feltran *et al.*, 2004).

Con respecto a los SST, los valores se ubicaron entre 5,00° y 4,57 °Brix para la cosecha, las combinaciones de fertilización a 300-380-240 y 200-280-160 con tensión a -24 cb registraron los contenidos superiores de °Brix con 5,13° y 5,00° respectivamente.

Luego del almacén, los °Brix obtenidos fluctuaron entre 5,20° y 4,67°, siendo todos los tratamientos estadísticamente iguales entre sí.

Tabla 5.17 Valores medios de efectos simples para pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y azúcares reductores de tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilización química a la cosecha y almacén.

	pH		SST (°Brix)		AT (%)		Az Red (mg g ⁻¹ ps)	
	Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén
<i>Tensión</i>								
-12 cb	6,32	6,17	4,77	4,91	0,28	0,46	2,13	13,15
-24 cb	6,31	6,14	4,98	5,03	0,28	0,47	1,95	11,97
-36 cb	6,44	6,22	4,80	4,98	0,29	0,48	1,98	12,08
<i>Fertilización</i>								
100-180-80	6,44	6,27	4,88	5,10	0,27	0,46	1,83b	11,64
200-280-160	6,36	6,15	4,84	4,97	0,29	0,48	1,67b	10,63
300-380-240	6,28	6,11	4,82	4,86	0,29	0,48	2,55a	14,93

Medias de cada grupo de datos acompañadas de diferentes letras, difieren significativamente (Duncan a p<0,05).

El valor más bajo de AT fue obtenido con los niveles de fertilización 100-180-80 con 0,27% en la cosecha, posterior al almacén este atributo se ubicó entre 0,46% tanto para -12cb y 100-180-80 y 0,48% para -36cb de humedad del suelo y 200-280-160 y 300-380-240.

En una experiencia de almacenamiento durante 15 semanas a 5°C, 10°C y 25°C, Materano *et al.* (2010) reportan que tubérculos de Andinita a 5°C arrojaron valores de 0,51% de acidez titulable, 4,73 °Brix y pH de 6,39, estos resultados son similares a los encontrados en este estudio. Del mismo modo, estos autores establecen que la mejor condición de almacenamiento para Andinita por tiempo prolongado sería entre 5°C y 10°C, porque en ese rango se mantiene el menor porcentaje de brotación, alcanzando el 25% a los 94 días.

La estabilidad en el tiempo de los parámetros pH, SST y AT de tubérculos de papa Andinita luego de 3 meses en almacén, nos permiten inferir que la temperatura de 5°C es la adecuada para preservar los atributos de calidad, pues revela que se produce un balance de la actividad metabólica interna del tubérculo al retardar los procesos propios de la descomposición.

El contenido de AR (Tabla 5.16) fue influenciado únicamente por la fertilización al momento de la cosecha ($p=0,0112$), la estrategia de fertilización que produjo los más bajos registros de AR fue la fórmula 200-280-160 con $1,67 \text{ mg.g}^{-1}$ ps (Tabla 5.17).

En la Tabla 5.18 se puede apreciar que luego del almacén, con las formulaciones de fertilizantes de 100-180-80 y 200-280-160 se obtuvieron los menores contenidos de AR, cuando el suelo tuvo una tensión de -12 cb los AR se ubicaron en $11,13 \text{ mg.g}^{-1}$ ps, en un suelo sometido al régimen hídrico de -24 cb estos azúcares se fueron de $10,68 \text{ mg.g}^{-1}$ ps, el nivel de mayor estrés hídrico (-34 cb) arrojó valores de $8,13 \text{ mg.g}^{-1}$ ps.

Es recomendado que el contenido de azúcares reductores en papas para la industria sea inferior al 0,15% (Borruey *et al.*, 2000), no existen reportes de la utilización de Andinita para frituras en ninguna presentación comercial, sin embargo considerando estos resultados, es recomendable la realización de las pruebas respectivas para su posible uso.

Zambrano *et al.* (2010) encontraron valores de azúcares reductores de $2,72 \text{ mg.g}^{-1}$ ps en tubérculos de Andinita cultivadas en la misma finca de donde se cosecharon los tubérculos de este estudio.

Tabla 5.18 Promedios de pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y azúcares reductores en tubérculos de papa Andinita, sometida a diferentes niveles de riego y fertilización química a la cosecha y almacén.

Tensión	Fertilización	pH		SST (°Brix)		AT (%)		Az Red (mg.g^{-1} ps)	
		Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén	Cosecha	Almacén
-12 cb	100-180-80	6,38	6,26	4,87	5,13	0,27	0,45	2,00	12,39
-12 cb	200-280-160	6,27	6,06	4,67	4,93	0,29	0,48	1,73	11,13
-12 cb	300-380-240	6,32	6,18	4,77	4,67	0,28	0,46	2,65	15,94
-24 cb	100-180-80	6,40	6,26	4,80	4,97	0,26	0,43	1,79	10,68
-24 cb	200-280-160	6,27	6,11	5,00	5,03	0,29	0,48	1,91	12,63
-24 cb	300-380-240	6,21	6,05	5,13	5,10	0,31	0,51	2,14	12,60
-36 cb	100-180-80	6,53	6,29	4,97	5,20	0,29	0,48	1,72	11,86
-36 cb	200-280-160	6,89	6,28	4,87	4,93	0,29	0,48	1,37	8,13
-36 cb	300-380-240	6,32	6,11	4,57	4,80	0,29	0,48	2,86	16,25

Medias de cada grupo de datos acompañadas de diferentes letras, difieren significativamente (Duncan a $p<0,05$).

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Las mediciones del potencial mátrico mediante tensiometría, permitieron estimar de manera confiable las variaciones de humedad en el suelo durante el ensayo.
- El desarrollo y crecimiento de la variedad de papa Andinita es influenciado por el uso de niveles elevados de fertilizantes y tensiones de humedad del suelo bajas.
- El tratamiento de humedad del suelo de -12 cb requirió de 16 riegos durante el ciclo del cultivo, la lámina acumulada fue de 39,6 mm con un promedio de 2,47 mm por cada riego.
- EL cultivo sometido a tensión de -24 cb necesitó una lámina de reposición acumulada de 124,3 mm, repartidos en 22 riegos con promedio de 5,56 mm cada uno.
- En el caso del nivel de tensión de -36 cb fueron necesarios 25 riegos durante el ciclo, para una lámina acumulada de 84,9 mm repartidos en 3,40 mm por cada riego.
- Considerando la disponibilidad total de agua (riego y precipitación), los valores de requerimiento de agua del cultivo fueron 212,6 mm para el tratamiento a -12 cb, 297,3 mm para el nivel de -24 cb y cuando fue sometido a tensión de -36 cb fue de 297,9 mm.
- Las fórmulas 200-280-160 y 300-380-240 y la tensión de humedad en el suelo de -12 y -24 cb resaltaron en los valores altura de planta, número de hojas y tallos.
- En cuanto al peso fresco y peso seco por unidad de superficie, y la materia seca de la biomasa aérea de la planta, las combinaciones que involucran las fórmulas 200-280-160 y 300-380-240 y tensiones a -12 y -24 cb fueron las que proporcionaron los mejores resultados.
- En el rendimiento comercial por m² se encontró que la mejor condición de manejo correspondió a -24 cb y 300-380-240, sin embargo es posible utilizar la alternativa de la fórmula 200-280-160 con valores de tensión de humedad del suelo de -24 cb.
- Estos resultados indican que incluso en disponibilidad óptima de agua, el exceso de fertilización puede causar respuestas negativas en el rendimiento, similares a las inducidas por un riego controlado.
- Un potencial hídrico del suelo de -36 cb demostró no ser un nivel crítico para la producción de esta variedad. Sin embargo afecta negativamente el rendimiento.
- La calidad de los tubérculos de Andinita puede ser influenciada cuando se cultivan a diferentes tensiones de humedad del suelo y con distintos niveles de fertilización.

- El efecto de los factores aquí estudiados es distinto, dependiendo si las evaluaciones químicas son hechas a la cosecha o luego de un período de almacenamiento. En términos generales luego de 12 semanas en almacén se produce una pérdida de la calidad de los tubérculos.
- En cuanto a los parámetros físicos estudiados, la gravedad específica se ve afectada tanto por el nivel de tensión de humedad en el suelo como por la fertilización química, tensiones bajas en el suelo o lo que es lo mismo elevados niveles de humedad (-12 y -24 cb) así como formulaciones bajas y medias de fertilizantes (100-180-80 y 200-280-160) producen altos valores de gravedad específica; en la medida que se aumentan los niveles de fertilización con NPK y a altas tensiones (-36 cb), la gravedad específica disminuye.
- La firmeza o grado de resistencia de los tubérculos a la presión no fue afectada por los factores estudiados.
- La materia seca no mostró una tendencia definida de respuesta a los factores estudiados, sin embargo se destaca que los mayores porcentajes a la cosecha se alcanzaron con niveles de tensión de humedad de -12 y -24 cb y a fertilizaciones de 100-180-80 y 200-280-160, este mismo comportamiento se evidenció luego del almacén.
- Los atributos químicos de calidad pH, acidez titulable, sólidos solubles totales y acidez titulable no mostraron respuesta a los factores evaluados de riego y fertilización.
- Los niveles de fertilización sólo afectaron el contenido de azúcares reductores a la cosecha, siendo las formulaciones de 100-180-80 y 200-280-160 las que produjeron el menor valor.
- Este estudio propone como mejor combinación de tensión de humedad del suelo a -24 cb y la fórmula fertilizante 200-280-160.

6.2. RECOMENDACIONES.

Después de la realización de este estudio, y luego de haber compartido un tiempo con el productor, su familia y otros productores de la zona se recomienda lo siguiente:

- Es pertinente recomendar la realización de estudios tendientes a optimizar los niveles de fertilización y de tensiones de humedad del suelo aquí utilizados, mediante un diseño de superficie de respuesta alrededor de la fórmula 200-280-160 y tensión -24 cb.
- Se recomienda continuar con esta línea de investigación ya que representa un ahorro sustantivo del recurso agua y evita un uso abusivo de fertilizantes químicos.
- Se debe realizar un análisis financiero con el propósito de incorporar estas prácticas al paquete tecnológico del cultivo en la región.

- Igualmente se recomienda realizar estudios exploratorios de las cualidades de Andinita para su uso industrial.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

LITERATURA CITADA

- Ali, M.H. 2010. **Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management**: Volume 1. Springer New York Heidelberg Dordrecht London. 560 p.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. 300 pp.
- Alva, A., 2004. **Potato nitrogen management**. J. Veg. Crop Prod. 10, 97–130.
- Álvarez-Sánchez, E., D. Etchevers, J. Ortiz, R. Núñez, V. Volke, L. Tijerina y A. Martínez. 1999. **Biomass production and phosphorus accumulation of potato as affected by phosphorus nutrition**. Journal of Plant Nutrition 22(1): 205-217.
- AOAC. 1984. **Official Methods of Analysis of the Association of Agricultural Chemist**. 14th ed, Washington, DC. pp 1141.
- Arismendi, L. 2002. **Investigación sobre el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Oriente de Venezuela**. Revista UDO Agrícola. 2(1):1-7.
- Asmamaw, Y., T. Tekalign y T.S. Workneh. 2010. **Specific gravity, dry matter concentration, pH, and crisp-making potential of Ethiopian potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars as influenced by growing environment and length of storage under ambient conditions**. Potato Research. 53:95–109.
- Ayas, S. y Korukçu, A. 2010. **Water-yield relationships in deficit irrigated potato**. Journal of Agricultural Faculty of Uludag University. 24(2): 23-36. <http://kutuphane.uludag.edu.tr/PDF/ziraat/2010-24%282%29/M3.pdf>. 19-12-2010.
- Azuaje, E. 2006. **Manejo del agua de riego, mediante cinta de goteo, en el cultivo papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Finca Misagua, Muchuchíes, estado Mérida**. Venezuela. Tesis de Grado Ingeniería Agrícola. Universidad de Los Andes. NURR, Trujillo. 80 p.
- Badillo-Tovar V., J.Z. Castellanos-Ramos, J. de J. Muñoz-Ramos, P. Sánchez-García, S. Villalobos-Reyes y P. Vargas-Tapia. 2004. **Demanda nutrimental del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Alpha, en la región del Bajío**. Revista Chapingo Serie Horticultura 10(1):67-74.
- Baritelle, A.L. y G.M. Hyde. 2003. **Specific gravity and cultivar effects on potato tuber impact sensitivity**. Postharvest Biology and Technology. 29: 279–286.
- Bélanger, G., J.R. Walsh, J.E. Richards, P.H. Milburn y N. Ziadi. 2000. **Yield response of two potato cultivars to supplemental irrigation and N fertilization in New Brunswick**. Amer J of Potato Res. 77:11-21.

- Bélanger, G., J.R. Walsh, J.E. Richards, P.H. Milburn y N. Ziadi. 2001. **Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different N fertilization rates with and without irrigation.** Amer J of Potato Res. 78:109-117.
- Beniot, G. y W. Grant. 1985. **Excess and deficient water stress effect on 30 years of aroostook country potatoes yields.** American Potato Journal. 62(2): 49-55.
- Booher, L.J. 1974. **El Riego Superficial. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO Roma.** 162 p.
- Borruey, A.F. Cotrina, J. Mula y C. Vega. 2000. **Calidad industrial y culinaria de las variedades de patata.** En: Pascualena J., Ritter E. (ed) Actas Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en patata. Julio Vitoria Gaoteis, España 15 p.
- Bosnjak, D. y B. Pejlik. 1996. **Potatoes water requirement in the Chernozem zone of Yugoslavia.** Acta Horticulturae, Leuven, V.1, n.449. pp 211–215. Disponible en: http://www.actahort.org/books/449/449_29.htm. Consultado el 12-06-11.
- Burton, W.G., A. van Es y K.J. Hartmans. 1992. **The physics and physiology of storage.** In: Harris, P.M. (Ed.). The Potato Crop. Chapman and Hall, London, pp. 608–709.
- Casañas, R., E. Rodríguez y C. Díaz. 2003. **Effects of current storage conditions on nutrient retention in several varieties of potatoes from Tenerife.** Food Chemistry. 80:445–450.
- Clark, G. 1993. **Programación de riego en hortalizas “Agricultura de las Américas.”**
- Coraspe, H. 1998. **La Calidad de Tubérculo de papa.** FONAIAP. Estación experimental Trujillo. Venezuela 60: 17-18.
- Covarrubias-Ramírez, J.M., S. Castillo-Aguilar, J.A. Vera-Núñez, R. Núñez-Escobar, P. Sánchez-García, R. Aveldaño-Salazar y J.J. Peña-Cabriales. 2005. **Absorción y eficiencia de uso de fósforo en papa cultivar Alpha con ³²P.** Agrociencia 39: 127-136.
- COVENIN, 1984. **Determinación de la acidez y vitamina C en frutas y productos derivados.** 151-77.
- Curwen, D. 1993. **Water management.** In: Potato Health Management. Rowe, R. C. (ed.). APS Press. St. Paul, MN. USA. Chapter 9 77-86. Disponible en <http://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/780/1/800.pdf>.
- Dalla Costa, G. Delle Vedove, G. Gianquinto, R. Giovanardi y A. Peressotti. 1997. **Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress.** Potato Research. 40:19-34.
- Deblonde, P.M.K. y Ledent, J.F. 2001. **Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars.** European Journal of Agronomy 14: 31-41.

- Devaux, A., J. Vallejos, R. Hijmans y J. Ramos. 1997. **Respuesta agronómica de dos variedades de papa (spp. *tuberosum* y *indígena*) a diferentes niveles de fertilización mineral**. Revista Latinoamericana de la Papa. 9/10(1):123-139.
- Díez, J.A., M. Arauzo y P. Hernáiz. 2005. **Optimización del riego mediante sondas de capacitancia y su efecto sobre la lixiviación de nitrato**. En: Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VII. F.J. Samper Calvete y A. Paz González. 9-14.
- Divis, J. y Z. Sterba. 1997. **Relationship of fertilization and mechanical damage to potato tubers in Krasa cultivar**. Rostlinna. Vyroba 43(4): 199-204.
- Dominguez, A. 1997. **Tubérculos y raíces**. Tratado de fertilización, 3ra edición. Madrid, España. Ediciones Mundiprensa. 614 p.
- Doorembos, J. y A. Kassam. 1979. **Estudio del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos**. Riego y Drenaje. Roma, Italia. Estudio FAO, Food and Agriculture Organization of United Nations. 33 p.
- Doorembos, J. y A. Kassam. 1986. **Yield response to water**. Irrigation and Drainage. Roma, Italia. FAO, Food and Agriculture Organization of United Nations. 193 p.
- Doorembos, J. y W.O. Pruitt. 1990. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Estudio FAO Riego y Drenaje 24. 194 p.
- Ekanayake, I. 1994. **Estudios sobre estrés por sequía y necesidades de riego en la papa**. Guía de Investigación, CIP 30. Centro Internacional de la Papa.. Lima, Perú. 40 p.
- Eppendorfer, W.H. y B.O. Eggum. 1996. **Fertilizer effects on yield, mineral and amino acid composition, dietary fibre content and nutritive value of leeks**. Plant Foods Hum. Nutr. 49, 169–174.
- Eppendorfer, W.H., B.O. Eggum y S.W. Bille. 1979. **Nutritive value of potato crude protein as influenced by manuring and amino acid composition**. J. Sci. Food Agric. 30, 361–368.
- Estrada, N. 2001. **Mejoramiento para procesamiento y calidad culinaria**. Boletín de la papa. CIP, Lima-Perú 3 (23) 6 p.
- Fabeiro, C., F. Martín de Santa Olalla y J.A. de Juan. 2001. **Yield and size of deficit irrigation potatoes**. Agricultural Water Management. 48:255–266.
- FAO. 2008. **La papa: una aliada clave de la seguridad alimentaria**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/papa.htm>. Consultado el 30 de Marzo de 2009.
- FAO. 2009. **Año internacional de la papa 2008. Nueva luz sobre un tesoro enterrado**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Reseña de fin de año. Roma, Italia. 148 pp.

- FAOSTAT. 2009a. **Estadísticas de producción en línea**. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Consultado el 30 de Marzo de 2009.
- FAOSTAT. 2009b. **Estadísticas de producción en línea**. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/609/DesktopDefault.aspx?PageID=609#ancor>. Consultado el 30 de Marzo de 2009.
- FAOSTAT. 2011. **Consulta de bases de datos de producción de productos alimentarios y agrícolas**. Totales mundiales por cantidad. FAO (en línea). Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> Consultado el 19/4/2011.
- Feltran, J.C., L.B. Lemos, y R.P. Vieites. 2004. **Technological quality and utilization of potato tubers**. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.) 61(6): 598–603.
- Fuentealba, J. 2001. **La papa una planta C-3**. Revista de la Papa. [en línea]: revista electrónica fuente en internet. Año 3(10):6–7. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/20265788/La-papa-una-planta-C-3>. Consultado el: 20-6-2011.
- García, C. 1971. **El riego, su implementación y su técnica**. Editorial Dorat. Madrid. España.
- García, R. y J. Salas. 2005. **Aspectos generales del cultivo de la papa**. Páginas 18-29 en: Producción de Semilla de Papa en Venezuela. Editores Rosaima Garcia, José Salas y Gladys Ramos. Serie Manuales de Cultivo INIA No. 5. Mérida, Venezuela. 260 p.
- Gastal, F. y G. Lemaire. 2002. **N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective**. J. Exp. Bot. 53, 789–799.
- Grassi, C. 1984. **Métodos de Riego**. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida. Venezuela. 265 p.
- Grassi, C. 1998. **Fundamentos de Riego**. Primera Impresión. Mérida-Venezuela. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). 241 p.
- Grassi, C. 1998. **Formulación de proyectos de riego y drenaje**. Capítulo V. Mérida-Venezuela. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Serie Riego y Drenaje RD-38. 392 p.
- Grassi, C. 2000. **Diseño y operación del riego por superficie**. Teoría y práctica. Mérida, Venezuela. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Serie Riego y Drenaje RD-36. 394 p.
- Havercort, A.J. 1986. **Manejo de agua en la producción de papa**. Boletín de Información Técnica 15 CIP. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 24 p.

- Hegney, M.A., R. Mepharlin, R.C. Jeffery. 1997. **Response of winter-grown potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to applied and residual phosphorus on a Karrakatta sand.** Australian Journal of Experimental Agriculture 37: 131-139.
- Hogg, W.H. 1976. **Sistemas de riego.** 2da edición, Editorial "Acribia", Zaragoza. España. 196 p.
- Holzappel, H. E. 2005. **Riego por goteo y microjet.** Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción. Chile. 22 p.
- Horton, D. 1987. **Potatoes: production, marketing, and programs for developing countries.** IT Publications, London, pp 36–47.
- Horton, D. 1988. **Las papas en los países de desarrollo.** Revista Latinoamericana de la Papa 1:19-17.
- Israelsen, O. y J. Hansen. 1965. **Principios y aplicaciones del riego.** Editorial Reverté, S. A. 2da Edición 1965. Barcelona - Buenos Aires - México. 396 p.
- Janet, K. 1990. **El agua en el suelo.** Agricultura en las América. Marzo; 24 p.
- Jefferies, R.A. 1989. **Water stress and leaf growth in field-grown crops of potato (*Solanum tuberosum* L.).** Journal of Experimental Botany 40: 1375-1381.
- Jenkins, P.D., A. Hakoomat. 1999. **Growth of potato cultivars in response to application of phosphate fertilizer.** Ann. Appl. Biol. 135: 431-438.
- King, B. y J. Stark. 2000. **Potato irrigation management.** University of Idaho, Cooperative extension system, College of agriculture. Disponible en: <http://www.cals.uidaho.edu/edComm/pdf/BUL/BUL0789.pdf> . Consultado el: 22-6-2011.
- Klassen, G., G. Mills y B. Geisel. 2001. **Potato Production. Irrigation.** Disponible en: <http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/potatoes/>. Consultado el 20-06-2011.
- Kleinkopt, G., D. Westerman, M. Wille y G. Klein. 1987. **Specific Gravity of Russet Burbank potatoes.** American Potato Journal 64: 579-587.
- Kooman, P., M. Fahem, P. Tegera, y A. Haverkort. 1996. **Effects of climate on different potato genotypes. 1. Radiation interception total and tuber dry matter production.** Eur. J. Agron. (5):193-205.
- Kooman, P., M. Fahem, P. Tegera, y A. Haverkort. 1996. **Effects of climate on different potato genotypes. 2. Dry matter allocation and duration of the growth cycle.** Eur. J. Agron. (5):207-217.
- Kumar, P., S. K. Pandey, B. P. Singh, S. V. Singh y D. Kumar. 2007. **Effect of nitrogen rate on growth, yield, economics and crisps quality of Indian potato processing cultivars.** Potato Research. 50:143–155.
- Laboski, C.A.M. y K.A Kelling. 2007. **Influence of fertilizer management and soil fertility on tuber specific gravity: A review.** Amer. J. of Potato Res. 84:283-290.

- Lin, S. B. Sattelmacher, E. Kutzmutz, K.H. Mühlhing y K. Dittert. 2004. **Influence of nitrogen nutrition on tuber quality of potato with special reference to the pathway of nitrate transport into tubers**. J. Plant Nutr. 27, 341–350.
- Luque, J.A y J.D. Paoloni. 1974. **Manual de Operación de Riego**. 2ª Ed. Buenos Aires, Argentina. Ediciones Riagro. 330 p.
- Machado, D. 2005. **Un enfoque agroecosistémico para el manejo eficiente del suministro de nitrógeno en el cultivo de papa en los Andes venezolanos**. Tesis de Doctorado, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Mérida-Venezuela. 233 p.
- Magalhães, J.R. 1985. **Nutrição e adubação da batata**. São Paulo: Nobel. 51 p.
- Martín de Santa Olalla, F., J.F.O. Álvarez y R.L. Urrea. 2005. **Agua y agronomía**. España. Editorial Mundi Prensa. 606 p.
- Martinez, C. y U. Moreno. 1992. **Expresiones fisiológicas de resistencia a la sequía en dos variedades de papa sometidas a estrés hídrico en condiciones de campo**. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal 4(1):33-38.
- Materano, W. J. Zambrano, M. Maffei, A. Valera y C. Torres. 2010. **Influencia de la temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de peso y el porcentaje de brotación en papa**. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 27:Supl 1 (en prensa).
- Millard, P. 1986. **The nitrogen content of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers in relation to nitrogen application the effect on amino acid composition and yields**. J. Sci. Food Agric. 37, 107–114.
- Miller, E. y M. Martin. 1985. **Effect of water stress during tuber formation on subsequent growth and internal defect in Russet Burbank potatoes**. American Potato Journal. 62(2):83–89.
- Montaldo, A. 1984. **“Cultivo y mejoramiento de la papa”**. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. N° 54. 676 pp.
- Montero, F. 1999. **Botánica, taxonomía y mejoramiento genético de la papa**. FONAIAP-Trujillo. Memorias del curso “producción de semilla de papa”. pp: 4-11.
- MPPAT. 2007. **Ministerio del Poder Popular de Agricultura y Tierra**. Datos no publicados. (UEMPPAT-Trujillo).
- Norero, A. 1976. **Evaporación y Transpiración**. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela. 60 p. Cap. 4. Mimeo.
- Ojala, J. C., J. C. Stark, y G. E. Kleinkopf. 1990. **Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality**. American Potato Journal. 67:29-43.
- Olivares, C. y A. de León. 1975. **Obras hidráulicas**. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Mérida -Venezuela.

- Öztürk, E., Z. Kavurmacı, K. Kara y T. Polat. 2010. **The effects of different nitrogen and phosphorus rates on some quality traits of potato.** Potato Research 53:309–312.
- Palacios, E. 2002. **¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar?** Para lograr mejores cosechas. Editorial trillas. Primera Edición. México. 214 p.
- Panigrahi, B., S.N. Panda y N.S. Raghuwanshi. 2001. **Potato water use and yield under furrow irrigation.** Irrigation Science. 20:155- 163.
- Papadopoulos, I. 1992. **Phosphorus fertigation of trickle-irrigated potato.** Fertilizer Research 31: 9-13.
- Pérez, F. 1982. **Manual de riego localizado.** Maracay, Ven., UCV. Facultad de Agronomía. 125 p.
- Pérez, F.A. 1981. **Demandas de agua por los cultivos.** Material de enseñanza. UCV. Maracay. Venezuela.
- Quintero, I., F. Montero, J. Zambrano, N. Meza, M. Maffei, A. Valera y R. Alvarez. 2009. **Evaluación de once clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el estado Trujillo. I Crecimiento, desarrollo y rendimiento.** Rev. Fac. Agron. (LUZ). 26:362-381.
- Rázuri, L.R. 1988. **Diseño de riego por goteo.** Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida Venezuela. 167 p.
- Reis Júnior, R.A. and P.H. Monnerat. 2001. **Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio.** Revista Horticultura Brasileira 19(3) 360-364.
- Retzlaff, W.A. y D.B. South. 1985. **A simple method for determining a partial soil water retention curve.** Tree Planters Notes. 36(4): 20-23.
- Rojas, R. 1984. **Drenaje superficial de tierras agrícolas.** Mérida, Venezuela. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Serie Riego y Drenaje RD-21. 96 p.
- Rojas, M. 2003. **Resistencia a la sequía.** Ciencia UANL VI(3):326-331. jul- sept. Disponible en: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Resistencia%20a%20la%20sequia.pdf>. Consultado el 20-6-2011.
- Rosen, C. J. y P. M. Bierman. 2008. **Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization.** Am. J. Pot Res. 85:110–120.
- Saluzzo, A., H. Echeverria, F. Andrade, y M. Huarte. 1999. **Nitrogen nutrition of potato cultivars differing in maturity.** Journal of Agronomy and Crop Science. 183:157-165.
- Sangoi, L. and N.D. Kruse. 1994. **Doses crescentes de N, P e K e características agrônômicas da batata em dois níveis de pH.** Pesquisa Agropecuaria Brasileira (29) 1333-1343.

- SAS Institute, Inc. 2008. **SAS User's guide: Statistics. 9.0 Version.** SAS Inst., Inc., Cary, NC. User's Guide. SAS help and Documentation.
- Sepúlveda, P., H. López, y D. Núñez. 1999. **Efecto de diferentes niveles de humedad en el suelo sobre el desarrollo del carbón de la papa (*Angiosorus solani*) en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) bajo condiciones de invernadero.** Agricultura Técnica. 60(4):313–319.
- Shock, C.C., Z.A. Holmes, T.D. Stieber, E.P. Eldredge y P. Zhang. 1993. **The effect of timed water stress on quality, total solids and reducing sugar content of potatoes.** American Potato Journal. 70:227-241.
- Soboh, G., R. Sully y H. Hopkins. 2000. **Mecanismos para incrementar el número de tubérculos.** Boletín de la Papa, Rede Papa. Vol.3, nº4, 28 de febrero, 2001. De: Australian Potato Research. (31 de julio–02 de agosto, 2000, Adelaide, Australia). Development and Technology Transfer Conference. Consultado el 08-02-2010. Disponible en: <http://www.redepapa.org/boletintreintacuatro.html>.
- Solórzano, G., C. Lacruz, A. García y F. Becerra. 1993. **Riego en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) y su efecto sobre el ataque de polilla a nivel de tubérculo.** FONAIAP Divulga. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado de Mérida. (44) septiembre–diciembre. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd44/texto/riego.htm. Consultado fecha de consulta: 10-6-2011.
- Taylor, M.A., G.J. McDougall y D. Stewart. 2007. **Potato Flavour and Texture.** p. 525–540 (Chapter 24). En: D. Vreugdenhil (Ed.). *Potato Biology and Biotechnology Advances and Perspectives.* Elsevier, Oxford.
- Tekalign, T. and P.S. Hammes. 2005. **Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality.** Scientia Hort. 105, 29–44.
- Thybo, A.K.; J. Christiansen; K. Kaacka and M.A. Petersen. 2006. **Effect of cultivars, wound healing and storage on sensory quality and chemical components in pre-peeled potatoes.** LWT – Food Sci. Technol. 39, 166–176.
- Ting, S. 1956. **Rapid colorimetric methods for simultaneous determination of total reducing sugar and fructose in citrus juices.** Agric. Food Chem. 43: 263-266.
- Trezza, R. 1997. **Fundamentos de Hidrología Agrícola.** Universidad de Los Andes. Trujillo. Venezuela. 261 p.
- van Genuchten, M. 1980. **A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils.** Soil Science Society of America Journal, Vol. 44, pp. 892–898.
- van Genuchten, M.Th., J. Simunek, F.J. Leij y M. Sejna. 1998. **RETSC, Version 6.0. Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils.** U.S. Salinity

Laboratory, USDA/ARS Riverside, CA. Disponible en www.usrl.ars.usda.gov/MODELS/retc.htm.

- van Loon, C.D. 1981. **The effect of water stress on potato growth, development and yield.** Amer. Potato J. 58, 51–69.
- Villa, P.M y L. Sarmiento. 2009. **Recomendación alternativa para la fertilización del cultivo de papa en los altos Andes venezolanos.** INIA Hoy 6:191-199.
- Vos, J. y A.J. Haverkort. 2007. **Water Availability and Potato Crop Performance.** p. 333–351 (Chapter 16). En: D. Vreugdenhil (Ed.). *Potato Biology and Biotechnology Advances and Perspectives.* Elsevier, Oxford.
- Vos, J., y H. Biemond. 1992. **Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. I. Leaf appearance, expansion growth, life spans of leaves and stem branching.** Annals of Botany 70:27-35.
- Wang, F., Y. Kang, S. Liu y X. Hou. 2007. **Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain.** Agricultural Water Management. 88:34–42.
- Wang, Z.H.; Z.Q. Zong; S.X. Li and B.M. Chen. 2002. **Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields.** Environ. Sci. 23, 79–83.
- Westerman, D.T., T.A. Tindall, D.W. James y R.I. Hurst. 1994. **Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: yield and specific gravity.** American Potato Journal. 71:417-432.
- Westermann, D. T. 2005. **Nutritional requirements of potatoes.** Amer J of Potato Res. 82:301-307.
- White, P., R.E. Wheatley, J.P. Hammond y K. Zhang. 2007. **Minerals, Soils and Roots.** p. 739–752 (Chapter 34). En: D. Vreugdenhil (Ed.). *Potato Biology and Biotechnology Advances and Perspectives.* Elsevier, Oxford.
- Wullschleger, S.D. and D.M. Oosterhuis. 1991. **Osmotic adjustment and the growth response of seven vegetable crops following water-deficit stress.** HortScience 26, 1210–1212.
- Yuan, B., S. Nishiyama y Y. Kang. 2003. **Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato.** Agricultural Water Management. 63:153–167.
- Zambrano, J., I. Quintero, A. Valera, H. Coraspe y W. Materano. 2010. **Evaluación de once clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el estado Trujillo. II Atributos de calidad.** Rev. Fac. Agron. (LUZ). 27(3):399-417.
- Zebarth, B. J., W. J. Arsenault y J. B. Sanderson. 2006. **Effect of seedpiece spacing and nitrogen fertilization on tuber yield, yield components, and nitrogen use efficiency parameters of two potato cultivars.** Amer J of Potato Res. 83:289-296.



APÉNDICES

www.bdigital.ula.ve



**UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES**
NÚCLEO "RAFAEL RANGEL"

LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS DE SUELOS

Trujillo, 08/04/2009

RESULTADO DEL ANALISIS DE SUELO

PRODUCTOR: JUSTO MORENO

FINCA VISTA ALEGRE LOCALIDAD: CABIMBÚ.

PARROQUIA: CABIMBÚ MUNICIPIO: URDANETA ESTADO Trujillo

IDENT. DE LA MUESTRA	Muestra N 2			
PROF. DE LA MUESTRA (cm)	0-30			
% DE ARENA (a)	74			
% DE LIMO (L)	20			
% DE ARCILLA (A)	6			
CLASE TEXTURAL	F.a			
PH 1:2,5 EN AGUA	5,2	F-a		
C.E. 1:2,5 (dS/m)	0,42	N		
% DE MATERIA ORGÁNICA	3,80	A		
% CARBONO ORGÁNICO	1,99	M		
% NITRÓGENO	0,18	M		
FÓSFORO (ppm)	70	A		
POTASIO (ppm)	70	M		
CALCIO (ppm)	1040	M		
MAGNESIO (ppm)	168	B		

IRROMETER®

modelo "R"/"SR"



MEDIDOR SELLADO HERMÉTICAMENTE

Exactitud y larga vida del medidor son aseguradas por una cubierta de plástico herméticamente sellada y con un diafragma que compensa por variaciones en temperatura y presión barométrica.
Pat. 2773388
Pat. 3394594

MEDIDOR SIN AIRE

El sello de agua no permite que entre aire en el medidor, esto asegura que el medidor y la cámara queden llenos aunque el tubo no esté completamente lleno.

EL TUBO

Es construido de plástico muy duradero que no es afectado por sustancias químicas o electrolisis.

MODELO "SR" (no está en el dibujo)

La conexión de la punta se enrosca para hacer más fácil su cambio. Usa un sello de anillo.

TAPA HERMETICA

El instrumento tiene una tapa grande removible que permite un llenado fácil del depósito. La válvula sumergida provee un sello positivo. Aflojar la tapa deja que el aire salga y el tubo se llene con agua del depósito. El servicio del instrumento es instantáneo.

DEPOSITO

Contiene una reserva de agua suficiente para varios ciclos de riego bajo condiciones normales. Al aflojarse la tapa sale aire del tubo y se llena de agua otra vez (esto para reemplazar agua perdida por la acción de tierra seca). Pat. 2878671

TODAS JUNTURAS SON PERMANENTEMENTE SELLADAS

LIQUIDO "IRRROMETER"

Un liquido concentrado que se mezcla con agua para darle color y proteger la punta cerámica de depósitos de sal. El color facilita ver el nivel de agua en el instrumento.

PUNTA CERAMICA

Es más duradera que otras materias y a la vez más porosa para mayor sensibilidad a variaciones de humedad en la tierra.

IRRROMETER
REG. U.S. PAT. OFF.
MOISTURE INDICATOR

EL IRRROMETER le dice CUANDO y CUANTO hay que regar

Cómo decir con una mirada la humedad exacta de su tierra

EL IRRROMETER funciona por el principio del tensiómetro que es completamente distinto a otros sistemas que miden porcentajes de humedad. EL IRRROMETER consiste en un tubo sellado lleno de agua equipado con un medidor de vacío y una punta porosa. El instrumento se instala en la tierra a profundidades para alcanzar la zona de raíces. En tierra seca el agua sale por la punta porosa reduciendo el volumen en la columna y creando un vacío que registra el medidor. Mientras más seca la tierra más alta será la lectura del medidor.

Al regarse la tierra el vacío creado en el IRRROMETER succiona agua de la tierra reduciendo el registro del medidor.

El instrumento es en efecto "una raíz mecánica" equipado con un medidor que continuamente indica cómo está trabajando la raíz para sacar la humedad de la tierra.

EL IRRROMETER por su principio único no tiene que calibrarse para distintos tipos de tierra y trabaja con exactitud igual en arena como en arcilla o cualquier mezcla de las dos.



El tensiómetro IRRROMETER fue introducido en el año 1952, y desde entonces ha sido el primero con diseño exclusivo símbolo de lo mejor . . . No hay otro tensiómetro que ofrezca la larga vida, fuerte construcción y absoluta exactitud del IRRROMETER.

Los tensiómetros Irrometer son fabricados en tamaños de 6, 12, 18, 24, 36, 48 y 60 pulgadas.
(15, 30, 45, 60, 90, 120 y 150 centímetros)

Lo mejor en tensiómetros

Printed in U.S.A.

IRRROMETER CO.

P.O. BOX 2424, Riverside, Calif. 92516, U.S.A.

Tel. (951) 689-1701 • FAX (951) 689-3706

E-MAIL: sales@irrometer.com

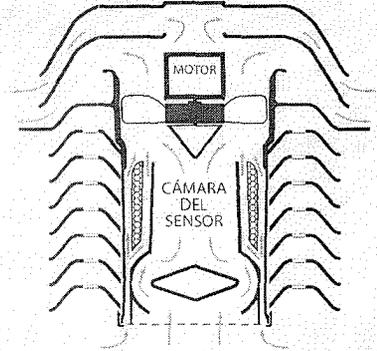
54/56 SP

Lo máximo en versatilidad y opciones.

Todas las estaciones Vantage Pro2 tienen una consola y un versátil módulo de sensores integrados que combina nuestro colector de lluvia, sensores de temperatura y humedad, y anemómetro en un mismo paquete. Usted puede personalizar su sistema Vantage Pro2 añadiendo consolas o las opciones de propósito especial que se muestran en las páginas 10 y 11. Las estaciones meteorológicas Vantage Pro2 están disponibles en versión inalámbrica y con cable.



Estaciones Vantage Pro2 (vea la página 6 para conocer los modelos).



1. COLECTOR DE LLUVIA

El colector de lluvia Vantage Pro2 cumple con todos los lineamientos de área de recolección establecidos por la Organización Meteorológica Mundial. Lee cantidades de precipitación en incrementos de 0.01" ó 0.2 mm.

2. ANEMÓMETRO

Incluye sensores de velocidad y dirección del viento. Los robustos componentes resisten vientos con la fuerza de un huracán, pero son sensibles a las brisas más tenues. Probado en un túnel de viento a velocidades superiores a 180 millas por hora (290 km/h).

El anemómetro puede instalarse por separado utilizando un cable de 40 pies (12 m) (incluido).

El conjunto opcional de transmisor para anemómetro le permite montar el anemómetro en un lugar distinto que el colector de lluvia y el resto del módulo de sensores integrados, a una distancia de hasta 1000 pies (300 m) de la consola inalámbrica.

3. POSTE DE MONTAJE OPCIONAL

Una de varias opciones de instalación. Para conocer más opciones, como el trípode de montaje, vea la página 7.

4. PROTECTOR DE RADIACIÓN CON SUCCIÓN POR VENTILADOR, ACTIVO LAS 24 HORAS

Los modelos con protector de radiación

con succión por ventilador activo las 24 horas contienen placas adicionales de protección contra radiación y un segundo panel solar, que alimenta el ventilador con motor.

5. SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

Localizados dentro del protector contra radiación, que protege a los sensores de la radiación solar y de otras fuentes de calor radiado y reflejado.

6. PANEL SOLAR

Durante el día, alimenta la estación inalámbrica y carga el supercapacitor para la operación nocturna. Una pila de litio sirve como fuente de respaldo en los nublados días de invierno. (El panel solar no está incluido en la versión con cable.)

7. TAPA RESISTENTE A LA INTEMPERIE

Protege los componentes electrónicos del módulo de sensores integrados contra los factores climáticos.

Protector de radiación con succión por ventilador, activo las 24 horas

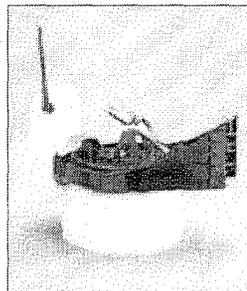
Los modelos 6153 y 6163 incluyen nuestro patentado protector de radiación con succión por ventilador, activo las 24 horas del día, para lograr la máxima exactitud en las lecturas de temperatura y humedad. Un ventilador impulsado por un motor succiona aire a través de la cámara del sensor las 24 horas del día, todos los días del año. El flujo de aire en los sensores es de 500 pies por minuto (2.5 m/s). De noche, cuando los efectos de la radiación son menores, el modelo alimentado por energía solar funciona con una pila, y el flujo de aire es de 280 pies por minuto (1.4 m/s). En latitudes muy septentrionales o meridionales, o en lugares con largos períodos de nubosidad densa, tal vez no haya luz solar suficiente para alimentar el ventilador o cargar la pila durante el invierno. Sin embargo, a medida que el nivel de luz solar disminuye, también se reduce la necesidad de succión por ventilador. El ventilador comenzará a funcionar, y la pila se cargará, en cuanto haya luz solar suficiente.



Ilustración:

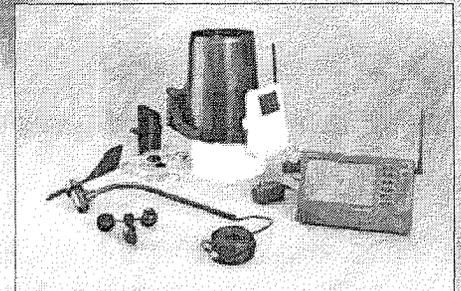
6163 Vantage Pro2 Plus

inalámbrica con protector de radiación con succión por ventilador, activo las 24 horas



El cubo medidor de nuestro colector de lluvia está recubierto con aluminio, se vacía automáticamente, es resistente a la corrosión y se calibra con láser para lograr una exactitud excepcional.

Ahora incluye también un nivel de burbuja para que la instalación sea más exacta.



6152 Vantage Pro2 inalámbrica

APÉNDICE E

SALIDAS DE PROGRAMA RETC®

www.bdigital.ula.ve

```

*****
*
*   Analysis of soil hydraulic properties
*
*   Curva de Retención del Suelo (parcial )
*   Cabimbú Suelo 1
*   Mualem-based restriction, M=1-1/N
*   Analysis of retention data only
*   MType= 3      Method= 3
*
*****

```

Initial values of the coefficients

```

=====

```

No	Name	Initial value	Index
1	ThetaR	.2877	0
2	ThetaS	.4398	0
3	Alpha	.0750	1
4	n	1.8900	1
5	m	.4709	0
6	l	.5000	0
7	Ks	4.4208	0

Observed data

```

=====

```

Obs. No.	Pressure head	Water content coefficient	Weighting
1	20.394	.4398	1.0000
2	30.591	.4374	1.0000
3	61.182	.4327	1.0000
4	81.576	.4234	1.0000
5	101.970	.4117	1.0000
6	132.561	.3953	1.0000
7	163.152	.3906	1.0000
8	193.743	.3836	1.0000
9	224.334	.3766	1.0000
10	254.925	.3579	1.0000
11	387.486	.3485	1.0000
12	469.062	.3415	1.0000
13	693.396	.3088	1.0000
14	785.169	.3017	1.0000
15	795.366	.2947	1.0000
16	836.154	.2877	1.0000

NIT	SSQ	Alpha	n
0	.08039	.0750	1.8900
1	.03766	.0170	1.1784
2	.01442	.0286	1.2790
3	.01143	.0283	1.3317
4	.01010	.0246	1.3709
5	.00795	.0158	1.4452
6	.00656	.0149	1.5052
7	.00494	.0080	1.6737
8	.00236	.0057	2.0578
9	.00119	.0059	2.2991

```

10      .00118      .0060      2.2983
11      .00118      .0060      2.2960
12      .00118      .0060      2.2961

```

Correlation matrix

```

=====
      Alpha      n
      1          2
1      1.0000
2      -.7655      1.0000

```

RSquared for regression of observed vs fitted values = .97145219

Nonlinear least-squares analysis: final results

```

=====
Variable      Value      S.E.Coeff.      T-Value      95% Confidence limits
Lower      Upper
Alpha      .00599      .00047      12.62      .0050      .0070
n      2.29609      .15106      15.20      1.9721      2.6201

```

Observed abd fitted data

```

=====
NO      P      log-P      WC-obs      WC-fit      WC-dev
1      .2039E+02      1.3095      .4398      .4391      .0006
2      .3059E+02      1.4856      .4374      .4381      -.0007
3      .6118E+02      1.7866      .4327      .4319      .0009
4      .8158E+02      1.9116      .4234      .4254      -.0020
5      .1020E+03      2.0085      .4117      .4176      -.0059
6      .1326E+03      2.1224      .3953      .4049      -.0095
7      .1632E+03      2.2126      .3906      .3921      -.0015
8      .1937E+03      2.2872      .3836      .3804      .0032
9      .2243E+03      2.3509      .3766      .3700      .0066
10     .2549E+03      2.4064      .3579      .3611      -.0032
11     .3875E+03      2.5883      .3485      .3351      .0135
12     .4691E+03      2.6712      .3415      .3256      .0159
13     .6934E+03      2.8410      .3088      .3112      -.0025
14     .7852E+03      2.8950      .3017      .3078      -.0061
15     .7954E+03      2.9006      .2947      .3075      -.0128
16     .8362E+03      2.9223      .2877      .3063      -.0186

```

Sum of squares of observed versus fitted values

```

=====
Unweighted      Weighted
Retention data      .00118      .00118
Cond/Diff data      .00000      .00000
All data      .00118      .00118
End of problem
=====

```

```

*****
*
*   Analysis of soil hydraulic properties
*
*   Curva de Retención del Suelo (parcial )
*       Cabimbú Suelo 2
*   Mualem-based restriction, M=1-1/N
*   Analysis of retention data only
*   MType= 3      Method= 3
*
*****

```

Initial values of the coefficients

```

=====
No      Name      Initial value  Index
1      ThetaR      .2934          0
2      ThetaS      .4432          0
3      Alpha       .0750          1
4      n           1.8900         1
5      m           .4709          0
6      l           .5000          0
7      Ks          4.4208         0

```

Observed data

=====

Obs. No.	Pressure head	Water content coefficient	Weighting
1	20.394	.4617	1.0000
2	30.591	.4593	1.0000
3	61.182	.4544	1.0000
4	81.576	.4445	1.0000
5	101.970	.4323	1.0000
6	132.561	.4151	1.0000
7	163.152	.4102	1.0000
8	193.743	.4028	1.0000
9	224.334	.3954	1.0000
10	254.925	.3758	1.0000
11	387.486	.3660	1.0000
12	469.062	.3586	1.0000
13	693.396	.3242	1.0000
14	785.169	.3168	1.0000
15	795.366	.3095	1.0000
16	836.154	.3021	1.0000

NIT	SSQ	Alpha	n
0	.11191	.0750	1.8900
1	.08264	.0044	1.0314
2	.01955	.0244	1.4738
3	.01000	.0128	1.4354
4	.00762	.0084	1.5368
5	.00606	.0080	1.6254
6	.00506	.0073	1.7031
7	.00338	.0050	1.9237
8	.00246	.0038	2.4070

9	.00178	.0043	2.4271
10	.00178	.0044	2.4384
11	.00178	.0044	2.4360
12	.00178	.0044	2.4364
13	.00178	.0044	2.4363

Correlation matrix

```

=====
      Alpha      n
      1          2
1  1.0000
2  -.7151    1.0000

```

RSquared for regression of observed vs fitted values = .96118285

Nonlinear least-squares analysis: final results

```

=====
Variable      Value      S.E.Coeff.      T-Value      95% Confidence limits
              Lower      Upper
Alpha         .00436      .00039         11.24         .0035         .0052
n             2.43630      .20649         11.80         1.9934         2.8792

```

Observed abd fitted data

```

=====
NO      P          log-P      WC-obs      WC-fit      WC-dev
1      .2039E+02      1.3095      .4617      .4430      .0188
2      .3059E+02      1.4856      .4593      .4426      .0167
3      .6118E+02      1.7866      .4544      .4398      .0146
4      .8158E+02      1.9116      .4445      .4365      .0080
5      .1020E+03      2.0085      .4323      .4322      .0001
6      .1326E+03      2.1224      .4151      .4240      -.0089
7      .1632E+03      2.2126      .4102      .4145      -.0043
8      .1937E+03      2.2872      .4028      .4044      -.0016
9      .2243E+03      2.3509      .3954      .3946      .0009
10     .2549E+03      2.4064      .3758      .3853      -.0095
11     .3875E+03      2.5883      .3660      .3545      .0115
12     .4691E+03      2.6712      .3586      .3422      .0164
13     .6934E+03      2.8410      .3242      .3229      .0013
14     .7852E+03      2.8950      .3168      .3183      -.0014
15     .7954E+03      2.9006      .3095      .3178      -.0084
16     .8362E+03      2.9223      .3021      .3162      -.0141

```

Sum of squares of observed versus fitted values

```

=====
              Unweighted      Weighted
Retention data      .00178      .00178
Cond/Diff data      .00000      .00000
All data            .00178      .00178

```

End of problem

```

*****
*
*   Analysis of soil hydraulic properties
*
*   Curva de Retención del Suelo (parcial )
*       Cabimbú Suelo 3
*   Mualem-based restriction, M=1-1/N
*   Analysis of retention data only
*   MType= 3      Method= 3
*
*****

```

Initial values of the coefficients

```

=====

```

No	Name	Initial value	Index
1	ThetaR	.3251	0
2	ThetaS	.4966	0
3	Alpha	.0750	1
4	n	1.8900	1
5	m	.4709	0
6	l	.5000	0
7	Ks	4.4208	0

Observed data

```

=====

```

Obs. No.	Pressure head	Water content	Weighting
	coefficient		
1	20.394	.4969	1.0000
2	30.591	.4943	1.0000
3	61.182	.4890	1.0000
4	81.576	.4784	1.0000
5	101.970	.4652	1.0000
6	132.561	.4467	1.0000
7	163.152	.4414	1.0000
8	193.743	.4335	1.0000
9	224.334	.4256	1.0000
10	254.925	.4044	1.0000
11	387.486	.3938	1.0000
12	469.062	.3859	1.0000
13	693.396	.3489	1.0000
14	785.169	.3410	1.0000
15	795.366	.3330	1.0000
16	836.154	.3251	1.0000

NIT	SSQ	Alpha	n
0	.10280	.0750	1.8900
1	.04871	.0168	1.1764
2	.01852	.0286	1.2779
3	.01467	.0283	1.3307
4	.01296	.0246	1.3701
5	.01019	.0157	1.4448
6	.00840	.0148	1.5054

7	.00635	.0080	1.6752
8	.00299	.0057	2.0624
9	.00151	.0059	2.3043
10	.00151	.0059	2.3034
11	.00151	.0060	2.3011
12	.00151	.0060	2.3012

Correlation matrix

```
=====
      Alpha      n
      1          2
1  1.0000
2  -.7641    1.0000
```

RSquared for regression of observed vs fitted values = .97156725

Nonlinear least-squares analysis: final results

```
=====
                                     95% Confidence limits
Variable      Value      S.E.Coeff.      T-Value      Lower      Upper
Alpha          .00595      .00047      12.67      .0049      .0070
n              2.30124      .15166      15.17      1.9759      2.6265
```

Observed abd fitted data

```
=====
NO      P      log-P      WC-obs      WC-fit      WC-dev
1      .2039E+02      1.3095      .4969      .4958      .0011
2      .3059E+02      1.4856      .4943      .4947      -.0004
3      .6118E+02      1.7866      .4890      .4878      .0012
4      .8158E+02      1.9116      .4784      .4806      -.0021
5      .1020E+03      2.0085      .4652      .4719      -.0067
6      .1326E+03      2.1224      .4467      .4575      -.0108
7      .1632E+03      2.2126      .4414      .4432      -.0018
8      .1937E+03      2.2872      .4335      .4299      .0036
9      .2243E+03      2.3509      .4256      .4182      .0073
10     .2549E+03      2.4064      .4044      .4081      -.0037
11     .3875E+03      2.5883      .3938      .3786      .0152
12     .4691E+03      2.6712      .3859      .3679      .0180
13     .6934E+03      2.8410      .3489      .3516      -.0027
14     .7852E+03      2.8950      .3410      .3478      -.0068
15     .7954E+03      2.9006      .3330      .3474      -.0144
16     .8362E+03      2.9223      .3251      .3461      -.0209
```

Sum of squares of observed versus fitted values

```
=====
                        Unweighted      Weighted
Retention data          .00151          .00151
Cond/Diff data          .00000          .00000
  All data              .00151          .00151
End of problem
=====
```

```

*****
*
*   Analysis of soil hydraulic properties
*
*   Welcome to RETC
*       Cabimbú Suelo 4
*   Mualem-based restriction, M=1-1/N
*   MType= 3      Method= 3
*
*****

```

Initial values of the coefficients

```

=====

```

No	Name	Initial value	Index
1	ThetaR	.2932	0
2	ThetaS	.6069	0
3	Alpha	7.5000	0
4	n	1.8900	0
5	m	.4709	0
6	l	.5000	0
7	Ks	.0442	0

Soil hydraulic properties (MType = 3)

```

=====

```

WC	P	logP	Cond	logK	Dif	logD
.2940	-.1093E+03	2.039	.4792E-14	-14.319	.7356E-09	-9.133
.2948	-.5018E+02	1.701	.1287E-12	-12.890	.4534E-08	-8.344
.2964	-.2303E+02	1.362	.3457E-11	-11.461	.2794E-07	-7.554
.2996	-.1057E+02	1.024	.9284E-10	-10.032	.1722E-06	-6.764
.3028	-.6699E+01	.826	.6364E-09	-9.196	.4992E-06	-6.302
.3060	-.4848E+01	.686	.2494E-08	-8.603	.1062E-05	-5.974
.3092	-.3771E+01	.576	.7198E-08	-8.143	.1909E-05	-5.719
.3124	-.3071E+01	.487	.1711E-07	-7.767	.3083E-05	-5.511
.3156	-.2582E+01	.412	.3559E-07	-7.449	.4624E-05	-5.335
.3188	-.2220E+01	.346	.6713E-07	-7.173	.6572E-05	-5.182
.3220	-.1944E+01	.289	.1175E-06	-6.930	.8964E-05	-5.047
.3252	-.1725E+01	.237	.1939E-06	-6.712	.1184E-04	-4.927
.3284	-.1549E+01	.190	.3052E-06	-6.515	.1523E-04	-4.817
.3316	-.1403E+01	.147	.4617E-06	-6.336	.1917E-04	-4.717
.3348	-.1281E+01	.107	.6759E-06	-6.170	.2370E-04	-4.625
.3380	-.1177E+01	.071	.9621E-06	-6.017	.2885E-04	-4.540
.3412	-.1088E+01	.037	.1337E-05	-5.874	.3467E-04	-4.460
.3444	-.1010E+01	.004	.1819E-05	-5.740	.4118E-04	-4.385
.3476	-.9421E+00	-.026	.2429E-05	-5.615	.4842E-04	-4.315
.3508	-.8820E+00	-.055	.3192E-05	-5.496	.5644E-04	-4.248
.3540	-.8285E+00	-.082	.4133E-05	-5.384	.6526E-04	-4.185
.3572	-.7806E+00	-.108	.5282E-05	-5.277	.7494E-04	-4.125
.3604	-.7375E+00	-.132	.6673E-05	-5.176	.8550E-04	-4.068
.3636	-.6984E+00	-.156	.8340E-05	-5.079	.9699E-04	-4.013
.3668	-.6628E+00	-.179	.1032E-04	-4.986	.1095E-03	-3.961
.3700	-.6304E+00	-.200	.1266E-04	-4.897	.1229E-03	-3.910
.3732	-.6006E+00	-.221	.1541E-04	-4.812	.1375E-03	-3.862
.3764	-.5731E+00	-.242	.1861E-04	-4.730	.1532E-03	-3.815
.3796	-.5478E+00	-.261	.2233E-04	-4.651	.1700E-03	-3.770

.3828	-.5243E+00	-.280	.2661E-04	-4.575	.1881E-03	-3.726
.3860	-.5025E+00	-.299	.3153E-04	-4.501	.2074E-03	-3.683
.3892	-.4822E+00	-.317	.3715E-04	-4.430	.2281E-03	-3.642
.3924	-.4631E+00	-.334	.4356E-04	-4.361	.2501E-03	-3.602
.3956	-.4453E+00	-.351	.5081E-04	-4.294	.2736E-03	-3.563
.3988	-.4286E+00	-.368	.5902E-04	-4.229	.2987E-03	-3.525
.4020	-.4129E+00	-.384	.6826E-04	-4.166	.3253E-03	-3.488
.4052	-.3981E+00	-.400	.7863E-04	-4.104	.3536E-03	-3.451
.4084	-.3841E+00	-.416	.9024E-04	-4.045	.3837E-03	-3.416
.4116	-.3709E+00	-.431	.1032E-03	-3.986	.4156E-03	-3.381
.4148	-.3583E+00	-.446	.1176E-03	-3.929	.4495E-03	-3.347
.4180	-.3464E+00	-.460	.1337E-03	-3.874	.4853E-03	-3.314
.4212	-.3350E+00	-.475	.1515E-03	-3.820	.5233E-03	-3.281
.4244	-.3242E+00	-.489	.1711E-03	-3.767	.5636E-03	-3.249
.4276	-.3139E+00	-.503	.1928E-03	-3.715	.6061E-03	-3.217
.4308	-.3041E+00	-.517	.2167E-03	-3.664	.6512E-03	-3.186
.4340	-.2947E+00	-.531	.2430E-03	-3.614	.6989E-03	-3.156
.4372	-.2857E+00	-.544	.2718E-03	-3.566	.7493E-03	-3.125
.4404	-.2770E+00	-.557	.3035E-03	-3.518	.8026E-03	-3.096
.4436	-.2687E+00	-.571	.3381E-03	-3.471	.8589E-03	-3.066
.4468	-.2608E+00	-.584	.3759E-03	-3.425	.9185E-03	-3.037
.4500	-.2531E+00	-.597	.4172E-03	-3.380	.9816E-03	-3.008
.4533	-.2457E+00	-.610	.4621E-03	-3.335	.1048E-02	-2.980
.4565	-.2386E+00	-.622	.5111E-03	-3.291	.1119E-02	-2.951
.4597	-.2317E+00	-.635	.5644E-03	-3.248	.1193E-02	-2.923
.4629	-.2250E+00	-.648	.6222E-03	-3.206	.1272E-02	-2.895
.4661	-.2186E+00	-.660	.6850E-03	-3.164	.1356E-02	-2.868
.4693	-.2123E+00	-.673	.7531E-03	-3.123	.1444E-02	-2.840
.4725	-.2063E+00	-.685	.8268E-03	-3.083	.1538E-02	-2.813
.4757	-.2004E+00	-.698	.9066E-03	-3.043	.1637E-02	-2.786
.4789	-.1947E+00	-.711	.9930E-03	-3.003	.1742E-02	-2.759
.4821	-.1892E+00	-.723	.1086E-02	-2.964	.1854E-02	-2.732
.4853	-.1838E+00	-.736	.1187E-02	-2.925	.1972E-02	-2.705
.4885	-.1786E+00	-.748	.1296E-02	-2.887	.2098E-02	-2.678
.4917	-.1734E+00	-.761	.1414E-02	-2.850	.2232E-02	-2.651
.4949	-.1684E+00	-.774	.1540E-02	-2.812	.2375E-02	-2.624
.4981	-.1636E+00	-.786	.1677E-02	-2.775	.2527E-02	-2.597
.5013	-.1588E+00	-.799	.1824E-02	-2.739	.2689E-02	-2.570
.5045	-.1541E+00	-.812	.1983E-02	-2.703	.2861E-02	-2.543
.5077	-.1496E+00	-.825	.2154E-02	-2.667	.3046E-02	-2.516
.5109	-.1451E+00	-.838	.2338E-02	-2.631	.3244E-02	-2.489
.5141	-.1407E+00	-.852	.2537E-02	-2.596	.3456E-02	-2.461
.5173	-.1364E+00	-.865	.2751E-02	-2.561	.3684E-02	-2.434
.5205	-.1321E+00	-.879	.2981E-02	-2.526	.3928E-02	-2.406
.5237	-.1279E+00	-.893	.3230E-02	-2.491	.4192E-02	-2.378
.5269	-.1238E+00	-.907	.3497E-02	-2.456	.4477E-02	-2.349
.5301	-.1197E+00	-.922	.3786E-02	-2.422	.4785E-02	-2.320
.5333	-.1157E+00	-.937	.4097E-02	-2.388	.5119E-02	-2.291
.5365	-.1117E+00	-.952	.4433E-02	-2.353	.5483E-02	-2.261
.5397	-.1078E+00	-.967	.4796E-02	-2.319	.5880E-02	-2.231
.5429	-.1039E+00	-.984	.5189E-02	-2.285	.6314E-02	-2.200
.5461	-.9998E-01	-1.000	.5613E-02	-2.251	.6790E-02	-2.168
.5493	-.9612E-01	-1.017	.6073E-02	-2.217	.7316E-02	-2.136
.5525	-.9227E-01	-1.035	.6573E-02	-2.182	.7898E-02	-2.102

.5557	-.8842E-01	-1.053	.7115E-02	-2.148	.8546E-02	-2.068
.5589	-.8458E-01	-1.073	.7705E-02	-2.113	.9271E-02	-2.033
.5621	-.8072E-01	-1.093	.8349E-02	-2.078	.1009E-01	-1.996
.5653	-.7684E-01	-1.114	.9053E-02	-2.043	.1101E-01	-1.958
.5685	-.7293E-01	-1.137	.9826E-02	-2.008	.1207E-01	-1.918
.5717	-.6897E-01	-1.161	.1068E-01	-1.972	.1330E-01	-1.876
.5749	-.6495E-01	-1.187	.1162E-01	-1.935	.1473E-01	-1.832
.5781	-.6084E-01	-1.216	.1266E-01	-1.897	.1642E-01	-1.785
.5813	-.5663E-01	-1.247	.1383E-01	-1.859	.1847E-01	-1.734
.5845	-.5228E-01	-1.282	.1515E-01	-1.820	.2098E-01	-1.678
.5877	-.4775E-01	-1.321	.1666E-01	-1.778	.2417E-01	-1.617
.5909	-.4297E-01	-1.367	.1840E-01	-1.735	.2835E-01	-1.547
.5941	-.3784E-01	-1.422	.2045E-01	-1.689	.3413E-01	-1.467
.5973	-.3222E-01	-1.492	.2295E-01	-1.639	.4276E-01	-1.369
.6005	-.2577E-01	-1.589	.2615E-01	-1.582	.5752E-01	-1.240
.6037	-.1771E-01	-1.752	.3073E-01	-1.512	.9139E-01	-1.039
.6053	-.1222E-01	-1.913	.3426E-01	-1.465	.1395E+00	-.855
.6061	-.8449E-02	-2.073	.3692E-01	-1.433	.2070E+00	-.684
.6066	-.5196E-02	-2.284	.3941E-01	-1.404	.3390E+00	-.470
.6069	-.1536E-02	-2.814	.4256E-01	-1.371	.1080E+01	.034
.6069	-.4541E-03	-3.343	.4365E-01	-1.360	.3276E+01	.515
.6069	.0000E+00		.4421E-01	-1.354		

End of problem

=====

www.bdigital.ula.ve

```

*****
*
*   Analysis of soil hydraulic properties
*
*   Curva de Retención del Suelo (parcial )
*       Cabimbú Suelo 5
*   Mualem-based restriction, M=1-1/N
*   Analysis of retention data only
*   MType= 3      Method= 3
*
*****

```

Initial values of the coefficients

```

=====

```

No	Name	Initial value	Index
1	ThetaR	.2727	0
2	ThetaS	.5935	0
3	Alpha	.0750	1
4	n	1.8900	1
5	m	.4709	0
6	l	.5000	0
7	Ks	4.4208	0

Observed data

```

=====

```

Obs. No.	Pressure head	Water content	Weighting coefficient
1	20.394	.5644	1.0000
2	30.591	.5563	1.0000
3	61.182	.5481	1.0000
4	81.576	.5263	1.0000
5	101.970	.4936	1.0000
6	132.561	.4854	1.0000
7	163.152	.4772	1.0000
8	193.743	.4581	1.0000
9	224.334	.4417	1.0000
10	254.925	.3899	1.0000
11	387.486	.3654	1.0000
12	469.062	.3463	1.0000
13	693.396	.3354	1.0000
14	785.169	.3218	1.0000
15	795.366	.2945	1.0000
16	836.154	.2727	1.0000

NIT	SSQ	Alpha	n
0	.26102	.0750	1.8900
1	.06354	.0269	1.2774
2	.03407	.0324	1.3434
3	.02888	.0312	1.3819
4	.02607	.0283	1.4113
5	.01986	.0150	1.5172
6	.01452	.0085	1.7687
7	.00606	.0084	2.0052
8	.00595	.0084	2.0410
9	.00595	.0084	2.0372

```

10      .00595      .0085      2.0372
11      .00595      .0085      2.0372

```

Correlation matrix

```

=====
      Alpha      n
      1          2
1      1.0000
2      -.8290      1.0000

```

RSquared for regression of observed vs fitted values = .95872395

Nonlinear least-squares analysis: final results

```

=====
Variable      Value      S.E.Coeff.      T-Value      95% Confidence limits
Lower      Upper
Alpha      .00845      .00091      9.31      .0065      .0104
n      2.03718      .12912      15.78      1.7602      2.3141

```

Observed abd fitted data

```

=====
NO      P      log-P      WC-obs      WC-fit      WC-dev
1      .2039E+02      1.3095      .5644      .5890      -.0246
2      .3059E+02      1.4856      .5563      .5836      -.0273
3      .6118E+02      1.7866      .5481      .5578      -.0097
4      .8158E+02      1.9116      .5263      .5365      -.0102
5      .1020E+03      2.0085      .4936      .5148      -.0212
6      .1326E+03      2.1224      .4854      .4845      .0009
7      .1632E+03      2.2126      .4772      .4585      .0187
8      .1937E+03      2.2872      .4581      .4368      .0213
9      .2243E+03      2.3509      .4417      .4189      .0228
10     .2549E+03      2.4064      .3899      .4041      -.0141
11     .3875E+03      2.5883      .3654      .3624      .0030
12     .4691E+03      2.6712      .3463      .3473      -.0010
13     .6934E+03      2.8410      .3354      .3232      .0121
14     .7852E+03      2.8950      .3218      .3173      .0045
15     .7954E+03      2.9006      .2945      .3167      -.0222
16     .8362E+03      2.9223      .2727      .3145      -.0418

```

Sum of squares of observed versus fitted values

```

=====
Unweighted      Weighted
Retention data      .00595      .00595
Cond/Diff data      .00000      .00000
All data      .00595      .00595

```

End of problem

APÉNDICE F. MANEJO DEL RIEGO POR TENSIONETRÍA EN LA PARCELA DEL ENSAYO

Hum (θ) -0.0000000069 12 0.0000007852 12 0.0000210813 12 -0.0053568417 12 0.492268812 0.4322

Hum (θ) -0.0000000069 20 0.0000007852 20 0.0000210813 20 -0.0053568417 20 0.492268812 0.3987

dn 6.48 mm
 SI 0.6
 Se 0.3
 qe 1.50
 ef= 0.95
 Zr= 300 mm

Da= 1.55

Da= 1.51

Da= 1.49

L1 Lámina I 12 cb

L2 Lámina II 24 cb

L3 Lámina III 36 cb

ψ	(θ) m3m-3	Hum (%)	db (mm)	tr (min)
12	0.4322	27.89	0.00	0
13	0.4277	27.59	0.92	7
14	0.4233	27.31	1.82	13
15	0.4190	27.03	2.70	19
16	0.4147	26.76	3.57	26
17	0.4106	26.49	4.41	32
18	0.4065	26.23	5.24	38
19	0.4026	25.97	6.04	43
20	0.3987	25.73	6.82	49
21	0.3950	25.48	7.59	55
22	0.3914	25.25	8.33	60
23	0.3878	25.02	9.05	65
24	0.3844	24.80	9.74	70
25	0.3811	24.59	10.42	75
26	0.3779	24.38	11.07	80
27	0.3748	24.18	11.70	84
28	0.3718	23.99	12.31	89
29	0.3689	23.80	12.90	93
30	0.3661	23.62	13.46	97
31	0.3635	23.45	14.01	101
32	0.3609	23.29	14.53	105
33	0.3585	23.13	15.03	108
34	0.3561	22.98	15.50	112
35	0.3539	22.83	15.96	115
36	0.3518	22.70	16.39	118
37	0.3498	22.57	16.80	121
38	0.3478	22.44	17.19	124
39	0.3460	22.32	17.56	126
40	0.3443	22.21	17.91	129

ψ	(θ) m3m-3	Hum (%)	db (mm)	tr (min)
24	0.3844	25.46	0.00	0
25	0.3811	25.24	0.69	5
26	0.3779	25.03	1.36	10
27	0.3748	24.82	2.01	14
28	0.3718	24.62	2.64	19
29	0.3689	24.43	3.24	23
30	0.3661	24.25	3.82	28
31	0.3635	24.07	4.38	32
32	0.3609	23.90	4.91	35
33	0.3585	23.74	5.42	39
34	0.3561	23.59	5.91	43
35	0.3539	23.44	6.38	46
36	0.3518	23.30	6.82	49
37	0.3498	23.16	7.25	52
38	0.3478	23.04	7.65	55
39	0.3460	22.92	8.03	58
40	0.3443	22.80	8.39	60
41	0.3427	22.70	8.72	63
42	0.3412	22.59	9.04	65
43	0.3397	22.50	9.34	67
44	0.3384	22.41	9.62	69

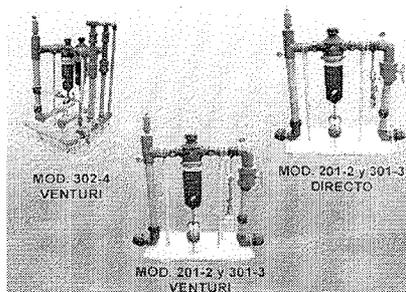
ψ	(θ) m3m-3	Hum (%)	db (mm)	tr (min)
36	0.3518	23.61	0.00	0
37	0.3498	23.47	0.43	3
38	0.3478	23.35	0.84	6
39	0.3460	23.22	1.22	9
40	0.3443	23.11	1.58	11
41	0.3427	23.00	1.93	14
42	0.3412	22.90	2.25	16
43	0.3397	22.80	2.55	18
44	0.3384	22.71	2.84	20
45	0.3372	22.63	3.10	22
46	0.3360	22.55	3.35	24
47	0.3349	22.48	3.58	26
48	0.3339	22.41	3.79	27
49	0.3330	22.35	3.98	29
50	0.3322	22.29	4.16	30
51	0.3314	22.24	4.33	31
52	0.3307	22.19	4.48	32
53	0.3300	22.15	4.61	33
54	0.3294	22.11	4.74	34
55	0.3289	22.07	4.85	35
56	0.3284	22.04	4.95	36
57	0.3280	22.01	5.04	36
58	0.3276	21.99	5.12	37

APÉNDICE G

MANUAL TÉCNICO AGROISLEÑA

FILTRADO

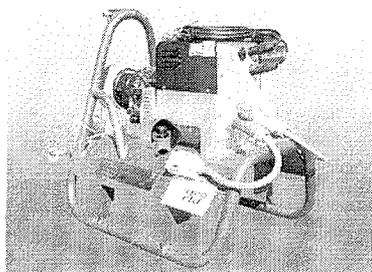
EQUIPOS DE FILTRADO



MODELO	Q (lps)
201/2" VENT. DIRECTO	5
201/2" INY. VENTURI	5
301/3" INY. VENTURI	8
202/3" INY. VENTURI	12
302/4" INY. VENTURI	20
303/6" INY. VENTURI	30
304/6" INY. VENTURI	40

GENERADOR - SOLDADOR

GENERADOR-SOLDADOR ARC-300TDC. 7 KVA – 110/220V (PARA TRACTOR)



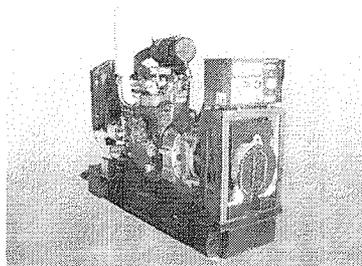
Modelo

ARC-300TDC 7 KVA – 110/220V Para Tractor

Descripción:

Incluye Cardan, Bormeras para conexión 110 y 220v, pinzas para soldadura con 7 mts de cable (4.5 para positivo y 2.5 para el negativo), Kit de pasadores y bocinas para los tres puntos.

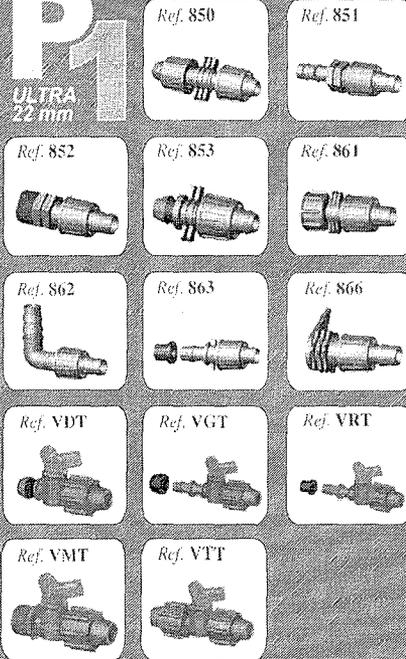
PLANTAS ELECTRICAS



Modelo	Potencia	Tension (v)	Corriente (A)	Características Técnicas
G37-M3	36.9 KVA 29.5 KW	127	167	Moto: MWM D229-3
		220	96	45HP. 1800 RPM
		254	83	Generador SINCRÓ JB4-SE
		440	48	Trifásico. FREQ. 60hz
G50-M4	49.5 KVA 39.6 KW	127	224	Motor MWM DC29-4
		220	129	60HP. 1800 RPM
		254	112	Generador SINCRÓ JB4-LAB
		440	69	Trifásico. FREQ. 60hz
G73-M6	73.3 KVA 58.6 KW	127	333	Motor MWM D229-6
		220	192	90HP. 1800 RPM
		254	167	Generador SINCRÓ JB4-CA
		440	96	Trifásico. FREQ. 60hz
G105-MTD6	105 KVA 84 KW	127	477	Motor MWM TD229-EC6
		220	275	175HP. 1800 RPM
		254	238	Generador SINCRÓ JB4-MA
		440	137	Trifásico. FREQ. 60hz
G141-MT6	141 KVA 112.8 KW	127	636	Motor MWM 6 10T-6CII
		220	367	163HP. 1800 RPM
		254	310	Generador SINCRÓ SK-250-SS
		440	183	Trifásico. FREQ. 60hz
G175-MTCA6	175 KVA 140 KW	127	795	Motor MWM TU229-EC6
		220	459	195HP. 1800 RPM
		254	394	Generador SINCRÓ SK-250-SL
		440	229	Trifásico. FREQ. 60hz

RACCORDI e VALVOLE

P1
ULTRA
22 mm



ALA GOCCIOLANTE LEGGERA P1 ULTRA 22 mm

Lunghezze consigliate, volte il tubo in anelli, in funzione della pendenza del terreno (P) e della portata (Q):

MODELLO	PENDENZA %	E.U. %	Spaziatura in cm							
			20	30	40	50	60	75	100	
22 mm 1,10 lph	2	95	44	45	46	46	46	46	46	46
		90	143	157	165	170	173	176	178	
		85	191	213	227	235	240	246	251	
	0	95	136	176	212	244	274	316	379	
		90	250	324	389	449	504	580	697	
		85	309	401	481	555	623	718	863	
-2	95	52	50	49	49	49	49	49		
	90	269	438	541	646	393	268	246		
	85	337	413	500	658	799	912	920		
22 mm 1,50 lph	2	95	40	41	42	42	42	43	43	
		90	125	140	149	154	158	162	165	
		85	166	189	204	213	220	227	233	
	0	95	109	141	169	195	219	252	303	
		90	201	260	312	360	404	466	560	
		85	249	322	387	446	501	578	649	
-2	95	51	47	46	46	45	45	45		
	90	256	342	377	585	570	366	236		
	85	309	411	460	535	645	741	820		
22 mm 2,10 lph	2	95	40	42	43	43	44	44	44	
		90	113	130	142	149	155	160	166	
		85	148	173	190	202	211	221	231	
	0	95	89	115	138	159	179	206	248	
		90	164	212	255	294	330	380	457	
		85	203	263	316	364	409	471	566	
-2	95	92	52	49	48	48	47	47		
	90	204	273	336	394	447	531	651		
	85	245	328	403	471	534	615	723		
22 mm 3,80 lph	2	95	36	40	42	43	44	44	45	
		90	90	107	120	130	138	146	156	
		85	115	139	157	171	183	196	212	
	0	95	63	81	97	112	126	145	174	
		90	115	148	178	205	231	266	319	
		85	142	183	220	254	285	328	394	
-2	95	85	116	71	57	54	52	50		
	90	135	181	219	258	295	351	437		
	85	164	219	265	312	356	421	516		

Uscita Protetta

Il nuovo sistema con uscita protetta messo a punto dall'ufficio ricerca della AIT, permette l'interamento del P1 eliminando problemi di aspirazione di fango e detriti, riducendo al minimo la possibilità di intrusione delle radici. Il sistema agisce mediante uno "sportello" ottenuto con una particolare lavorazione del foro di emissione. Durante il ciclo d'irrigazione lo sportello si alza e garantisce una regolare fuoriuscita dell'acqua, al termine del ciclo irriguo lo sportello ritorna nella posizione di riposo, chiudendo il foro di emissione e, di conseguenza, bloccando le eventuali infiltrazioni di fanghi e detriti.

P1 disponibile con Uscita Protetta

Modello/Spessore	Portata LPH
P1 8 mil	1,10 - 1,50 - 2,10
P1 10 mil - P1 Ultra 10 mil	1,10 - 1,50 - 2,10
P1 12 mil - P1 Ultra 12 mil	1,10 - 1,50 - 2,10
P1 15 mil - P1 Ultra 15 mil	1,10 - 1,50 - 2,10



PENDENZA DEL TERRENO, (- DISCESA; + SALITA)

I valori esposti nelle tabelle sono calcolati con l'equazione di KELLER - KARMELI 1975

$$E.U. = 100 \left(1 - 1,27 \frac{CV}{\sqrt{H}} \right) \frac{Q_{max}}{Q_{media}}$$

CV = coefficiente di variazione teologico
 n = numero di gocciolatori per pianta
 Q_{max} = portata massima (lph)
 Q_{media} = portata media (lph)

Per un elevato livello di uniformità di erogazione in ogni porzione dell'impianto, si consiglia di utilizzare valori di E.U. maggiori o uguali al 90%

La AIT, nell'ottica di un costante miglioramento dei prodotti, si riserva la facoltà di variare in qualsiasi momento i dati contenuti nel presente catalogo, senza obbligo di preavviso.

Per ulteriori informazioni tecniche consultare i nostri manuali di installazione ed uso.



ADVANCED IRRIGATION TECHNOLOGY srl
 Via Giolitti - Frazione Rocca
 98070 CAPRILEONE (ME) - ITALY
 Tel./Fax 0941.960448
 www.waterirrigation.com

CAPTURAS DE PANTALLA Y SALIDAS DEL PROGRAMA
RIEGOLOC2002[®] UTILIZADO PARA DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO
EN LA PARCELA DEL ENSAYO

APÉNDICE I

www.bdigital.ula.ve

DISEÑO AGRONÓMICO: Mejar franjas continuas de suelo (n° emis./planta fracc.)

DATOS DE ENTRADA

IMin = 24 horas

IMax = 96 horas

No Regar Domingo

ProfRaiz = 0.45 m [25%]

Fija var. profundidad

Pw min. 40%

Sp = 0.30 m

Sf = 0.60 m

gnom = 1.50 l/h

Nn = 5.50 mm/día

LR = 0.00 (tanto por 1) CU = 95 %

Prueba Campo

RECUPERAR

INCLAR

GUARDAR

RESULTADOS

Distacia entre Laterales	0.60 m	Número de emisores	1.00 emis./planta - 5.56 emis./m ²
Distancia entre emisores	0.30 m	Profundidad Mojada	0.33 m
Intervalo entre riegos	96.00 horas	Radio Mojado estimado	0.17 m
Frecuencia Riego	riego cada 4 días	Porcentaje Superficie Mojada	48.90 %
Tiempo de Aplicación	2.73 horas/riego	% Solapes	
Dosis Riego	4.17 l/planta - 231.56 m ³ /ha	LATERAL	TRANSVERSAL
		SL 25.69 %	ST 0.00 %

artoreo Ver Diseño CERRAR ACEPTAR

RESOLVER Más Soluciones

Usando Solución? Otras Soluciones

IP.MENU

PROYECTO: Parcela PAPA n° 9

CALCULO LATERAL ALIMENTADO POR UN EXTREMO

DATOS DE ENTRADA

e = 1 emis. qa = 1.56 l/h

Caudal = 1.489 Presión = 0.577

CV = 0.023 (A) te = 0.20 m

Se = 0.30 m Se1 = 0.30 m

CU = 95 %

RECUPERAR

emisor: JICLEAR GUARDAR

s = 0.01 %

Pendientes No Uniforme

PE no estándar D1122.31

agua a 15 °C v = 1.14E-6 m²/s

Procedimiento Cálculo Darcy-Weisbach con:

BLASIUS-CHRISTIANSEN COLEBROOK

Tolerancia (DhMA) = 0.05 mca

Caudal Entrada: 53.04 l/h

Presión Entrada: 1.08 mca

Dir. Máx. Presión: 0.00 mca

Longitud: 10.20

Emisores: 34

LONGITUD Óptima

300 m

PROYECTO: Parcela FAPA - nº 9

www.bdigital.ula.ve

INFORMACIÓN DETALLADA DE LA TERCIARIA

Resultados | Ordenadas fricción | Informa Tramos | Gráficos

Caudal Entrada Terciaria: 2939.13 l/h

Presión Entrada Terciaria: 1.03 mca

Presión Media en Terciaria: 1.00 mca

Presión Media en conexión lateral: 1.00 mca

Lateral con Presión más próxima a la media: 35

Presión Final Cerrado: 1.00 mca

Presión Máxima en conexión lateral: 1.03 mca	Presión Mínima en conexión lateral: 0.99 mca
Lateral con Presión Max: 51	Lateral con Presión Min: 18

Diferencia Max Presión en terciaria: 0.04 mca

Cerrar Minimizar

DISEÑO Y CALCULO DE TUBERIAS TERCIARIAS (Subunidad rectangular)

DATOS DE ENTRADA

$h_1 = 1$ mca $q_l = 57.53$ l/h $(Df_0) = 0.57$ mca Tolerancia $(Df_{MA}) = 0.38$ mca

Dh (lateral) = 0.19 mca PCC

$N = 51$ laterales

LongTerc = 39.39 m Long. min. = 40 m
 $S_1 = 0.6$ m $S_{11} = 3$ m

Laterales no agrupados

$s = 0.13$ ‰
 Pendiente No Uniforme

Tuberia LDPE 0.4 MPa
 agua a 15°C - $\nu = 1.14 \times 10^{-6}$ m²/s

Utilizar ec. descarga lateral
 Dimensionar para q_0

RESOLVER
 IR MENU

PROYECTO: Parcela FAPA - n° 5 Cálculos Subunidad

www.bdigital.ula.ve

LIMITES DE UTILIZACION DEL PROYECTO

SALIDA DISEÑO AGRONOMICCO

eP= 1.00 emisores/planta
 eM2= 5.56 emisores/m2
 planta regada por 1 emis.
 Dp= 1.04 litros/planta y día
 qnom= 1.50 litros/hora CU= 95 %

Superficie a regar: Dotación Anual Riego

 Coef. Var. Fabric. CV= 2.31 %
 Coef. Descarga Kc= 1.439
 Exp. descarga x= 0.577

Tabla Emisores

TIEMPO DISPONIBLE PARA RIEGO (horas/día)

Tiempo disponible= 8.00 h / día

RESULTADOS

Unidades Operacionales N = 12 Turnos de Riego	Superficie Subunidad Media
Frecuencia de riego regar un mismo turno cada 4 días	Caudal del Sistema
Tiempo de Aplicación ta= 2.57 h/riego = 2 h 40 m 19 s 2.57 h / día en un mismo turno	Dotación Anual de Riego
Presión Media ha= 1.08 mca	Caudal Medio (Ajustado) qa= 1.58 litros/hora
Presión Mínima Subunidad hn= 1.04 mca	Caudal Mínimo del Emisor qn= 1.53 litros/hora
Tolerancia Presiones Subunidad DifMaxPresSubunidad= 0.10 mca	Tolerancia Presiones Lateral DifMaxPresLateral= 0.05 mca

ABS(qa-qnom/qnom= 0.040)

ACEPTAR CERRAR

RESOLVER

PROYECTO: Parcela PAPA - 1 - nº: 9

www.bdigital.ula.ve

APÉNDICE J
LECTURAS DE TENSIÓMETRO Y LÁMINAS DE REPOSICIÓN

www.bdigital.ula.ve

Lecturas de tensiómetros y láminas de reposición para la tensión a -12 cb; valores de lámina bruta obtenidos mediante la curva parcial de humedad del suelo y el modelo van Genuchten.

Fecha	Tensiómetros		db (mm)	tr (min)
	20 cm	30 cm		
	ψ (cb)			
12-may	10	12	0	
14-may	13	14	1,82	13
16-may	10	12	0	
18-may	11	12	0	
20-may	10	12	0	
22-may	11	12	0	
24-may	13	14	1,82	13
26-may	11	12	0	
28-may	14	14	1,82	13
30-may	16	15	2,7	19
02-jun	16	15	2,7	19
05-jun	12	10	0	
07-jun	12	10	0	
09-jun	13	11	0	
12-jun	16	14	1,82	13
14-jun	14	10	0	
16-jun	16	14	1,82	13
19-jun	18	15	2,7	
21-jun	14	13	0,92	7
23-jun	12	12	0	
26-jun	12	10	0	
28-jun	13	12	0	
30-jun	10	9	0	
02-jul	14	12	0	
04-jul	8	12	0	
06-jul	9	10	0	
08-jul	10	11	0	
10-jul	14	12	0	
12-jul	13	12	0	
14-jul	18	16	3,57	26
16-jul	14	12	0	
18-jul	9	11	0	
21-jul	22	16	3,57	26
23-jul	21	15	2,7	19
26-jul	13	12	0	
28-jul	15	12	0	
30-jul	10	14	1,82	13
02-ago	15	16	3,57	26
04-ago	16	14	1,82	13
06-ago	14	12	0	
09-ago	14	11	0	
11-ago	22	14	1,82	13
14-ago	10	12	0	
16-ago	11	12	0	

www.digital.ula.ve

Lecturas de tensiómetros y láminas de reposición para la tensión a -24 cb; valores de lámina bruta obtenidos mediante la curva parcial de humedad del suelo y el modelo van Genuchten.

Fecha	Tensiómetros		db (mm)	tr (min)
	20 cm	30 cm		
12-may	24	22	0	
14-may	30	28	2,64	19
16-may	36	35	6,38	46
18-may	30	26	1,36	NR
20-may	14	18	0	
22-may	24	22	0	
24-may	24	24	0	
26-may	38	32	4,91	35
28-may	38	34	5,91	43
30-may	32	38	7,65	55
02-jun	49	44	9,62	69
05-jun	22	24	0	
07-jun	32	30	3,82	28
09-jun	30	28	2,64	19
12-jun	26	24	0	
14-jun	14	22	0	
16-jun	18	24	0	
19-jun	25	28	2,64	
21-jun	28	30	3,82	28
23-jun	14	16	0	
26-jun	14	16	0	
28-jun	15	16	0	
30-jun	16	14	0	
02-jul	22	20	0	
04-jul	23	20	0	
06-jul	33	39	8,03	58
08-jul	25	43	9,34	67
10-jul	33	30	3,82	28
12-jul	38	29	3,24	23
14-jul	34	25	0,69	5
16-jul	35	18	0	
18-jul	17	20	0	
21-jul	29	20	0	
23-jul	46	23	0	
26-jul	52	30	3,82	28
28-jul	38	26	1,36	10
30-jul	32	32	4,91	35
02-ago	42	34	3,57	26
04-ago	16	14	1,82	13
06-ago	14	12	0	
09-ago	14	11	0	
11-ago	22	14	1,82	13
14-ago	10	12	0	
16-ago	11	12	0	

Lecturas de tensiómetros y láminas de reposición para la tensión a -36 cb; valores de lámina bruta obtenidos mediante la curva parcial de humedad del suelo y el modelo van Genuchten.

Fecha	Tensiómetros		db (mm)	tr (min)
	-36cb	30 cm		
	20 cm	30 cm		
	ψ (cb)			
12-may	38	35	0	
14-may	34	36	0	
16-may	44	40	1,58	NR
18-may	38	36	0	
20-may	38	35	0	
22-may	30	36	0	
24-may	50	44	0	
26-may	54	48	3,79	27
28-may	38	49	3,98	29
30-may	38	47	3,58	26
02-jun	50	48	3,79	27
05-jun	30	38	0,84	NR
07-jun	32	30	0	
09-jun	38	42	2,25	16
12-jun	32	36	0	
14-jun	43	36	0	
16-jun	24	42	2,25	16
19-jun	36	48	3,79	27
21-jun	45	48	3,79	27
23-jun	33	30	0	
26-jun	40	38	0	
28-jun	48	42	0	
30-jun	51	30	0	
02-jul	22	30	0	
04-jul	21	28	0	
06-jul	42	49	3,98	29
08-jul	39	38	0,84	NR
10-jul	45	46	3,35	24
12-jul	48	46	3,35	24
14-jul	45	38	0,84	NR
16-jul	48	42	2,25	16
18-jul	31	49	3,98	29
21-jul	52	51	4,33	31
23-jul	32	36	0	
26-jul	44	42	2,25	16
28-jul	50	51	4,33	31
30-jul	41	48	3,79	27
02-ago	44	55	4,85	35
04-ago	48	40	1,58	11
06-ago	25	39	1,22	9
09-ago	42	47	3,58	26
11-ago	51	58	5,12	37
14-ago	28	42	2,25	16
16-ago	24	40	1,58	11

APÉNDICE K

VALORES ORIGINALES DE ALTURA DE PLANTA, N° DE TALLOS Y
N° DE HOJAS

www.bdigital.ula.ve

VALORES ORIGINALES DE ALTURA DE PLANTA (CM)

Obs	Lamina	fertil	replic	lval	lleval	lleval	Iveval	Obs	Lamina	fertil	replic	lval	lleval	lleval	Iveval
1	12cb	FertI	1	18	35	76	124	37	36cb	FertII	2	12	30	60	98
2	12cb	FertI	2	22	32	75	122	38	36cb	FertII	3	10	28	58	96
3	12cb	FertI	3	21	33	71	115	39	36cb	FertII	4	18	29	70	106
4	12cb	FertI	4	19	30	68	112	40	36cb	FertII	5	10	30	51	108
5	12cb	FertI	5	20	24	65	108	41	36cb	FertIII	1	22	28	63	99
6	12cb	FertII	1	13	28	62	104	42	36cb	FertIII	2	19	25	59	96
7	12cb	FertII	2	14	25	68	116	43	36cb	FertIII	3	18	28	65	106
8	12cb	FertII	3	17	30	77	131	44	36cb	FertIII	4	20	25	69	96
9	12cb	FertII	4	16	29	70	118	45	36cb	FertIII	5	22	24	67	108
10	12cb	FertII	5	15	28	66	111								
11	12cb	FertIII	1	18	47	67	100								
12	12cb	FertIII	2	20	45	75	117								
13	12cb	FertIII	3	21	42	65	98								
14	12cb	FertIII	4	22	40	65	99								
15	12cb	FertIII	5	16	47	69	105								
16	24cb	FertI	1	10	43	74	120								
17	24cb	FertI	2	12	45	64	98								
18	24cb	FertI	3	14	40	70	111								
19	24cb	FertI	4	14	36	56	86								
20	24cb	FertI	5	10	38	63	100								
21	24cb	FertII	1	26	40	73	112								
22	24cb	FertII	2	24	42	72	110								
23	24cb	FertII	3	20	40	75	119								
24	24cb	FertII	4	22	38	71	112								
25	24cb	FertII	5	18	36	72	117								
26	24cb	FertIII	1	15	32	70	115								
27	24cb	FertIII	2	18	36	69	110								
28	24cb	FertIII	3	13	31	75	128								
29	24cb	FertIII	4	16	30	75	127								
30	24cb	FertIII	5	17	33	72	119								
31	36cb	FertI	1	12	32	51	79								
32	36cb	FertI	2	12	33	53	83								
33	36cb	FertI	3	16	30	51	78								
34	36cb	FertI	4	12	31	62	82								
35	36cb	FertI	5	10	32	50	99								
36	36cb	FertII	1	12	31	66	110								

VALORES ORIGINALES DE NÚMERO DE HOJAS

Obs	Lamina	fertil	replic	leval	lleval	lleval	lleval	36	36cb	FertII	1	6	21	164	315
1	12cb	FertI	1	22	18	61	102	Obs	Lamina	fertil	replic	leval	lleval	lleval	lleval
2	12cb	FertI	2	24	22	45	68	37	36cb	FertII	2	12	18	69	123
3	12cb	FertI	3	20	26	49	75	38	36cb	FertII	3	8	12	41	73
4	12cb	FertI	4	17	38	85	141	39	36cb	FertII	4	10	14	174	337
5	12cb	FertI	5	22	33	96	165	40	36cb	FertII	5	6	12	30	51
6	12cb	FertII	1	18	20	99	179	41	36cb	FertIII	1	13	16	72	129
7	12cb	FertII	2	22	16	115	212	42	36cb	FertIII	2	12	12	49	86
8	12cb	FertII	3	16	21	107	195	43	36cb	FertIII	3	18	17	43	68
9	12cb	FertII	4	16	22	115	212	44	36cb	FertIII	4	16	16	164	312
10	12cb	FertII	5	22	23	69	115	45	36cb	FertIII	5	16	14	128	242
11	12cb	FertIII	1	23	26	145	267								
12	12cb	FertIII	2	22	27	153	283								
13	12cb	FertIII	3	24	27	66	106								
14	12cb	FertIII	4	25	26	64	103								
15	12cb	FertIII	5	23	29	43	59								
16	24cb	FertI	1	16	26	127	234								
17	24cb	FertI	2	18	26	75	127								
18	24cb	FertI	3	12	28	122	223								
19	24cb	FertI	4	16	32	79	133								
20	24cb	FertI	5	20	26	50	76								
21	24cb	FertII	1	16	26	78	135								
22	24cb	FertII	2	18	21	57	94								
23	24cb	FertII	3	22	22	77	132								
24	24cb	FertII	4	16	20	46	73								
25	24cb	FertII	5	18	23	151	283								
26	24cb	FertIII	1	12	29	133	245								
27	24cb	FertIII	2	13	30	52	82								
28	24cb	FertIII	3	14	32	151	279								
29	24cb	FertIII	4	15	30	123	223								
30	24cb	FertIII	5	18	31	74	123								
31	36cb	FertI	1	14	22	100	183								
32	36cb	FertI	2	12	18	71	128								
33	36cb	FertI	3	13	16	36	58								
34	36cb	FertI	4	13	12	92	173								
35	36cb	FertI	5	14	17	61	106								

VALORES ORIGINALES DE NÚMERO DE TALLOS

Obs	Lamina	fertil	replic	lval	llevel	lllevel	lveval	Obs	Lamina	fertil	replic	lval	llevel	lllevel	lveval
1	12cb	FertI	1	3	4	4	2	37	36cb	FertII	2	3	3	3	2
2	12cb	FertI	2	4	3	3	3	38	36cb	FertII	3	3	3	3	3
3	12cb	FertI	3	3	3	3	3	39	36cb	FertII	4	3	3	3	2
4	12cb	FertI	4	4	3	3	3	40	36cb	FertII	5	2	2	2	2
5	12cb	FertI	5	4	3	3	3	41	36cb	FertIII	1	3	3	3	3
6	12cb	FertII	1	3	2	2	2	42	36cb	FertIII	2	3	2	2	2
7	12cb	FertII	2	4	2	2	3	43	36cb	FertIII	3	4	3	3	1
8	12cb	FertII	3	2	3	3	3	44	36cb	FertIII	4	4	3	3	3
9	12cb	FertII	4	5	2	2	3	45	36cb	FertIII	5	4	3	3	3
10	12cb	FertII	5	3	2	2	2								
11	12cb	FertIII	1	3	2	2	3								
12	12cb	FertIII	2	3	3	3	3								
13	12cb	FertIII	3	4	3	3	3								
14	12cb	FertIII	4	4	3	3	1								
15	12cb	FertIII	5	2	3	3	2								
16	24cb	FertI	1	3	2	2	2								
17	24cb	FertI	2	4	3	3	2								
18	24cb	FertI	3	2	3	3	3								
19	24cb	FertI	4	3	2	2	2								
20	24cb	FertI	5	3	4	4	2								
21	24cb	FertII	1	4	3	3	3								
22	24cb	FertII	2	2	3	3	2								
23	24cb	FertII	3	3	2	2	2								
24	24cb	FertII	4	4	2	2	3								
25	24cb	FertII	5	4	3	3	3								
26	24cb	FertIII	1	4	3	3	2								
27	24cb	FertIII	2	3	4	4	2								
28	24cb	FertIII	3	3	3	3	2								
29	24cb	FertIII	4	2	3	3	3								
30	24cb	FertIII	5	4	3	3	3								
31	36cb	FertI	1	4	3	3	2								
32	36cb	FertI	2	3	4	4	1								
33	36cb	FertI	3	4	3	3	1								
34	36cb	FertI	4	3	2	2	1								
35	36cb	FertI	5	2	2	2	2								
36	36cb	FertII	1	3	2	2	2								

APÉNDICE L

VALORES ORIGINALES CORRESPONDIENTES A PESO FRESCO, PESO SECO Y MATERIA SECA DE LA BIOMASA AÉREA

Obs	Lamina	fertil	replic	Pfresco	PSeco	MS	Obs	Lamina	fertil	replic	Pfresco	PSeco	MS
1	12cb	FertI	1	847,22	108,33	12,79	31	36cb	FertI	1	458,33	38,89	8,48
2	12cb	FertI	2	552,78	77,78	14,07	32	36cb	FertI	2	836,11	85,56	10,23
3	12cb	FertI	3	594,44	66,67	11,21	33	36cb	FertI	3	761,11	97,22	12,77
4	12cb	FertI	4	1208,33	155,56	12,87	34	36cb	FertI	4	275	30,56	11,11
5	12cb	FertI	5	1252,78	147,22	11,75	35	36cb	FertI	5	513,89	59,44	11,57
6	12cb	FertII	1	886,11	100	11,29	36	36cb	FertII	1	558,33	69,44	12,44
7	12cb	FertII	2	1177,78	138,89	11,79	37	36cb	FertII	2	788,89	88,89	11,27
8	12cb	FertII	3	1441,67	155,56	10,79	38	36cb	FertII	3	491,67	75	15,25
9	12cb	FertII	4	1725	208,33	12,08	39	36cb	FertII	4	2388,89	72,22	10
10	12cb	FertII	5	883,33	102,78	11,64	40	36cb	FertII	5	430,56	44,44	10,32
11	12cb	FertIII	1	1891,67	200	10,57	41	36cb	FertIII	1	855,56	88,89	10,39
12	12cb	FertIII	2	669,44	67,78	10,12	42	36cb	FertIII	2	675	63,89	9,47
13	12cb	FertIII	3	802,78	88,89	11,07	43	36cb	FertIII	3	1591,67	185,56	11,66
14	12cb	FertIII	4	583,33	75	12,86	44	36cb	FertIII	4	713,89	69,44	9,73
15	12cb	FertIII	5	1530,56	169,44	11,07	45	36cb	FertIII	5	1488,89	175	11,75
16	24cb	FertI	1	1627,78	180,56	11,09							
17	24cb	FertI	2	1569,44	194,44	12,39							
18	24cb	FertI	3	688,89	72,78	10,56							
19	24cb	FertI	4	608,33	72,22	11,87							
20	24cb	FertI	5	1119,44	141,67	12,66							
21	24cb	FertII	1	1169,44	150	12,83							
22	24cb	FertII	2	1627,78	180	11,06							
23	24cb	FertII	3	1619,44	203,89	12,59							
24	24cb	FertII	4	730,56	86,11	11,79							
25	24cb	FertII	5	650	77,22	11,88							
26	24cb	FertIII	1	2116,67	310	14,65							
27	24cb	FertIII	2	902,78	130,56	14,46							
28	24cb	FertIII	3	2436,11	295,56	12,13							
29	24cb	FertIII	4	2169,44	308,33	14,21							
30	24cb	FertIII	5	1900	258,33	13,6							

APÉNDICE M

VALORES ORIGINALES CORRESPONDIENTES A LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

Obs	Lamina	fertil	replic	Pno		Ren		RendTot	
				PComg	Comg	Pprom	Comm2		NoCom
1	12cb	FertI	1	156,3	47,06	116,58	3,1	0,53	36333,33
2	12cb	FertI	2	149,54	45,16	101,49	2,72	0,7	34166,67
3	12cb	FertII	1	190,43	26,44	91,7	3,65	0,77	44166,67
4	12cb	FertII	2	225,58	34,31	113,01	3,23	0,7	39366,67
5	12cb	FertIII	1	135,51	13,77	74,64	3,12	0,32	34333,33
6	12cb	FertIII	2	146,11	14,13	80,12	4,07	0,39	44600
7	24cb	FertI	1	192,5	25,32	82,48	2,57	0,65	32166,67
8	24cb	FertI	2	207,89	22,28	76,54	2,63	0,68	33166,67
9	24cb	FertII	1	136,84	29,66	80,94	3,03	0,72	37500
10	24cb	FertII	2	144,26	35,71	95,91	2,93	0,58	35166,67
11	24cb	FertIII	1	137,02	28,15	90,51	4,13	0,63	47666,67
12	24cb	FertIII	2	144,17	26,06	84,76	3,92	0,72	46333,33
13	36cb	FertI	1	200	42,41	87,84	2,13	1,12	32500
14	36cb	FertI	2	205	50,56	98,08	2,73	1,52	42500
15	36cb	FertII	1	156,25	37,93	80	2,5	1,1	36000
16	36cb	FertII	2	123,48	31,16	76,3	2,72	0,72	34333,33
17	36cb	FertIII	1	161,11	26,79	92,73	2,9	0,5	34000
18	36cb	FertIII	2	164,71	21,14	86,22	2,8	0,43	32333,33

APÉNDICE N

VALORES ORIGINALES CORRESPONDIENTES A GRAVEDAD ESPECÍFICA, FIRMEZA Y MATERIA SECA.

Obs	Lamina	fertil	GE1	GE2	Firm1	Firm2	MS1	MS2
1	12cb	FertI	1,0884	1,0912	10,4	9,6	20,21	21,87
2	12cb	FertI	1,0886	1,0837	13	11,8	24,94	23,01
3	12cb	FertI	1,0808	1,0782	11,6	11,5	24,06	19,4
4	12cb	FertII	1,076	1,0866	12	8	18,19	19,24
5	12cb	FertII	1,0759	1,0769	10,4	8,5	17,1	19,62
6	12cb	FertII	1,0798	1,0802	9,8	9,6	21,48	19,51
7	12cb	FertIII	1,0732	1,075	11	10,8	24,32	22,65
8	12cb	FertIII	1,0796	1,0808	11,5	10	17,63	23,16
9	12cb	FertIII	1,0708	1,0703	10,8	10,6	20,11	21,62
10	24cb	FertI	1,0889	1,09	12,4	10,4	23,41	19,51
11	24cb	FertI	1,0811	1,0897	9,9	9,8	22,47	23,67
12	24cb	FertI	1,0892	1,0814	11	9	21,71	21,23
13	24cb	FertII	1,0891	1,085	9,5	9	24,32	25,09
14	24cb	FertII	1,0838	1,0839	11,4	10,6	23,23	21,31
15	24cb	FertII	1,0845	1,0901	12,3	9,9	20,49	26,89
16	24cb	FertIII	1,0677	1,0716	11,5	11,4	14,48	20,31
17	24cb	FertIII	1,0679	1,0749	12,5	9	16,84	18,07
18	24cb	FertIII	1,0672	1,0726	11,2	10,1	18,61	18,86
19	36cb	FertI	1,0829	1,0757	11,3	8,5	17,69	16,46
20	36cb	FertI	1,0794	1,0837	11,4	9,5	17,97	21,2
21	36cb	FertI	1,0795	1,0836	12,9	13	18,1	25,14
22	36cb	FertII	1,0746	1,0815	10,2	8,9	18,48	18,18
23	36cb	FertII	1,0749	1,075	10,4	9,5	19,02	16,69
24	36cb	FertII	1,0729	1,0695	10,2	9,8	18,57	22,79
25	36cb	FertIII	1,0732	1,0786	12,5	12,1	18,63	20,68
26	36cb	FertIII	1,0797	1,0793	11	10,4	21,87	18,45
27	36cb	FertIII	1,0802	1,0784	12,5	9,8	19,38	22,95

APÉNDICE Ñ

VALORES ORIGINALES CORRESPONDIENTES A PH, SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES, Y ACIDÉZ TITULABLE.

Obs	Lamina	fertil	pH1	pH2	Brix1	Brix2	Ac	
							Titul	Titu2
1	12cb	FertI	6,22	6,05	5	5,5	0,2688	0,4267
2	12cb	FertI	6,43	6,4	4,5	4,7	0,2688	0,4907
3	12cb	FertI	6,49	6,32	5,1	5,2	0,2688	0,448
4	12cb	FertII	6,21	5,96	4,2	5,6	0,2816	0,4693
5	12cb	FertII	6,31	6,14	4,7	4,1	0,2688	0,448
6	12cb	FertII	6,3	6,09	5,1	5,1	0,3072	0,512
7	12cb	FertIII	6,21	6,04	4,6	4,1	0,2688	0,448
8	12cb	FertIII	6,63	6,59	5	5	0,2432	0,4053
9	12cb	FertIII	6,12	5,92	4,7	4,9	0,32	0,5333
10	24cb	FertI	6,31	6,21	5,1	5,6	0,2688	0,448
11	24cb	FertI	6,22	6,07	4,6	4,7	0,2816	0,4693
12	24cb	FertI	6,67	6,51	4,7	4,6	0,2304	0,384
13	24cb	FertII	6,32	6,06	5,1	5,3	0,256	0,4267
14	24cb	FertII	6,3	6,13	5	4,7	0,3072	0,512
15	24cb	FertII	6,34	6,15	4,9	5,1	0,2944	0,4907
16	24cb	FertIII	6,21	6,02	5,2	4,7	0,3072	0,512
17	24cb	FertIII	6,16	6,06	5,1	5,3	0,3072	0,512
18	24cb	FertIII	6,25	6,06	5,1	5,3	0,3072	0,512
19	36cb	FertI	6,45	6,17	4,5	5,1	0,2816	0,4693
20	36cb	FertI	6,71	6,46	5,5	5,5	0,2816	0,4693
21	36cb	FertI	6,42	6,23	4,9	5	0,3072	0,512
22	36cb	FertII	6,48	6,25	4,7	5,3	0,3072	0,512
23	36cb	FertII	6,65	6,43	4,9	5	0,256	0,4267
24	36cb	FertII	6,33	6,16	5	4,5	0,2944	0,4907
25	36cb	FertIII	6,22	6,07	4,6	5,1	0,2688	0,448
26	36cb	FertIII	6,48	6,25	4,6	4,5	0,2816	0,4693
27	36cb	FertIII	6,26	6,01	4,5	4,8	0,3072	0,512