

**DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AGUA APROVECHABLE EN LOS  
CULTIVOS DE MAIZ (*Zea mays*), HABICHUELA ( *Phaseolus vulgaris* L.),  
PIMENTON (*Capsicum annum*), ARVEJA (*Pisum sativum*), CEBOLLA (*Allium  
cepa*), ZAPALLO (*Cucurbita moschata*), MEDIANTE EL SISTEMA DE RIEGO  
POR EXUDACION, EN EL MUNICIPIO DEL PEÑOL, NARIÑO**

**OSCAR BETANCOURT RODRIGUEZ  
FABIO GALLARDO PAREDES**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2003**

**DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AGUA APROVECHABLE EN LOS  
CULTIVOS DE MAIZ (*Zea mays*), HABICHUELA (*Phaseolus vulgaris* L.),  
PIMENTON (*Capsicum annum*), ARVEJA (*Pisum sativum*), CEBOLLA (*Allium  
cepa*), ZAPALLO (*Cucurbita moschata*), MEDIANTE EL SISTEMA DE RIEGO  
POR EXUDACION, EN EL MUNICIPIO DEL PEÑOL, NARIÑO**

**OSCAR BETANCOURT RODRIGUEZ  
FABIO GALLARDO PAREDES**

**Trabajo de grado para optar al titulo de  
Ingeniero Agrónomo**

**Presidente de Tesis  
LUCIO LEGARDA BURBANO I.A., M. Sc**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2003**

*“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusivas de sus autores*

*Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño”.*

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Presidente Jurado

---

Jurado

---

Jurado

San Juan de Pasto, noviembre del 2003.

**DEDICO A:**

*A mi madre, Gloria Cecilia*

*A mi padre, Raúl Armando*

*A mis hermanas Sandra, Dayra, y Claudia*

*A mi Familia*

*A mis amigos*

**FABIO GALLARDO PAREDES**

**DEDICO A:**

*A la memoria de mi padre Luis Betancourt*

*A mi madre, Martha Rodríguez*

*A la memoria de mis hermanos Alejandro y Javier*

*A mis hermanos Héctor, José, Luis, Graciela, y Jorge.*

*A mi Familia*

*A mis amigos*

**OSCAR BETANCOURT RODRÍGUEZ**

## **AGRADECIMIENTOS:**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dr. Lucio Legarda. I.A. M. Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas  
Universidad de Nariño.

Dr. German Arteaga Meneses, I. A. M. Sc. Decano Facultad de Ciencias Agrícolas  
Universidad de Nariño.

Dr. Hugo Ruiz. I.A. M. Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas  
Universidad de Nariño.

Dr. Orlando Benavides. I. A. M.Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas  
Universidad de Nariño.

Dr. Carlos Mosquera. I. A. M.Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas  
Universidad de Nariño.

Dr. Roberto Garcia. I. Ac. Jefe de Laboratorios Ingeniería hidráulica

Mauricio Muñoz. I.Agrf. Especialista en Riegos y Ecología.

Programa Nacional de Transferencia de Tecnología agropecuaria (PRONATTA).

A todas aquellas personas que contribuyeron de una u otra forma en la realización del presente trabajo.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCIÓN	27
1. MARCO TEORICO	29
1.1 AGUA ÚTIL	29
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE RIEGO POR EXUDACIÓN.	29
1.2.1 Ventajas de riego localizado.	30
1.2.2 El tubo textil exudante.	30
1.2.3 Funcionamiento del sistema de riego por exudación.	31
1.2.4 Composición del sistema de riego por exudación.	32
1.2.5 Tensiometros.	33
1.3 SUCCIÓN DE AGUA EN EL SUELO	35
1.4 INFILTRACIÓN	35
1.5 FERTIRRIGACIÓN	35
1.6 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN	36
1.6.1 Limitaciones del sistema de riego por aspersión.	36
1.7 NECESIDADES DE RIEGO EN LOS CULTIVOS	37
1.8 IMPORTANCIA DEL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO	37
1.8.1 Componentes de variables para el cálculo del balance hídrico.	38
1.9 HUMEDAD DEL SUELO	40
1.10 DESCRIPCIÓN Y EXIGENCIAS DE LOS CULTIVOS	40



1.10.1 Cultivo de maíz ( <i>Zea maiz</i> ).	40
1.10.2 Cultivo de pimentón ( <i>Capsicum Nahum</i> ).	42
1.10.3 El cultivo de habichuela ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L).	42
1.10.4 Arveja.	43
1.10.5 Cebolla cabezona ( <i>Allium cepa</i> L).	44
1.10.6 Zapallo ( <i>Cucúrbita moschata</i> ).	45
1.11 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	46
1.11.1 Densidad aparente.	46
1.11.2 Porosidad del suelo.	46
1.11.3 Conductividad hidráulica.	47
1.11.4 Humedad gravimétrica.	47
1.11.5 Humedad volumétrica.	47
1.11.6 Espacio aéreo.	48
1.11.7 Coeficiente de difusión.	48
2. DISEÑO METODOLÓGICO	49
2.1 LOCALIZACIÓN	49
2.2 SUELOS	49
2.2.1 Suelos, vereda Guayabal, El peñol.	49
2.3 AREA EXPERIMENTAL	49
2.3.1 Variables a sembrar de maíz, habichuela y pimentón, arveja, cebolla y zapallo.	57
2.4 DISTANCIA DE SIEMBRA	57
2.5 LABORES CULTURALES	58

2.6 PLAGAS Y ENFERMEDADES	58
2.7 MANEJO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO	59
2.7.1 Sistema de riego por exudación.	59
2.7.2 Fertirrigación.	60
2.7.3 Fertilización.	60
2.8 CONTROL DE LAS APLICACIONES DE RIEGO EN LOS CULTIVOS	60
2.9 APLICACIÓN DE RIEGO MEDIANTE ES SISTEMA DE ASPERSIÓN LIVIANO	61
2.10 VARIABLES CLIMÁTICAS	61
2.10.1 Temperatura.	61
2.10.2 Evaporación.	61
2.10.3 Precipitación.	61
2.10.4 Humedad relativa.	61
2.11 VARIABLES EDAFICAS	62
2.11.1 Parámetros físicos.	62
2.11.2 Propiedades químicas.	64
2.12 VARIABLES DE CULTIVO	64
2.12.1 Fases de crecimiento.	64
2.12.2 Componentes de rendimiento.	68
2.12.3 Producción por hectárea.	66
2.13 ANÁLISIS FOLIAR	66
2.14 POBLACIONES CLASE Y DISTRIBUCIÓN DE MALEZAS	67
2.15 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DEL BALANCE HÍDRICO	67

2.15.1 Precipitación.	67
2.15.2 Evapotranspiración.	68
2.16 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN EN LOS CULTIVOS	68
2.17 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	68
2.18 ANÁLISIS ECOÓMICO	69
2.19 SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO	70
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
3.1 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL SUELO DEL SITIO DE ENSAYO DE RIEGO.	72
3.2 VARIABLES CLIMÁTICAS	72
3.2.1 Temperatura mensual.	72
3.2.2 Evaporación mensual.	73
3.2.3 Precipitación.	73
3.2.4 Humedad relativa.	73
3.3 DURACIÓN DEL CICLO VEGETATIVO	74
3.4 COEFICIENTES DE LOS CULTIVOS (Kc)	77
3.5 CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD	78
3.6 REQUERIMIENTO DE AGUA	79
3.6.1 Requerimientos de agua del cultivo de maíz.	82
3.6.2 Requerimientos de agua del cultivo de pimentón.	83
3.6.3 Requerimientos de agua del cultivo de habichuela.	83
3.6.4 Requerimientos de agua del cultivo de arveja.	89
3.6.5 Requerimientos de agua del cultivo de cebolla cabezona.	89

3.6.6	Requerimientos de agua del cultivo de zapallo.	90
3.7	INFILTRACIÓN	97
3.8	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	98
3.8.1	Variación en la tensión de humedad.	99
3.9	REQUERIMIENTO TOTAL DE RIESGO	100
3.9.1	Frecuencia y duración del riego para exudación.	100
3.10	EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO POR EXUDACIÓN TENIENDO EN CUENTA LA PRODUCCIÓN	100
3.11	PORCENTAJE DE AHORRO DE AGUA CON EL SISTEMA DE RIEGO POR EXUDACIÓN	101
3.12	MALEZAS (POBLACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE MALEZAS)	102
3.13	ANÁLISIS FOLIAR	104
3.14	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	105
3.15	RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS RESPECTO AL RIESGO	110
3.16	NECESIDADES HÍDRICAS PARA LOS CULTIVOS DE MAÍZ, HABICHUELA, PIMENTÓN, ARVEJA, CEBOLLA Y ZAPALLO.	115
3.17	ANÁLISIS ECONÓMICO	120
4.	CONCLUSIONES	133
5.	RECOMENDACIONES	134
	BIBLIOGRAFÍA	135
	ANEXOS	139

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Cabezal de control de riego por exudación.	32
<b>Figura 2.</b> Tensiómetros a 10 y 20 cm. De profundidad.	34
<b>Figura 3.</b> Disposición de la cinta exudante en el campo.	34
<b>Figura 4.</b> Sistema de riego por aspersión.	36
<b>Figura 5.</b> Distribución de las parcelas en el campo.	50
<b>Figura 6.</b> Esquema de la siembra de maíz en la parcela experimental.	51
<b>Figura 7.</b> Esquema de la siembra de habichuela en la parcela experimental.	52
<b>Figura 8.</b> Esquema de la siembra de pimentón en la parcela experimental.	53
<b>Figura 9.</b> Esquema de la siembra de arveja en la parcela experimental.	54
<b>Figura 10.</b> Esquema de la siembra de cebolla en la parcela experimental.	55
<b>Figura 11.</b> Esquema de siembra del zapallo en la parcela experimental.	56
<b>Figura 12.</b> Estación climatológica del sitio de ensayo. Vereda Guayabal.	62
<b>Figura 13.</b> Recolección y manejo postcosecha de los cultivos de habichuela y pimentón.	66
<b>Figura 14.</b> Equipo de trabajo del ensayo de riego por exudación. Vereda Guayabal, municipio del Peñol, Nariño (2002-2003).	71
<b>Figura 15.</b> Día de campo con los agricultores de la vereda Peñol Alto.	71
<b>Figura 16.</b> Curva de retención de humedad del suelo en profundidad de 0 a 10 y de 10 a 20 cm.	79

<b>Figura 17.</b> Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de maíz.	94
<b>Figura 18.</b> Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% de probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de pimentón.	95
<b>Figura 19.</b> Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de habichuela.	95
<b>Figura 20.</b> Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de arveja (junio – octubre).	96
<b>Figura 21.</b> Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de cebolla de bulbo (junio – octubre).	96
<b>Figura 22.</b> Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de zapallo (junio – octubre).	97
<b>Figura 23.</b> Curvas de infiltración acumulada (IA) y velocidad de infiltración (VI) en cm/hora a 10 cm de profundidad.	99

## LISTA DE CUAROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Distribución y establecimiento de las siembras.	57
<b>Cuadro 2.</b> Distancias de siembra.	57
<b>Cuadro 3.</b> Densidad de siembra.	58
<b>Cuadro 4.</b> Descripción fenológica y profundidad radical efectiva de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón.	75
<b>Cuadro 5.</b> Descripción fenológica y profundidad radical efectiva de los cultivos de arveja, cebolla y zapallo.	75
<b>Cuadro 6.</b> Duración por fases del ciclo vegetativo de los cultivos y profundidad radicular.	76
<b>Cuadro 7.</b> Duración por fases del ciclo vegetativo de los cultivos y profundidad radicular.	77
<b>Cuadro 8.</b> Requerimiento hídrico en las diferentes fases del cultivo de maíz, habichuela y pimentón.	79
<b>Cuadro 9.</b> Requerimiento hídrico en las diferentes fases del cultivo de arveja, cebolla y zapallo.	81
<b>Cuadro 10.</b> Lámina y volumen de riego, aplicado a los cultivos estudiados en función de la precipitación y la evaporación en las parcelas de 600 m <sup>2</sup> .	82
<b>Cuadro 11.</b> Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ).	84
<b>Cuadro 12.</b> Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de habichuela ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L).	86
<b>Cuadro 13.</b> Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo del pimentón ( <i>Capsicum annum</i> ).	88
<b>Cuadro 14.</b> Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de arveja ( <i>Pisum sativum</i> ).	91

<b>Cuadro 15.</b> Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de cebolla ( <i>Allium cepa</i> ).	92
<b>Cuadro 16.</b> Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de zapallo ( <i>Cucúrbita moschata</i> ).	93
<b>Cuadro 17.</b> Rendimiento de los cultivos con respecto a la lámina de riego aplicada.	101
<b>Cuadro 18.</b> Riego aplicado a los cultivos comparado con el riego por exudación y su porcentaje de ahorro.	102
<b>Cuadro 19.</b> Nombre vulgar y cinético de las malezas encontradas este estudio.	103
<b>Cuadro 20.</b> Porcentaje de población de malezas encontradas en 0,50 m <sup>2</sup> en los cultivos de maíz, habichuela y pimentón para riego por exudación y aspersion.	103
<b>Cuadro 21.</b> Análisis bromatológico de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón.	104
<b>Cuadro 22.</b> Valores promedios propiedades físicas del suelo.	106
<b>Cuadro 23.</b> Prueba de “t” para el análisis estadístico de densidad aparente y densidad real a 10 y 20 cm. de profundidad.	107
<b>Cuadro 24.</b> Prueba de “t” para el análisis estadístico de porosidad total del suelo y espacio aéreo.	108
<b>Cuadro 25.</b> Prueba de “t” para el análisis estadístico de humedad volumétrica y humedad gravimétrica.	109
<b>Cuadro 26.</b> Prueba de “t” para el análisis estadístico de coeficiente de difusión y conductividad hidráulica a 10 y 20 cm. de profundidad.	110
<b>Cuadro 27.</b> Producción obtenida en la primera siembra de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón.	111
<b>Cuadro 28.</b> Producción obtenida en la segunda siembra de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón.	112
<b>Cuadro 29.</b> Producción obtenida en los cultivos de arveja, cebolla y zapallo.	112



<b>Cuadro 30.</b> Comparativo del rendimiento obtenido en el área experimental con los rendimientos de la región y la producción nacional.	114
<b>Cuadro 31.</b> Necesidades hídricas de los cultivos de maíz, habichuela, pimentón, arveja, cebolla y zapallo.	116
<b>Cuadro 32.</b> Pruebas de “t” para el análisis estadístico de los cultivos de habichuela, maíz y pimentón.	118
<b>Cuadro 33.</b> Estadígrafos descriptivos y prueba de “t” para el análisis estadístico de los cultivos de Arveja, cebolla y zapallo.	119
<b>Cuadro 34.</b> Análisis económico para el cultivo de habichuela (ha) con el sistema de riego por exudación.	121
<b>Cuadro 35.</b> Análisis económico para el cultivo de habichuela (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana.	122
<b>Cuadro 36.</b> Análisis económico para el cultivo de maíz (ha) con el sistema de riego por exudación.	123
<b>Cuadro 37.</b> Análisis económico para el cultivo de maíz (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana.	124
<b>Cuadro 38.</b> Análisis económico para el cultivo de pimentón (ha) con el sistema de riego por exudación.	125
<b>Cuadro 39.</b> Análisis económico para el cultivo de pimentón (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana.	126
<b>Cuadro 40.</b> Análisis económico para el cultivo de arveja (ha) con el sistema de riego por exudación.	127
<b>Cuadro 41.</b> Análisis económico para el cultivo de arveja (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana.	128
<b>Cuadro 42.</b> Análisis económico para el cultivo de cebolla (ha) con el sistema de riego por exudación.	129
<b>Cuadro 43.</b> Análisis económico para el cultivo de cebolla (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana.	130
<b>Cuadro 44.</b> Análisis económico para el cultivo de zapallo (ha) con el sistema de riego por exudación.	131

**Cuadro 45.** Análisis económico para el cultivo de zapallo (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana.

132

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Análisis Físico Químico del Suelo de la vereda Guayabal, municipio del Peñol al inicio del ensayo diciembre 2002 y mayo 2003.	140
<b>Anexo B.</b> Valores de succión (centibares) y humedad volumétrica determinados por el tensiometro a dos profundidades en el suelo estudiado.	141
<b>Anexo C.</b> Infiltración del suelo de la vereda Guayabal, municipio del Peñol por el método de los anillos infiltrómetros.	142
<b>Anexo D</b> Valores mensuales de temperatura (°C) máxima y mínima de la vereda guayabal, municipio del Peñol – Nariño (2002 - 2003).	143
<b>Anexo E</b> Valores mensuales de evaporación de la vereda Guayabal, municipio Del Peñol-Nariño (2002-2003).	144
<b>Anexo F</b> Valores diarios de precipitación (mm) de la vereda Guayabal municipio Del Peñol-Nariño (2002-2003).	145
<b>Anexo G</b> Valores mensuales de humedad relativa (%) de la Vereda Guayabal, municipio Del Peñol-Nariño (2002-2003).	146
<b>Anexo H</b> Valore totales mensuales de precipitación (mm) de la estación pluviométrica Del Peñol-Nariño de enero a diciembre de 1990-2003.	147
<b>Anexo I</b> Valore totales mensuales de precipitación (mm) de la estación pluviométrica Del Peñol-Nariño de julio a diciembre de 1990-2003.	148
<b>Anexo J</b> Valore totales mensuales de precipitación (mm) de la estación pluviométrica Del Peñol-Nariño de enero a diciembre de 1990-2003.	149
<b>Anexo K</b> Cálculo del balance hídrico agrícola a nivel decadal del maíz	150
<b>Anexo L</b> Cálculo de balance agrícola a nivel decadal de la habichuela	152
<b>Anexo M</b> Cálculo del balance agrícola a nivel decadal del pimentón	154

<b>Anexo N</b> Cálculo del balance hídrico agrícola a nivel decadal para el cultivo de arveja	156
<b>Anexo O.</b> Cálculo del balance hídrico agrícola a nivel decadal del zapallo	158
<b>Anexo P.</b> Valores de tensión usada en los cultivos estudiados con respecto a otros proyectos similares.	160
<b>Anexo Q.</b> Participantes de la socialización del proyecto a través de días de campo, seminarios, charlas y talleres.	161

## GLOSARIO

**ANÁLISIS FOLIAR:** consiste en la determinación del contenido de los elementos esenciales en las hojas, en determinado estado de crecimiento de acuerdo a la especie de cultivos.

**ASPERSIÓN:** aplicación de agua por encima de la superficie del suelo, simulando una lluvia.

**BALANCE HÍDRICO:** es la utilización de datos reales de precipitación e información climatológica para el cálculo de las necesidades de agua en los cultivos.

**CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO:** cantidad de agua que un suelo puede almacenar entre los límites de la capacidad de campo y el punto de marchites, a la profundidad radical del cultivo en estudio.

**CAPACIDAD DE CAMPO:** cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad, donde hay un balance adecuado entre agua y aire.

**COEFICIENTE DE CULTIVO:** describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

**COEFICIENTE DE TANQUE:** factor climático de corrección.

**CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA:** expresa la capacidad del suelo saturado para permitir el paso de agua.

**DÉFICIT HÍDRICO:** faltante. Ocurre cuando la cantidad de agua que entra a un sistema, es menor que la cantidad de agua que sale de él. Equivale a la cantidad de agua que se debe aplicar al cultivo en forma de riego.

**EFICIENCIA:** es la proporción de agua total que se aplica al terreno y que es utilizada por el cultivo.

**EXUDACIÓN:** emisión de agua a través de pequeños poros.

**EVAPOTRANSPIRACIÓN:** cantidad de agua que se pierde en forma de vapor y en forma líquida.

**EVAPORÍMETRO:** instrumento utilizado para medir el agua que se pierde en forma de vapor, en una área determinada.

**FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE AGUA APROVECHABLE:** cantidad de agua que puede contener cada centímetro de suelo.

**FRECUENCIA DE RIEGO:** número de días que transcurre entre dos riegos consecutivos.

**HIGRÓMETRO:** instrumento que sirve para medir el grado de humedad del aire.

**MALEZAS:** Planta que no se desea tener en un lugar y tiempo determinados.

**INFILTRACIÓN:** propiedad que tiene el suelo de absorber agua a través de sus poros.

**NECESIDAD BRUTA DE RIEGO:** expresa la cantidad total de agua de riego que se debe aplicar al cultivo, incluyendo el agua utilizada para compensar las pérdidas por escorrentía, percolación, evaporación.

**NECESIDAD NETA DE RIEGO:** cantidad de agua que necesita el cultivo; además de la precipitación.

**PLUVIÓMETRO:** instrumento que sirve para medir la cantidad de agua caída por precipitación.

**PRECIPITACIÓN:** fuente de agua para los cultivos que contribuyen disminuyendo los requerimientos de agua usada en evapotranspiración.

**PROBABILIDAD:** característica de un suceso del que existe razones para creer que se realizará.

**PUNTO DE MARCHITEZ:** estado en el cual la mayoría de las especies vegetales no pueden succionar el agua contenida en el suelo, debido a la gran fuerza con la que esta es retenida por las partículas del suelo.

**RIEGO:** cantidad de agua necesaria para la producción de los cultivos, excluyendo la lluvia.

**SUCCIÓN:** fuerza con que el suelo retiene el agua, se entiende como una presión negativa, ya que no es ejercida sobre el suelo, sino que los sólidos del suelo la ejercen sobre el agua.

**TENSIÓMETRO:** instrumento utilizado para determinar la succión de la humedad del suelo.

**TUBO GEOTEXTIL EXUDANTE:** compuesto de microfibras de polietileno entrecruzadas que forman una malla porosa.

**USO CONSUNTIVO:** equivalente a la evapotranspiración, necesidad de agua por parte de las plantas.

## RESUMEN

El presente estudio se realizó entre julio de 2002 y noviembre de 2003 en la vereda Guayabal, municipio del Peñol (Nariño), ubicada a 1200 msnm., con una temperatura promedio de 22 °C, una precipitación anual de 1000 mm y la humedad relativa de 59%.

Se establecieron dos parcelas experimentales de 600 m<sup>2</sup> para cada cultivo: maíz, habichuela, pimentón, arveja, cebolla y zapallo respectivamente, Se utilizó un sistema de riego por aspersión, que tradicionalmente utilizan los agricultores de la región Vs sistema de riego por exudación, tecnología transferida a los agricultores de este Municipio y que demostró al final de los ciclos de los cultivos ser el más eficiente en razón de ahorro de lamina agua y producción.

Con el balance hídrico elaborado a partir de la información climatológica del municipio del Peñol, de las condiciones físicas de los suelos y de los cultivos en estudio, se estableció

La cantidad de agua aplicada en los seis cultivos por el sistema de riego por exudación que fue de 272.2mm para maíz, 288.1 mm para habichuela, 258.58 mm para pimentón, 227.0 mm para arveja, 243.7 mm para cebolla, y 206.5 mm para Zapallo.

El rendimiento obtenido mediante la utilización del sistema de riego por exudación en el segundo semestre de 2002 fue de 6.99 t/ha para maíz, 9.05 t/ha para habichuela y 19.9 ton/ha para pimentón, superando los obtenidos con el sistema de riego por aspersión de 5.14 t/ha para maíz, 6.73 t/ha para habichuela y 10.7 t/ha para pimentón.

En el Primer semestre de 2003 el rendimiento fue similar al obtenido en el semestre inmediatamente anterior. 6.70 t/ha para maíz, 8.47 t/ha para habichuela y 19.9 ton/ha para pimentón, superando los obtenidos con el sistema de riego por aspersión de 5.05t/ha para maíz, 5.72 t/ha para habichuela y 10.7 t/ha para pimentón.

Para el segundo semestre de 2003 se obtuvo con el sistema de riego por exudación 3.45 t/ha para arveja, 27.1 t/ha para cebolla y 29.5 ton/ha para zapallo, superando al igual que en los anteriores semestres las producciones encontradas con el sistema de riego por aspersión con 2.3 t/ha para arveja, 18.5 ton/ha para cebolla y 22.3 ton/ha para zapallo.

## SUMMARY

The present study is accomplished between July of 2002 and November of 2003 in the vereda Guayabal, municipality of the Peñol (Nariño), located to 1200 m.s.n.m., with an average temperature of 22 °C., an annual rainfall of 1000 mm. and the relative dampness of 59%.

They were established two experimental plots of 600 m<sup>2</sup> for each cultivation: corn, kidney-bean, paprika, arveja, onion and zapallo respectively, Is used an irrigation system by aspersion, that traditionally use the farmers of the region Vs irrigation system by exudación, technology transferred to the farmers of this Municipality and that demonstrated at the end of the cycles of the cultivation be the most efficient in saving reason of laminates water and production.

With the balance hidryc elaborated as of the climatological information of the municipality of the Peñol, of the physical conditions of soils and of the cultivation in study, was established

The quantity of water applied in the six cultivation by the irrigation system by exudación that it was of 272.2mm for corn, 288.1 mm for kidney-bean, 258.58 mm for paprika, 227.0 mm for arveja, 243.7 mm for onion, and 206.5 mm for zapallo.

The yield obtained through the utilization from the irrigation system by exudación in the second semester from 2002 was of 6.99 t/there has for corn, 9.05 t/there has for kidney-bean and 19.9 rhyme/there has for paprika, surpassing obtained them with the irrigation system by aspersion from 5.14 t/there has for corn, 6.73 t/there has for kidney-bean and 10.7 t/there has for paprika.

In the First semester of 2003 the yield was similar to obtain in the immediately previous semester. 6.70 t/there has for corn, 8.47 t/there has for kidney-bean and 19.9 rhyme/there has for paprika, surpassing obtained them with the irrigation system by aspersion from 5.05t/there has for corn, 5.72 t/there has for kidney-bean and 10.7 t/there has for paprika.

For the second semester of 2003 was obtained with the irrigation system by exudación 3.45 t/there has for arveja, 27.1 t/there has for onion and 29.5 rhyme/there has for zapallo, surpassing the same as in the previous semesters the productions found with the irrigation system by aspersion with 2.3 t/there has for arveja, 18.5 rhyme/there has for onion and 22.3 rhyme/there has for zapallo.



## INTRODUCCIÓN

Como afirma Legarda, “En la actualidad el renglón de la producción agropecuaria debe seguir los lineamientos de la sostenibilidad ambiental, de tal forma que los recursos naturales como el agua, sean aprovechados adecuadamente”<sup>1</sup>.

El desarrollo económico y social de un país, depende de las posibilidades de alcanzar una producción agropecuaria adecuada a sus necesidades de alimento, y tentativamente contar con una sobreproducción para lograr exportar a otros países. Para lograr este objetivo es necesario adoptar tecnologías como los proyectos de riegos para mejorar los sistemas productivos mediante la utilización eficiente del recurso agua. Gurovich<sup>2</sup>.

La creciente presión de la población asistida de su derecho a alimentarse adecuadamente, ha motivado que esos recursos se tornen cada vez más escasos o ha llevado a su abuso en muchas partes del mundo; la necesidad de manejar adecuadamente los recursos en forma continua es una de las tareas vitales de nuestra época. Gurovich<sup>3</sup>.

Existen regiones de clima cálido que presentan problemas de escasez de agua caracterizadas por su baja pluviosidad anual (sequía), alta evaporación y alto brillo solar, factores que limitan la producción de los cultivos e imposibilitan la rotación de los mismos, ocasionando una degradación erosiva del suelo. Legarda<sup>4</sup>.

El creciente interés en aplicar el riego a la agricultura en gran escala no es simplemente por motivos de economía de agua, ha surgido también debido a la disminución de la mano de obra disponible, a la necesidad de reducir gastos de equipo y de funcionamiento y al deseo de obtener productos de mejor calidad y rendimiento mas elevados. Además en los sitios en que la disponibilidad de agua es el factor limitante para la agricultura de regadío, es imposible examinar la posibilidad de aplicar

---

<sup>1</sup> LEGARDA, Lucio. Determinación de la cantidad de agua aprovechable en algunos cultivos de clima medio, mediante el sistema de riego por exudación. En : Revista de ciencias agrícolas. Pasto. Vol. 18. No. 2(2001). p. 333.

<sup>2</sup> GUROVICH, L. Fundamentos y diseño del sistema de riego. San José, Costa Rica : IICA, 1999, p. 14.

<sup>3</sup> Ibid., p. 15.

<sup>4</sup> LEGARDA, Op.cit., p. 27.

agua de calidades diferentes a las del riego localizadas de alta frecuencia. ONU citada por Doorembos y Kassam<sup>5</sup>.

El municipio del Peñol, se caracteriza por poseer condiciones de clima seco y por este motivo presenta problemas de escasez de agua, por la irregularidad en la distribución de la lluvias, además, su única fuente de abastecimiento la Quebrada MolinoYaco no es utilizada de una manera eficiente, factor que limita obtener buenas producciones en la región y reduce considerablemente la calidad y competitividad de los productos en el mercado.

Frente a este problema y en busca de mejorar el sector agrícola de las regiones que actualmente se siguen explotando de forma tradicional, se hace necesario contribuir a la modernización de las tecnologías, incrementando los rendimientos de los cultivos propios de la región y favoreciendo la sostenibilidad y el manejo de los recursos hídricos por medio de la implementación de sistemas para regar, entre los cuales se destaca el de riego por exudación.

Con el fin de evaluar la eficiencia del sistema de riego por exudación se han planteado los siguientes objetivos:

Contribuir a la modernización de la producción agrícola incrementando el rendimiento de los principales cultivos de la región por medio del sistema de riego por exudación.

Determinar la necesidad hídrica de los cultivos de maíz, habichuela pimentón, arveja, cebolla y zapallo con relación a las variables edáficas y fisiológicas de los cultivos.

Mediante un análisis económico a través de la relación costo beneficio determinar la eficiencia y rendimiento con el sistema de riego por exudación y riego por aspersión.

---

<sup>5</sup> DOOREMBOS, J. y KASSAM, A. M. Efectos del agua sobre los cultivos. Roma: FAO, 1990. p. 136.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 AGUA ÚTIL

Según Lorente:

El agua útil se define como el agua comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento. El primero depende del tipo de suelo y el segundo, además del tipo de suelo, también del tipo de planta.

Las numerosas experiencias han puesto en evidencia la necesidad de aplicar riego antes de que la planta tenga que sufrir un intenso estrés hídrico y, sobre todo, antes de que la humedad del terreno alcance el punto de marchites.

La aplicación de riego se puede llevar a cabo según la experiencia del agricultor, o bien utilizando métodos para medir la humedad directamente en el suelo<sup>6</sup>.

### 1.2 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE RIEGO POR EXUDACIÓN

El riego por exudación (Transpiración) es un sistema de riego localizado que a través de pequeños poros, produce una banda de humedad continua, ancha y uniforme en toda la longitud de las líneas de riego.

Con este sistema se obtiene una elevada uniformidad de emisión de agua para diferentes presiones de trabajo. El agua aplicada se distribuye en una forma homogénea, provocando un uso eficiente por parte de los cultivos y aumentando sus rendimientos<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> LORENTE HERRERA, Juan B. *et al.*. Biblioteca de la agricultura. Barcelona : Idea Books, 1997. v. 3, p. 502.

<sup>7</sup> Riego localizado [online]. Chile : 2003. Web: < [http:// www. chileriego.com/elriego/tecnología/cultivos/hídrico.htm](http://www.chileriego.com/elriego/tecnología/cultivos/hídrico.htm)>.

### 1.2.1 Ventajas del riego localizado.

Con el sistema de riego por exudación solo se humedece una parte del suelo, de donde la planta podrá obtener el agua y los nutrientes que necesita e implica una aplicación con alta frecuencia obteniendo una serie de ventajas tanto agronómicas como económicas, así como algunos inconvenientes.

- Ahorro de agua, debido a la reducción de la evapotranspiración, al control de la cantidad de agua, y a la uniformidad de riego.
- No produce encharcamientos que provoquen asfixia radicular o faciliten el desarrollo de enfermedades.
- Posibilita la utilización de aguas de menor calidad.
- Hace posible la fertirrigación, lo que conlleva un ahorro de fertilizante y de mano de obra.
- Facilita el control de malas hierbas

Los principales inconvenientes se refieren a:

- El aumento de costo de las instalaciones con respecto a otros sistemas de riego.
- Si se entierra se pueden producir daños en el momento de retirar el equipo por problemas de obturación con las raíces de las plantas<sup>8</sup>.

**1.2.2 El tubo textil exudante.** Según Saldarriaga, citado por Legarda, “Las cintas exudantes consisten en un conjunto de tuberías o cintas fabricadas a partir de un sistema geotextil compuesto de microfibras de polietileno entrecruzadas que forman una malla en la cual los poros tienen un tamaño medio de 4 a 5 micras y ocupan el 50% de la superficie”<sup>9</sup>.

El mismo autor señala :

Que al aplicar presión, comprendida entre los 2 y los 3.5 metros de columna de agua (m.c.a.), la cinta se hincha y el agua sale al exterior por los poros de manera homogénea en toda la longitud, regando los

---

<sup>8</sup> Riego [online]. 2002. Web: < <http://infoagro.com/elriego/tecnología/fundamentos.../hídrico.htm>>.

<sup>9</sup> LEGARDA. Determinación de la cantidad de agua aprovechable en algunos cultivos de clima medio, mediante el sistema de riego por exudación. Op.cit., p. 356.

cultivos con caudales entre 1 y 1.75 L/h/m. lineal Es flexible enrollable y resistente. No es afectada por las temperaturas extremas, ni por los rayos ultravioleta y tiene gran resistencia a la tracción y al reventamiento (hasta 15 Kg/cm<sup>2</sup> ). La durabilidad está enmarcada entre los treinta años. Con el riego por exudación, se trata de lograr mayor eficiencia con el uso y manejo del agua, minimizar las pérdidas por percolación profunda, reducir costos de manejo y adquisición de equipos, así como conservar la sostenibilidad del suelo. La aplicación de agua por este sistema es lenta, según la velocidad de absorción de agua por las raíces, manteniendo un adecuado equilibrio de la humedad del suelo<sup>10</sup>.

Para obtener los mejores resultados, el riego debe efectuarse oportunamente antes que se agote toda el agua disponible en el suelo. Para ello, se usan unos dispositivos muy prácticos y sencillos llamados tensiómetros que se instalan a diferentes profundidades en el suelo, cerca de la zona radicular de los cultivos. Estos instrumentos permiten decidir en que momento se debe iniciar o suspender la aplicación de agua<sup>11</sup>.

### **1.2.3 Funcionamiento del sistema de riego por exudación.**

El sistema de riego por exudación esta compuesto por el cabezal de control de riego, que es un conjunto de elementos para controlar y manejar el agua y enviarla por una red de tuberías con la presión del caudal necesario. Tubería de abastecimiento, que tiene la finalidad de conducir el agua desde el cabezal hasta la tubería lateral Cinta exudante, que es propiamente la tubería lateral o líneas de riego, que es en últimas la parte más importante del sistema, ya que representa el 70% del costo del equipo<sup>12</sup>.

El funcionamiento del equipo se basa en la apertura de la llave del cabezal, donde él líquido pasa por un contador que indica la cantidad de agua en metros cúbicos que se entrega al cultivo en un determinado tiempo. Luego, el agua pasa por un regulador de presión que mide el flujo del caudal, pasando el flujo de turbulento a laminar y hace que el

---

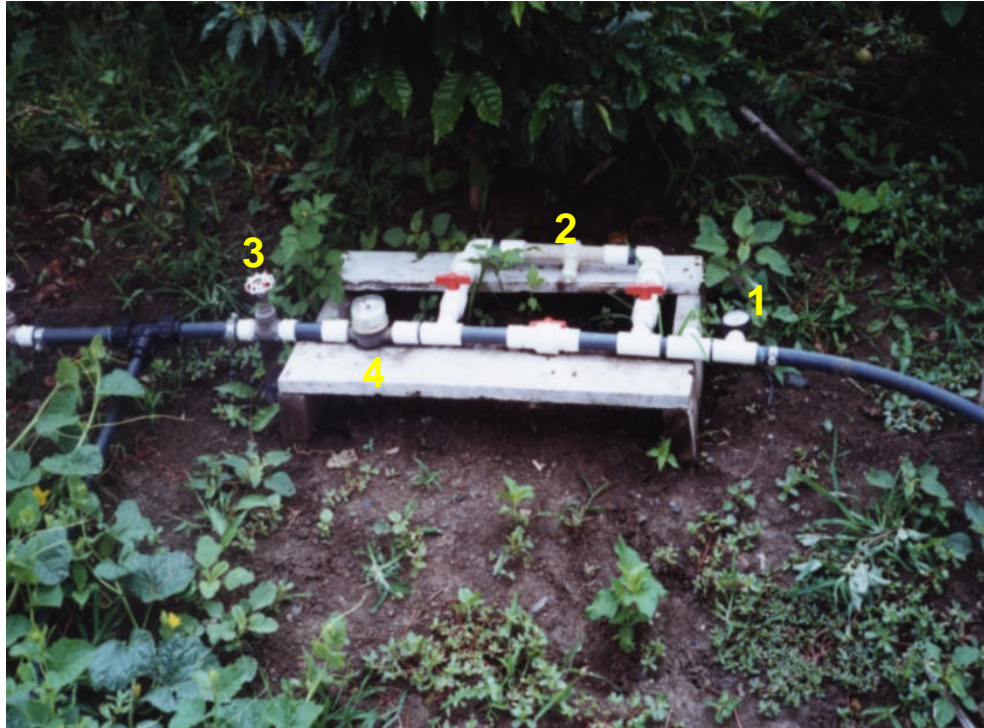
<sup>10</sup> Ibid., p. 356.

<sup>11</sup> Ibid., p. 357.

<sup>12</sup> LEGARDA, Lucio, *et al.* El sistema de riego por exudación, una alternativa viable para la producción de los cultivos de clima cálido en regiones secas. Pasto, Nariño. Universidad de Nariño Facultad de Ciencias agrícolas: Fajardo Impresiones, 2001. p. 20.

agua salga a una presión muy baja, suficiente para el funcionamiento de la cinta exudante<sup>13</sup>.

**Figura 1. Cabezal de control de riego por exudación**



- 1 Manómetro de presión
- 2 Venturi
- 3 Llave de paso
- 4 Contador de agua

**1.2.4 Composición del sistema de riego por exudación.** Dentro de los componentes que constituyen el sistema operativo de riego por exudación se describen los siguientes:

**Cabezal de control de riego.** De acuerdo a lo observado en la figura 1, el cabezal de riego esta compuesto por una llave de paso para la toma de agua, una válvula ventosa para el desfogue del aire, un venturi para realizar la fertirrigación, llaves alternas para la desviación del agua hacia el venturi, un regulador de presión, un manómetro, un contador de agua,

<sup>13</sup> LEGARDA. Determinación de la cantidad de agua aprovechable en algunos cultivos de clima medio, mediante el sistema de riego por exudación. Op.cit., p. 201.

uniones y accesorios PVC; que en conjunto sirven para controlar todo el sistema.

**Tubería de abastecimiento.** Esta conectado al cabezal del riego y tiene como finalidad conducir el agua hasta la tubería secundaria, distribuyéndola luego a las líneas laterales que están constituidas por la cinta exudante que proveen al cultivo<sup>14</sup>.

**Líneas de distribución exudantes.** “Son un conjunto de cintas o tuberías fabricadas a partir de un geotextil, compuesto por microfibras de polietileno entrecruzadas que forman una malla porosa y se conectan lateralmente a la tubería de abastecimiento para suministrar agua al cultivo en forma localizada”<sup>15</sup>. (Ver figura 3).

**1.2.5 Tensiómetros.** “El Tensiómetro es el aparato que mide la tensión del suelo o, lo que es lo mismo la fuerza que han de realizar las raíces para absorber el agua del terreno. Cuando mayor es la tensión, menos humedad tiene el suelo, ya que las raíces absorben con más fuerza y, a la inversa, cuando menor es la tensión, menor es la fuerza de absorción y mayor la humedad”<sup>16</sup>.

El Tensiómetro se compone de una cápsula de cerámica porosa llena de agua, que se entierra en el suelo hasta la profundidad de las raíces de la planta. La cápsula esta conectada a un manómetro indicador de vacío por un tubo lleno de agua. La cerámica porosa es permeable al agua, pero no al aire. El suelo ejerce una tensión sobre el agua de la columna que hace que la altura del agua en ella descienda, pasando al suelo y provocando una presión negativa que es medida.

La lectura efectiva que se puede leer en un Tensiómetro va de 0.8 bar hasta 80 centibares. Más allá de este valor, el aparato no puede registrar lectura, aún en los casos que el suelo continúe secándose. Cuando hay agua libre en el interior del suelo la lectura equivaldrá a 0. “El tensiómetro puede medir las tensiones de la mayoría de los cultivos agrícolas en todos los tipos de suelo”<sup>17</sup>.

Para nuestro trabajo de investigación se ubicaron dos tensiómetros a diferentes profundidades, tal como se describe en la figura 2, donde se muestra los

---

<sup>14</sup> Riego [online]. Op.cit.

<sup>15</sup> LEGARDA. Determinación de la cantidad de agua aprovechable en algunos cultivos de clima medio, mediante el sistema de riego por exudación. Op.cit., p. 160.

<sup>16</sup> LORENTE, Op.cit., 734.

<sup>17</sup> LEGARDA, Lucio, *et al.* El sistema de riego por exudación, una alternativa viable para la producción de los cultivos de clima cálido en regiones secas. Pasto, Nariño. Universidad de Nariño Facultad de Ciencias agrícolas: Fajardo Impresiones, 2001. p. 5.

tensiometros colocados a 10 y 20 cm. de profundidad en la zona radicular de la planta con el fin de determinar la tensión del suelo.

**Figura 2. Tensiometros a 10 y 20 cm de profundidad.**



Los valores de los centibares se traducen así:

- de 0 a 10: saturación del suelo.
- de 10 a 20: capacidad de campo.
- de 30 a 60: agua útil, es el intervalo común para aplicar riego.
- más de 60: falta de agua

**Figura 3. Disposición de la cinta exudante en el campo**





### 1.3. SUCCIÓN DE AGUA EN EL SUELO

“La succión se define como la presión negativa con que el suelo retiene el agua, la cual es ejercida sobre el agua por los sólidos e igualmente el suelo tiene capacidad para proporcionar agua a varios niveles de succión”<sup>18</sup>.

### 1.4. INFILTRACIÓN

“Se conoce como "Infiltración de agua en el suelo" al hecho físico en el cual el agua penetra al suelo desde la superficie del mismo, en ese proceso de penetración, el agua puede moverse en diferentes direcciones (verticalmente, horizontalmente, radialmente)”<sup>19</sup>.

### 1.5. FERTIRRIGACIÓN

“La fertirrigación es la aplicación combinada y frecuente de agua con fertilizantes. Los modernos sistemas de riego localizados ofrecen posibilidades de utilización conjunta al poder aplicar los fertilizantes al agua de riego, desde el cabezal, mediante los sistemas de inyección de fertilizantes como el tipo ventura”<sup>20</sup>.

Para la realización de un adecuado diseño de una instalación de fertirrigación localizada, resulta imprescindible el conocimiento del movimiento la distribución del agua y los nutrientes en el perfil del suelo. La distribución de la solución nutriente dependerá de múltiples factores tales como propiedades físicas del suelo(textura, estructura, porosidad, conductividad hidráulica, capacidad de infiltración, etc.), dosis y frecuencia de riego, coeficientes de absorción del cultivo y de evaporación del agua en el suelo<sup>21</sup>.

Según Lorente<sup>22</sup>, con el sistema de fertirrigación se consigue una aplicación más uniforme del abonado y un ahorro en la calidad de los fertilizantes empleados, ya que solo se incorporan a una parte muy determinada del suelo donde se

---

<sup>18</sup> Ibid., p. 6.

<sup>19</sup> CADENA, Víctor y MUÑOZ, Andres. Determinación de la cantidad optima de agua aprovechable en los cultivos de sandía (*Citrullus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays*), pimentón (*Capsicum annuum*), mani (*Arachis hipogea*), bajo el sistema de riego por exudación en el corregimiento de Remolino, Nariño. San Juan de Pasto, Colombia, 2001. 78p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo), Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 33.

<sup>20</sup> DEL AMOR, F. et al. Guía práctica para el riego y la fertilización de melón y zapallo. España: Publicación de la Caja Rural Central, 1984. p. 7.

<sup>21</sup> Fertirrigación [online]. 2002. Web: <[http://www.horticom.com/dom/informate/sitio\\_agricola/fundamente/Fertirrigación.Htm](http://www.horticom.com/dom/informate/sitio_agricola/fundamente/Fertirrigación.Htm)>

<sup>22</sup> LORENTE, Op.cit., 729.

desarrollan las raíces y no en todo él. Otra ventaja es el ahorro de mano de obra, debido a la posibilidad de mecanizar la distribución con una regulación automática.

**Figura 4. Sistema de riego por aspersión tradicional de la zona.**



## **1.6. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN**

“El sistema de riego por aspersión, consiste en aplicar riego en forma de llovizna, la cual se produce mediante el paso de agua a presión a través de tuberías de las que sale por pequeños orificios. La presión se obtiene normalmente por medio de una fuente de energía y en casos especiales por la gravedad ósea la diferencia de niveles”<sup>23</sup>. (Ver figura 4).

### **1.6.1 Limitaciones del sistema de riego por aspersión.**

- Se presentan obturaciones en las boquillas de los aspersores por las basuras que transporta el agua a pesar de los filtros.
- El viento reduce la uniformidad en la distribución.
- Las pérdidas por evaporación son mayores que en los métodos superficiales corrientes. Estas pérdidas por evaporación pueden, en ocasiones, llegar hasta el 50% del total del agua aplicada.

---

<sup>23</sup> LEGARDA, Lucio et al. Técnicas de aplicación de riego agrícola. Pasto, Nariño. Universidad de Nariño. Facultad de ciencias agrícolas: Editorial universitaria, 2002. p. 134.

- Se pierde agua al cambiar de posición los laterales y también por la misma localización de estos, se riega agua no programada<sup>24</sup>

## 1.7. NECESIDADES DE RIEGO EN LOS CULTIVOS

Doorenbos y Kassan, citados por Erazo y Valencia dicen que:

Las necesidades de riego se refieren a la cantidad de agua y al momento de su aplicación con el concepto de compensar los déficit de humedad del suelo durante el periodo vegetativo de un cultivo dado. Es preciso conocer la relación entre la necesidad de agua de los cultivos y sus rendimientos para predecir unos niveles de producción que puedan lograrse variando la asignación y utilización de agua disponible para el riego<sup>25</sup>.

## 1.8. IMPORTANCIA DEL CALCULO DEL BALANCE HÍDRICO

“La determinación de las necesidades hídricas de los cultivos, juega un papel importante en la obtención de altos rendimientos, ya que conocer que cantidad de agua y en que momento se debe suministrar a la planta, posibilita hacer un uso racional de la misma, además de efectuar el riego en el momento más oportuno”<sup>26</sup>.

“Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año”<sup>27</sup>.

“El balance hídrico especifica que el total de agua que entra en un sistema, debe ser igual al que sale de el, más la diferencia entre los contenidos finales e iniciales”<sup>28</sup>. Rosero, citado por Erazo y Valencia.

$$BH = FE - FS + AHS$$

Donde:

---

<sup>24</sup> Ibid., p. 135.

<sup>25</sup> ERAZO, D. y VALENCIA, C. Determinación de las necesidades de agua en los cultivos de frijol, melón y tomate, mediante el sistema de riego por Oexudación, en el municipio del Peñol, Nariño. Pasto, Colombia, 2002. 160 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.p. 42.

<sup>26</sup> LEGARDA, Lucio y PUENTES, Gerardo. Talleres de agroclimatología. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de ciencias agrícolas: Unigraf, 2001. p. 131.

<sup>27</sup> Importancia del cálculo del balance hídrico [online]. 2002. Web: <[http://WWW.Etsia/dom/informate/sitio\\_agricola/fundamente/Fertirrigación.Htm](http://WWW.Etsia/dom/informate/sitio_agricola/fundamente/Fertirrigación.Htm)>

<sup>28</sup> ERAZO, Op.cit., p. 34.

BH = Balance hídrico  
FE = Precipitación  
FS = Evapotranspiración  
AHS= Cambios de humedad del suelo

Según Rosero, citado por Erazo y Valencia afirma que:

Un balance hídrico con intervalo de una semana, una década, permitirá individualizar periodos de sequía de una, dos o tres semanas (o décadas), que en ocasiones afecta el rendimiento de los cultivos. Dado que el balance hídrico general de un área y la necesidad individual de riego de cada cultivo, puede calcularse para diferentes intervalos de tiempo y con datos promedios y de capacidad de almacenaje de agua en el suelo, es posible a través de este análisis, detectar necesidades permanentes de riego<sup>29</sup>.

### 1.8.1 Componentes de variables para el cálculo del balance hídrico

**Precipitación.** “La precipitación es un parámetro muy variable, por lo tanto es necesario considerarla con valores probabilísticas”<sup>30</sup>.

De acuerdo con Amézquita, citado por Erazo y Valencia:

El análisis histórico de las características de las lluvias por métodos estadísticos probabilísticos, es una herramienta de mucha utilidad para la comprensión de su comportamiento y toma de decisiones sobre la aplicación de prácticas útiles para el manejo productivo y conservacionista de los suelos (labranza, riego, drenaje). A este respecto es posible trabajar con probabilidades mensuales, semanales y aun diarias de la cantidad de lluvia, que puede esperarse, así como de los balances hídricos, lo que permitirá planear razonablemente las practicas de riego y de drenaje, cuando ellas sean necesarias y diseñar practicas de riego y de drenaje, cuando ellas sean necesarias y diseñar practicas de labranza y de manejo de suelos para aumentar el mejoramiento del perfil, en áreas de producción intensiva<sup>31</sup>.

**Evapotranspiración.** “Cantidad de agua que en una unidad de tiempo que (evapotranspira) un cultivo verde, bajo, de altura uniforme que sombrea por

---

<sup>29</sup> Ibid., p. 35.

<sup>30</sup> LEGARDA y PUENTES, Op.cit., p.133.

<sup>31</sup> ERAZO, Op.cit., p35.

completo el suelo al que en ningún momento le falta agua”<sup>32</sup>.

Según Legarda y Puentes:

Es frecuente que en la práctica no se den estas condiciones necesarias para que tenga lugar este fenómeno fundamentalmente diurno, es un concepto útil sobre necesidades de agua en las plantas y balances de humedad del suelo. En síntesis la evapotranspiración es la pérdida de agua de una superficie dada, tanto por evaporación como por transpiración de las plantas. Existen diferencias entre la evapotranspiración potencial (ETP) o máxima cantidad de agua evapotranspiración actual o real (ETA), que es aquella producida cuando la vegetación está sometida a condiciones climáticas y ecológicas de suministro de agua, tal que las plantas no pueden transpirar sino el agua que realmente disponen, por estar el suelo parcialmente seco<sup>33</sup>.

Según Gavande, la medida de las transpiración es importante para:

Programar la irrigación.

En regiones con limitaciones de agua, ésta puede reservarse para usos futuros.

Predecir la frecuencia y severidad de las sequías agrícolas en áreas húmedas y subhúmedas.

Para elaborar el balance hidrológico diario, década, mensual, anual, estacional de los cultivos.

Establecer las necesidades de riego o requerimientos de un proyecto de riego<sup>34</sup>.

**Coefficiente de transpiración del cultivo (kc).** “El coeficiente del cultivo, está definido como la relación entre evapotranspiración real del cultivo y la evapotranspiración de cultivo de referencia”<sup>35</sup>.

---

<sup>32</sup> GAVANDE, Sampat. Física de los suelos. México: Limusa – Wiley, 1972. p. 260.

<sup>33</sup> LEGARDA y PUENTES, Op.cit., p. 80.

<sup>34</sup> GAVANDE, Op.cit., p. 200.

<sup>35</sup> ERAZO, Op.cit., p. 37.

El coeficiente del cultivo (Kc) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra, hasta la recolección.

- **Inicial:** Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del suelo aproximadamente.
- **Desarrollo:** Desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
- **Media:** Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70 – 80% de cobertura máxima de cada cultivo.
- **Maduración:** Desde la madurez hasta la recolección.

## 1.9 HUMEDAD DEL SUELO

Entre los factores edáficos que afecta la evapotranspiración uno de los más importantes es la humedad del suelo, cuya deficiencia reduce la evapotranspiración, al provocar en la planta disminución en la apertura de los estomas. Algunas otras propiedades físicas y químicas del suelo ejercen también cierta influencia sobre el fenómeno tales como la aireación, estado nutricional, entre otros<sup>36</sup>.

## 1.10 DESCRIPCIÓN Y EXIGENCIAS DE LOS CULTIVOS

### 1.10.1 Cultivo de Maíz (Zea maiz).

El maíz es un cultivo muy remoto de unos 7000 años de antigüedad, de origen indio que se cultivaba por las zonas de México y América central. Hoy día su cultivo está muy difundido por todo el resto de países y en especial en toda Europa donde ocupa una posición muy elevada. EEUU es otro de los países que se destaca por su alta concentración en el cultivo de maíz.

**Clima.** El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Requiere bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C.

El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de los 30°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción

---

<sup>36</sup> LEGARDA, Lucio. Técnicas de aplicación de riego agrícola. Op.cit., p. 139.

de nutrientes minerales y agua. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C.

**Pluviometría.** Las aguas en forma de lluvia son muy necesarias en periodos de crecimiento en unos contenido de 40 a 65 mm. en adelante alrededor de 750 mm, repartidas en las etapas de germinación, floración y fructificación.

**Riegos.** El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día, las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua pero sí mantener una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración y durante la floración. Por último, para el engrosamiento y maduración de la mazorca se debe disminuir la cantidad de agua aplicada.

**Suelo.** El maíz se adapta muy bien a todos tipos de suelo pero suelos con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular<sup>37</sup>.

**Requerimiento nutricionales.** Para una producción optima, el cultivo de maíz tiene los siguientes requerimientos nutricionales: Para producir una tonelada (1000 Kg.) necesita 25-30 Kg. (N), 11-15 Kg./ (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 23-25 Kg./ (K<sub>2</sub>O).

“La extracción por hectárea es de 175-190 Kg./de (N) 77-105 Kg./ (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 160-175 de K<sub>2</sub>O”<sup>38</sup>.

**1.10.2 Cultivo de Pimentón (*Capsicum annum*).** En Colombia en el año de 1997, el área cultivada con pimentón sobrepasaba las 1500 has, siendo los departamentos del Valle del Cauca, Antioquia, Santander y Bolívar los Principales productores. El periodo vegetativo dura 80 y 110 días después del transplante este cultivo es altamente exigente de luz<sup>39</sup>.

**Clima.** El Pimentón es un cultivo que se adapta bien a climas templados. Las temperaturas optimas para su desarrollo están ente los 18<sup>0</sup> C y 24<sup>0</sup> C. La humedad

---

<sup>37</sup> Riego [online]. Op.cit.

<sup>38</sup> LORENTE, Op.cit., p. 471.

<sup>39</sup> CORPORACION COLOMBIANA INTERNACIONAL. Producción de Pimentón en Colombia. En : Exotica; boletín de divulgación. Bogotá. Vol. 2. no. 3(Jul - Sep. 1999). p. 14 – 16.

relativa debe estar entre 70 y 90%. En Colombia los cultivos se encuentran entre 500 y 1600 msnm<sup>40</sup>.

**Suelo.** El pimentón se puede producir en un amplio rango de suelos; sin embargo las mejores texturas son las franco - limosas y franco - arenosas que permiten un buen drenaje y buena retención de humedad. Resiste suelos ligeramente ácidos desde 5.5, pero su mejor desarrollo se obtiene con pH de 6.0 a &.8.

**Riego.** Es preferible el riego por gravedad, para no mojar las hojas y reducir así la incidencia de enfermedades, los requerimientos totales de agua son alrededor de 400 a 800 mm por cosecha.

**Requerimientos nutricionales.** Para una producción de una tonelada (1000 kg) tiene los siguientes requerimientos nutricionales: Para producir una tonelada (1000 kg) necesita 22 kg (N), 12-15 kg/ (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 25-28kg/(k<sub>2</sub>O). La extracción por hectárea e de 200-240 kg (N) 150-170 (P205)<sup>41</sup>.

### 1.10.3 El cultivo de Habichuela (*Phaseolus vulgaris* L).

Dado su carácter de cultivo transitorio, la producción de habichuela es estacional. Presentando " picos de producción" y de escasez en el transcurso del año. La máxima producción se presenta en los meses de noviembre a diciembre y los mayores déficit, en enero y febrero. Un aspecto interesante es que debido a su corto periodo vegetativo (80-110 días), este cultivo se adelanta fácilmente en forma escalonada permitiendo una "producción regular" de marzo a octubre.

**Clima.** Presenta un gran rango de adaptación, desde los 800 hasta los 2200 msnm. lo que corresponde a temperaturas medias entre 24<sup>0</sup> C y 16<sup>0</sup> C. El ciclo del cultivo se acorta cuando la zona es más baja o caliente, pero esto a la vez afecta la calidad ya que se aumenta el contenido de fibra<sup>42</sup>.

Es planta de clima húmedo y suave, dando las mejores producciones en climas cálidos.

**Suelo.** Aunque admite una amplia gama de suelos, los más indicados

---

<sup>40</sup> LORENTE, Op.cit., p. 632.

<sup>41</sup> CORPORACION COLOMBIANA INTERNACIONAL, Op.cit., p. 43 – 45.

<sup>42</sup> VILLARUEL, L. El cultivo de la habichuela. En : Revista ESSO agrícola. Bogotá. Vol. 34. no. 2(Ene - Jun. 1988). p 18-25.



son los suelos ligeros, de textura silíceo-limosa, con buen drenaje y ricos en materia orgánica. En suelos fuertemente arcillosos, muy calizos y demasiado salinos vegeta deficientemente, siendo muy sensible a los encharcamientos, de forma que un riego excesivo puede ser suficiente para dañar el cultivo, quedando la planta de color pajizo y achaparrada. Los valores de pH óptimos oscilan entre 6 y 7,5, aunque en suelo enarenados desarrolla bien con valores de hasta 8,5<sup>43</sup>.

**Requerimientos nutricionales.** Para una producción óptima, el cultivo de habichuela tiene los siguientes requerimientos nutricionales: Para producir una tonelada (1000 kg) necesita 15-18 kg/(k<sub>2</sub>O).

La extracción por hectárea es de 120-150 kg de (N), 80-100 kg/(p<sub>2</sub>o<sub>5</sub>) y 130-180 kg de (K<sub>2</sub>O)<sup>44</sup>.

**1.10.4 Arveja.** En Colombia los cultivos para la producción en vaina verde están localizados entre 1800 y 2800 msnm, y para la producción de grano seco a alturas desde 1000 msnm.

**Clima.** La arveja se comporta mejor en climas frescos y con buena humedad y la temperatura óptima para el crecimiento oscila entre los 15 y 18 ° C. La planta en crecimiento tolera bajas temperaturas (mínimo 7°C), e inclusive heladas de baja intensidad. La temperatura máxima del cultivo es de 24°C, a mayores niveles los rendimientos disminuyen y la calidad es menor debido a una madurez acelerada<sup>45</sup>.

**Suelos.** Monsalve<sup>46</sup>, recomienda la siembra en suelos bien drenados y sueltos. Debe evitarse la siembra en suelos encharcados. El pH del suelo puede estar en el rango de 5.5 a 6.5 en suelos con pH inferior a 5.7 se recomienda hacer aplicaciones de cal.

---

<sup>43</sup> Riego [online], Op.cit.

<sup>44</sup> VILLARRUEL, Op.cit., p. 9.

<sup>45</sup> LOBO, M. y GIRALD. Manual de hortalizas: arveja. ICA, Colombia, 1992. Pp 245-251.

<sup>46</sup> MONSALVE, O. Manejo agronómico del cultivo de la arveja. Pasto : CORPOICA, 1992. p. 55 - 58.

**Fertilización.** Se recomienda los fertilizantes 13-26 -6 y 10-30-10 para regiones altas, respectivamente para épocas veranosas y lluvias. En regiones bajas de mejores resultados los abonos de las formulas 15-15-15 o 18-18-18. Las cantidades recomendadas van de 100 a 150 Kg/ha, según la fertilidad de los suelos<sup>47</sup>.

**Riegos.** La época crítica en la que debe existir buena disponibilidad de agua es durante el crecimiento y floración. Posteriormente, la humedad aumenta la incidencia de enfermedades y por lo tanto de manchas en las vainas. Los requerimientos del cultivo son aproximadamente 300 mm. de agua en zonas frías; en zonas medias y cálidas estos son del orden de 400 mm. por cosecha<sup>48</sup>.

**1.10.5 Cebolla cabezona (*Allium cepa* L).** En el departamento de Nariño, el área sembrada fue de 418 has con una producción de 4979 ton y un rendimiento de 18000 kg/ha.

**Clima y suelos.** El cultivo de zapallo requiere de clima templado a cálido para su desarrollo, pero las condiciones específicas ideales son aquellas donde hay temperaturas frescas en las fases iniciales del desarrollo de la planta y cálida hacia la madurez, las temperaturas de 12 a 24° se consideran como óptimas.

**Fertilización.** El principal aporte de nutrientes debe centrarse en abonos simples. Dosis indicativas pueden ser 50 a 100 Kg./ha de nitrógeno; 70 a 150 Kg./ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 120 a 200 Kg./ha de K<sub>2</sub>O. En ocasiones también resulta conveniente la aplicación de azufre<sup>49</sup>. Caicedo.

**Preparación del suelo y siembra.** La cebolla necesita labores superficiales para conseguir una capa mullida y ocasionalmente labores profundas que aseguren un correcto drenaje.

---

<sup>47</sup> SAÑUDO, B.; CHECA, O. y ARTEAGA, G. Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas, Pasto : Sañudo, 1999. p. 98.

<sup>48</sup> HAEFF, J.B. Diagnostico y evaluación de la producción de hortalizas en el municipio de Pasto. Pasto : ICA, 1982. 147 p.

<sup>49</sup> CAICEDO, L. A. Horticultura. Palmira, Colombia : Universidad nacional, 1984. p. 30, 32.

La siembra puede llevarse a cabo en semilleros o en terreno definitivo. El trasplante se hace a los 40 a 45 días, cuya modalidad es la más empleada en el país; se realiza sobre surcos distanciados unos con otros a 50 cms, en líneas paralelas y entre plantas entre 18 y 22 cm<sup>50</sup>.

**Riego.** Caicedo<sup>51</sup>, menciona que inmediatamente después del trasplante básico llevar al suelo a capacidad de campo hasta la madurez, es decir unos 10 días antes de la cosecha, los primeros ocho días necesita agua mañana y tarde. El requerimiento hídrico de la cebolla esta entre 650 y 700 mm por cosecha.

**1.10.6 Zapallo (Cucúrbita moschata).** El zapallo es considerado en Colombia como un cultivo promisorio tanto por su cantidad alimenticia como por las expectativas de exportación a Norteamérica, Europa, sin embargo su cultivo es poco difundido en el País.

**Clima y suelos.** Lorente, afirma que se adapta a condiciones climáticas de Colombia, se cultiva en altitudes óptimas de 400 a 1800 msnm. El zapallo es exigente en calor y sensible a las bajas temperaturas. Este cultivo requiere suelos ricos, sueltos y frescos. No tolera excesos de humedad y su pH óptimo es de 6.0.

**Riego.** “El cultivo de zapallo durante su ciclo vegetativo requiere de 400-600 mm de agua, con períodos críticos en floración y llenado de frutos”<sup>52</sup>

**Características de las variedades de maíz, pimentón, habichuela, arveja, cebolla y zapallo utilizadas en este estudio.**

Para el establecimiento del cultivo de maíz se utilizo la variedad amarillo DK-888 que se adapta muy bien es zonas ubicadas más o menos a 14000 msnm, es una planta de porte medio, presenta una coloración de grano amarillo – naranja, una prolificidad de 1 a 2 mazorcas por planta, Una maduración comprendida entre los 110-120 días y un rendimiento potencial en los valles interandinos de 7000 kg/ha<sup>53</sup>. Monsalve.

“También se utilizo en este estudio la variedad de pimentón agronómica caracterizada por presentar frutos alargados, con baya de color rojo y sus plantas presentan una altura que oscila entre los 45 y 60 días”<sup>54</sup>. Legarda.

---

<sup>50</sup> HIGUITA, F. El cultivo de la cebolla. En : tierra. Manual de hortalizas. México. no 28(1983). 287 p.

<sup>51</sup> CAICEDO, Op.cit., p. 33.

<sup>52</sup> DEL AMOR, Op.cit., p. 65.

<sup>53</sup> MONSALVE, Op.cit., p. 38.

<sup>54</sup> LEGARDA, Lucio et al. Técnicas de aplicación de riego agrícola. Op.cit., 49.

“En cuanto a la habichuela se utilizo la variedad Lago azul que se adapta a zonas de 1000 – 1600 msnm”<sup>55</sup>.

La variedad Santa Isabel se utilizo para la evaluación del cultivo de arveja, esta se caracteriza por tener un crecimiento indeterminado. Presenta vainas de tamaño mediano a grande, con 5 a 9 granos que en estado seco son grandes, lisos de color crema quemado con hillium negro, el peso de 100 semillas puede llegar a 34 gramos. Es moderadamente resistente a ascochyta y antracnosis, pero susceptible a amarillamiento<sup>56</sup>.

En cebolla se utilizo un híbrido Texas PRR, con bulbos en forma de trompo, túnica blanca y con pulpa dulce y suave. Con una duración de 90 a 95 días.

En zapallo se utilizo la variedad híbrido mexicano, la cual se adapto favorablemente a las condiciones de clima y suelo de la zona de estudio. Se caracteriza por poseer un fruto redondo, de coloración verde intenso y pulpa naranja o amarillo intenso. Con una duración de 90 a 120 días.

## **1.11 PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO**

### **1.11.1 Densidad aparente.** De acuerdo con Legarda:

Para fines de riego es necesario conocer la densidad aparente para calcular el agua de riego, puesto que es imposible medir por medios directos el volumen del agua que existe en forma de humedad del suelo, en un volumen dado del mismo. Así mismo la densidad aparente de un suelo varia con las operaciones de labranza, siendo alta si el suelo esta compactado y es bajo si no lo esta y en suelos arenosos es mayor que en suelos arcillosos<sup>57</sup>.

### **1.11.2 Porosidad del suelo.** Legarda afirma que:

La porosidad es el volumen de suelo que no está ocupado por partículas sólidas y que está ocupado por aire y/o agua. La importancia de la porosidad radica en el hecho de que el aire y el agua que ocupa dicho espacio es fundamental para el desarrollo de las planta, y por tanto para

---

<sup>55</sup> VILLARRUEL, Op.cit., p. 15.

<sup>56</sup> SAÑUDO, Op.cit., p. 43.

<sup>57</sup> LEGARDA, Lucio . Influencia de la succión máxima del agua y del espacio aéreo del suelo sobre la producción de la variedad “27 R” de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), 1972. 120 p. Tesis de grado (Magister). IICA. p. 36.

la producción del cultivo. La porosidad esta íntimamente relacionada con la agregación, con la estructura de los suelos. De la porosidad dependerán importantes propiedades y procesos físicos en los suelos como la retención y el movimiento de agua, la aireación y la transferencia de oxígeno en el medio radical y la facilidad con que las raíces pueden penetrar el suelo<sup>58</sup>.

Aproximadamente la mitad del volumen del suelo esta representado por el espacio poroso lleno de aire y agua, ambos esenciales para la vida. La cantidad de espacio poroso esta en función de la estructura, el contenido de materia orgánica y la textura. Los poros del suelo según su tamaño se clasifican en macroporos, mesoporos y microporos<sup>59</sup>.

#### **1.11.3 Conductividad hidráulica.** Legarda menciona que:

La conductividad hidráulica es una propiedad física importante en el diseño de sistemas de drenaje del suelo y se refiere al exceso de agua que penetra en el suelo y llega a tocar el nivel freático. Y la conductividad hidráulica de las capas superiores del suelo es el parámetro más importante del mismo en los problemas de drenaje.<sup>60</sup>

#### **1.11.4 Humedad gravimétrica.** De acuerdo con Legarda:

La humedad gravimetría se refiere a la cantidad de agua que retiene el suelo por encima de la fuerza de gravedad, teniendo en cuenta esto, en los suelos del área experimental se presentan condiciones en las cuales la retención de humedad de los suelos es determinada por la textura, que no permite que el agua pueda llegar a infiltrarse sino hasta cierta profundidad impidiendo una constante disponibilidad de agua en el terreno lo cual dificulta el normal desarrollo de los cultivos, causando estrés hídrico que puede ser influenciado bien sea por la falta de agua o por el contrario por el exceso<sup>61</sup>.

#### **1.11.5 Humedad volumétrica.** Legarda manifiesta que:

La humedad volumétrica se define como el porcentaje de agua que retiene y es disponible para las plantas, en los suelo estudiados se

---

<sup>58</sup> LEGARDA, L. Las propiedades físicas y la productividad del suelo. En : Curso sobre diagnostico-fertilidad e interpretación de análisis de suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Pasto. Colombia , 1988. p. 86.

<sup>59</sup> BURBANO ORJUELA, Hernán. El suelo una visión sobre sus componentes biorganicos. Pasto : Universidad de Nariño, 1989. 447p.

<sup>60</sup> Op.cit p. 89.

<sup>61</sup> Ibid., p. 89.

produce un impedimento para que el agua presente en el suelo sea disponible para la planta cuando esta lo necesite, ya que si no se aplica constantemente riego, las condiciones de evaporación de la zona más las del suelo van a afectar directamente el crecimiento de los cultivos estresandolos hídricamente<sup>62</sup>.

#### **1.11.6 Espacio aéreo.**

Wild citado por Gaviria y Villarreal, menciona:

Que la densidad de las raíces en el perfil disminuye con la profundidad, pero que hay una considerable variación en la distribución de las raíces en diferentes etapas de crecimiento de un cultivo. Así, cuando el suelo esta en buenas condiciones los sistemas radicales son largos, profundos y expandidos.

El porcentaje en el cual se encuentra los suelo del ensayo según los resultados de la variable espacio aéreo están alrededor 8 % en promedio, y describen un difícil desarrollo radicular de los cultivos, para lo cual en la siembra se aplicaron enmiendas orgánicas como abono a base de humita que pudo mejorar el buen desarrollo de las raíces; si no se realiza una adecuada preparación del terreno también se incurre en problemas radiculares de crecimiento y disponibilidad de nutrientes<sup>63</sup>.

**1.11.7 Coeficiente de difusión.** “Se refiere a la cantidad de porcentaje de poros en el suelo que pueden interrumpir o permitir el paso de agua y aire dependiendo de las condiciones de textura y estructura presentes en el suelo”<sup>64</sup>.

---

<sup>62</sup> Ibid., p. 89.

<sup>63</sup> GAVIRIA MUÑOZ, Pedro y VILLAREAL MUÑOZ, Edwin. Efecto de zanjales fértiles y siembra de abono verde sobre propiedades físicas y productivas de dos suelos de baja fertilidad del municipio de Pasto. Pasto, Colombia, 2003. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 13.

<sup>64</sup> Ibid., p. 17.

## 2. DISEÑO METODOLOGICO

### 2.1 LOCALIZACION

“El ensayo esta ubicado en la vereda Guayabal, Municipio de Peñol, ubicado a 1200 msnm, una temperatura promedio de 22°C, una precipitación media anual de 1000 mm, humedad relativa promedio de 69%, y una evaporación de 1618 mm/año”<sup>65</sup>.

La zona pertenece a un bosque seco premontano bajo (bs-Pm) la vegetación natural ha sido modificada por intervención humana con el fin de hacer praderas extensivas sin ningún tipo de manejo.

“De acuerdo al diagrama de Leslie Holdridge la zona se clasifica como xerofítica donde se presentan pastos enmalezados, cactus arbustos espinosos, entre otros”<sup>66</sup>.

### 2.2 SUELOS

**2.2.1 Suelos, vereda Guayabal, El Peñol.** Los análisis de suelos (Anexo A ) muestran que el pH se encuentra en un nivel favorable para la movilidad de la mayoría de elementos químicos con un promedio de 6.6 en la muestra analizada, el porcentaje de materia orgánica es bajo debido a las condiciones climáticas, el fósforo presenta un alto nivel con 150 ppm, si embargo no se puede concluir que este totalmente disponible para los cultivos, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) esta equilibrada. La relación calcio magnesio se establece en 2:1, en cuanto a los oligoelementos se presenta un balance entre los elementos hierro que esta alto con 40 ppm frente al boro con 0.29 ppm, la densidad aparente y real obedece a un alto grado textural franco arcilloso y el porcentaje de porosidad se establece en 53.74%.

### 2.3 AREA EXPERIMENTAL

En un lote de 61 x 62 m. Con una área experimental de 3782 m<sup>2</sup>. Se establecieron seis parcelas experimentales principales de 600 m<sup>2</sup> con calles de un metro de separación, en el cual se implementaron para tres de ellas la aplicación de riego por exudación en los cultivos de maíz, habichuela y pimentón respectivamente y para las tres parcelas restantes en los mismos cultivos la aplicación de riego por

---

<sup>65</sup> ALCALDIA MUNICIPAL DEL PEÑOL. Esquema de ordenamiento territorial. El Peñol, Nariño, 2000. p. 126.

<sup>66</sup> Ibid., p. 126.

aspersión, lo cual se describe en la figura 5 que indica la disposición de las cintas en las parcelas experimentales en el campo.

Los datos correspondientes a la distribución y establecimiento de las siembras se describen en el cuadro 1.

**Figura 5. Distribución de las parcelas en el campo**

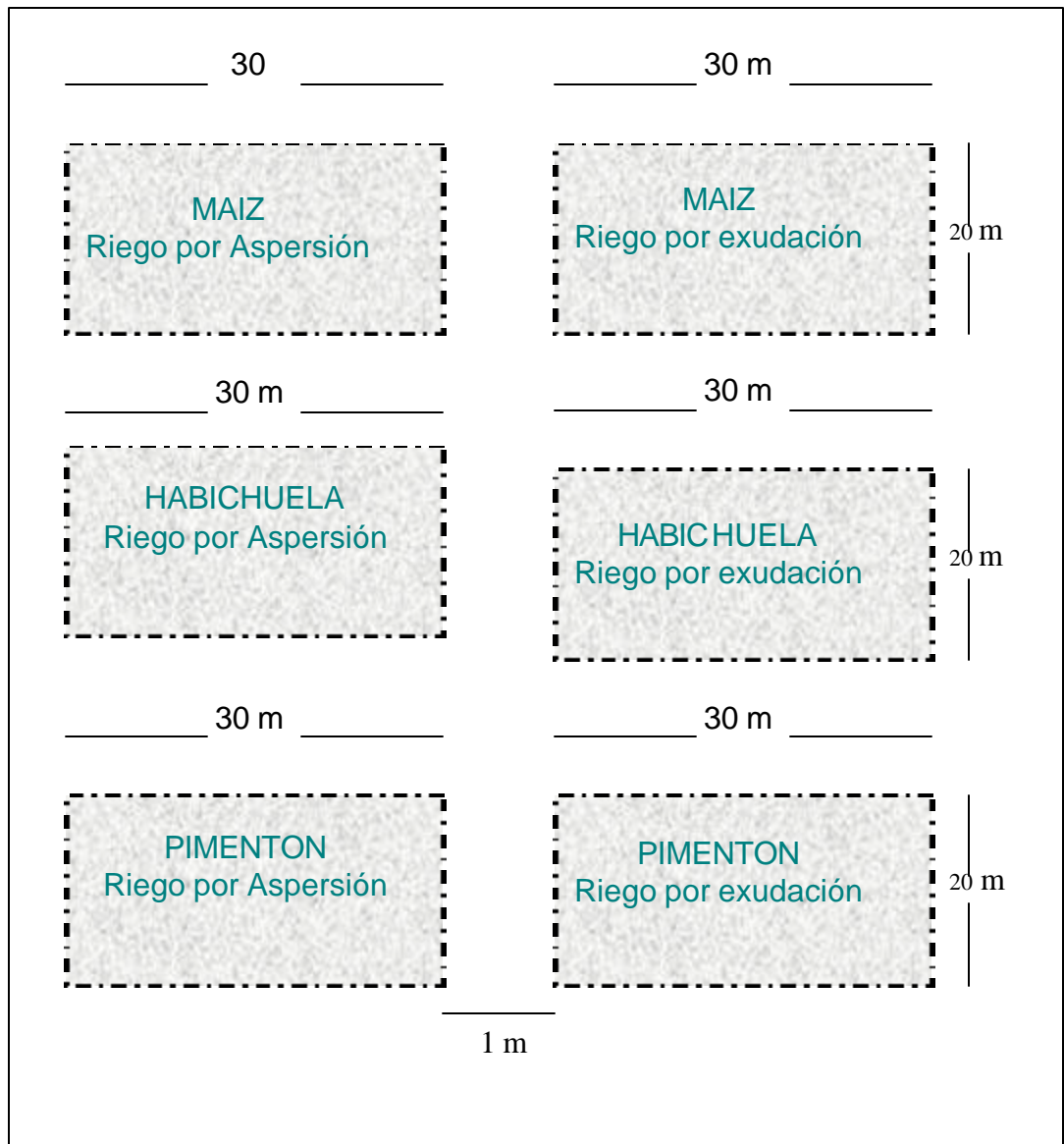




Figura 6. Esquema de la siembra de maíz en la parcela experimental.

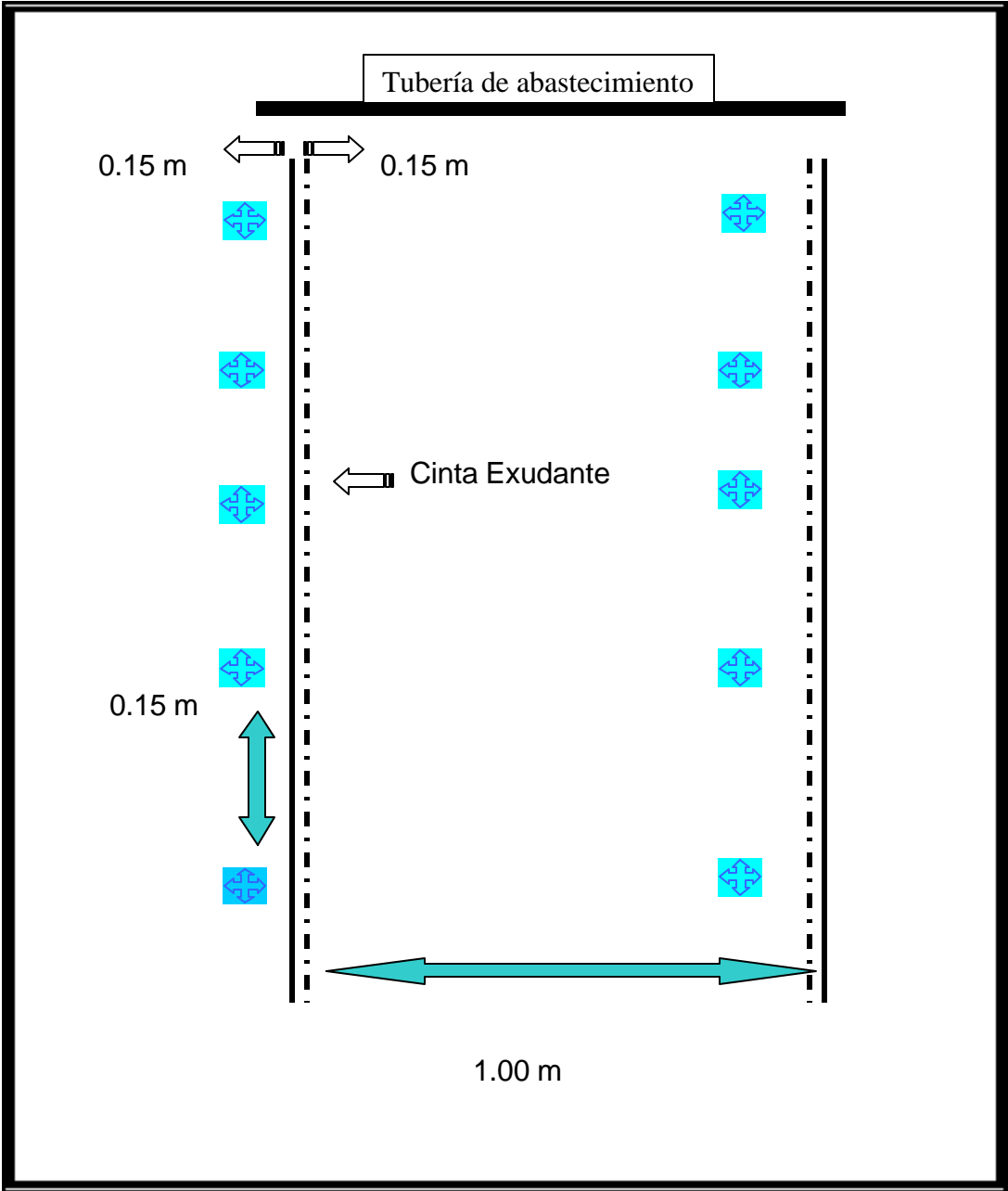


Figura 7. Esquema de la siembra de habichuela en la parcela experimental.

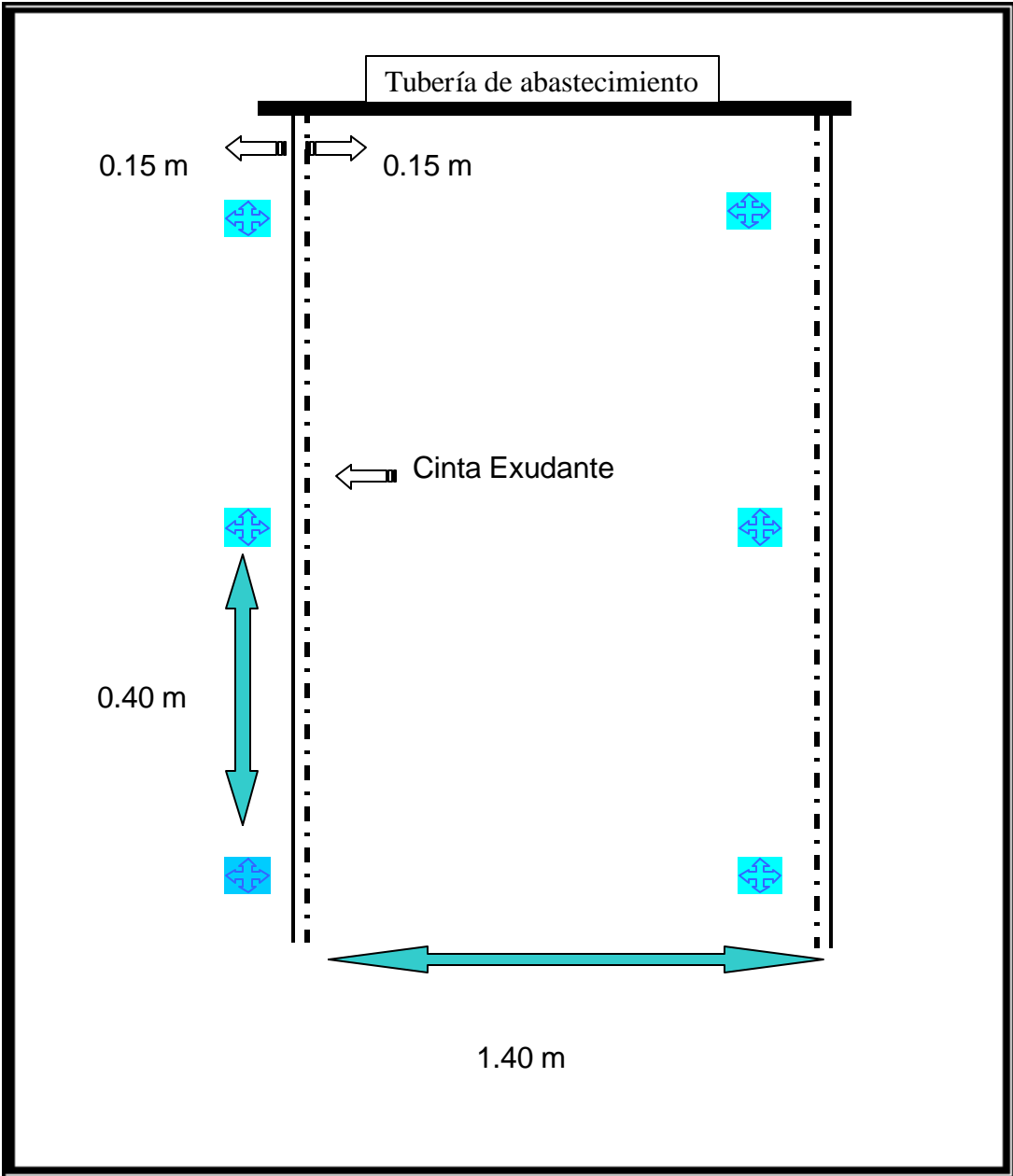


Figura 8. Esquema de la siembra de pimentón en la parcela experimental.

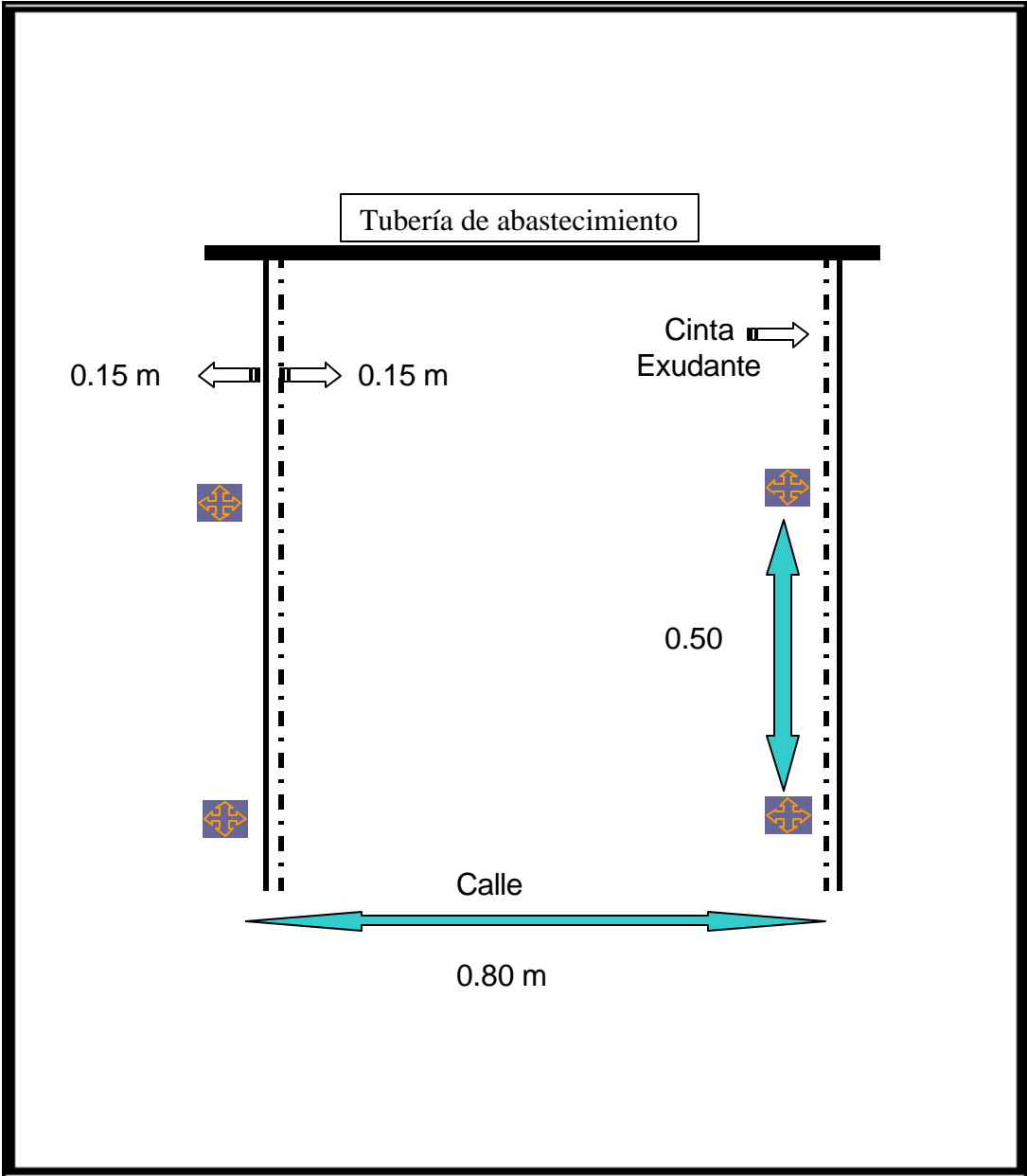


Figura 9. Esquema de la siembra de arveja en la parcela experimental.

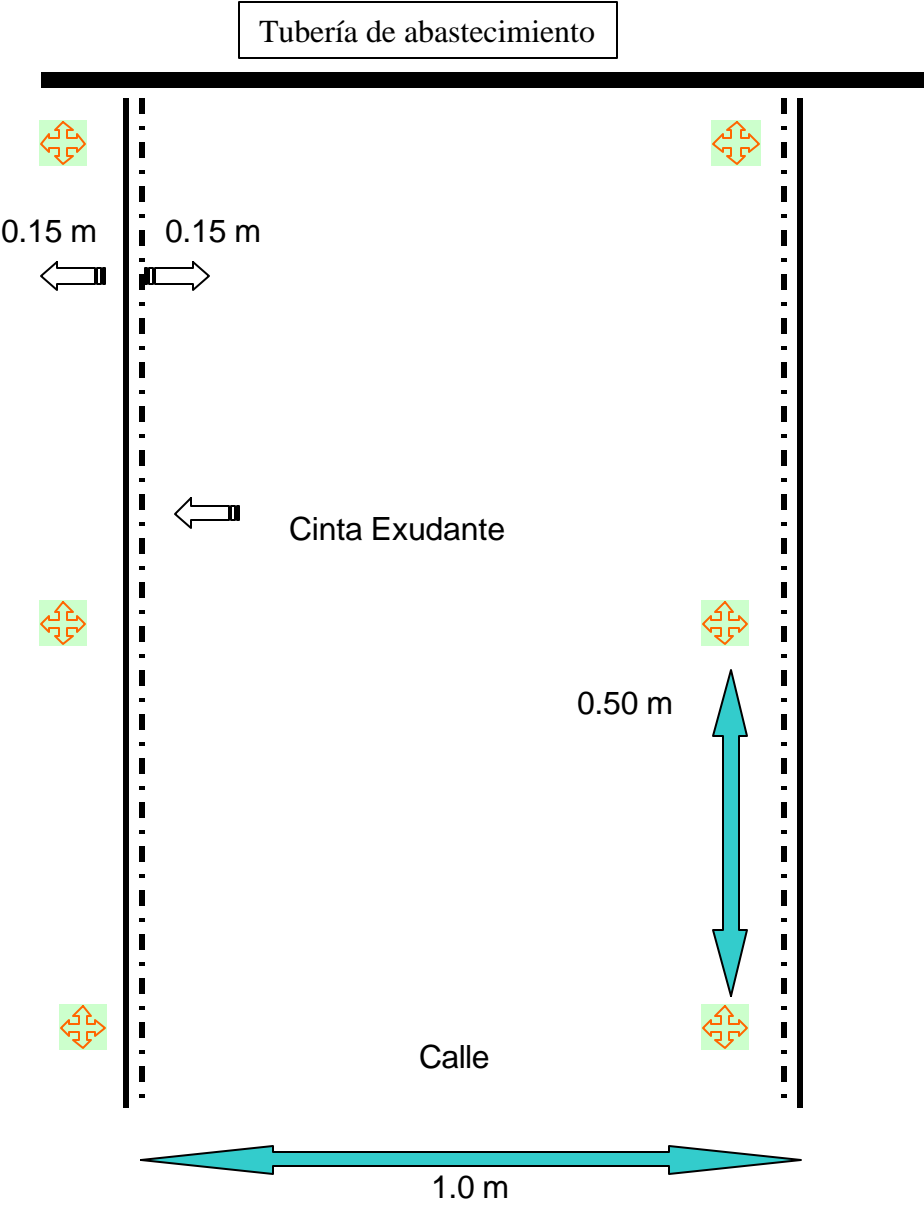


Figura 10. Esquema de la siembra de cebolla en la parcela experimental.

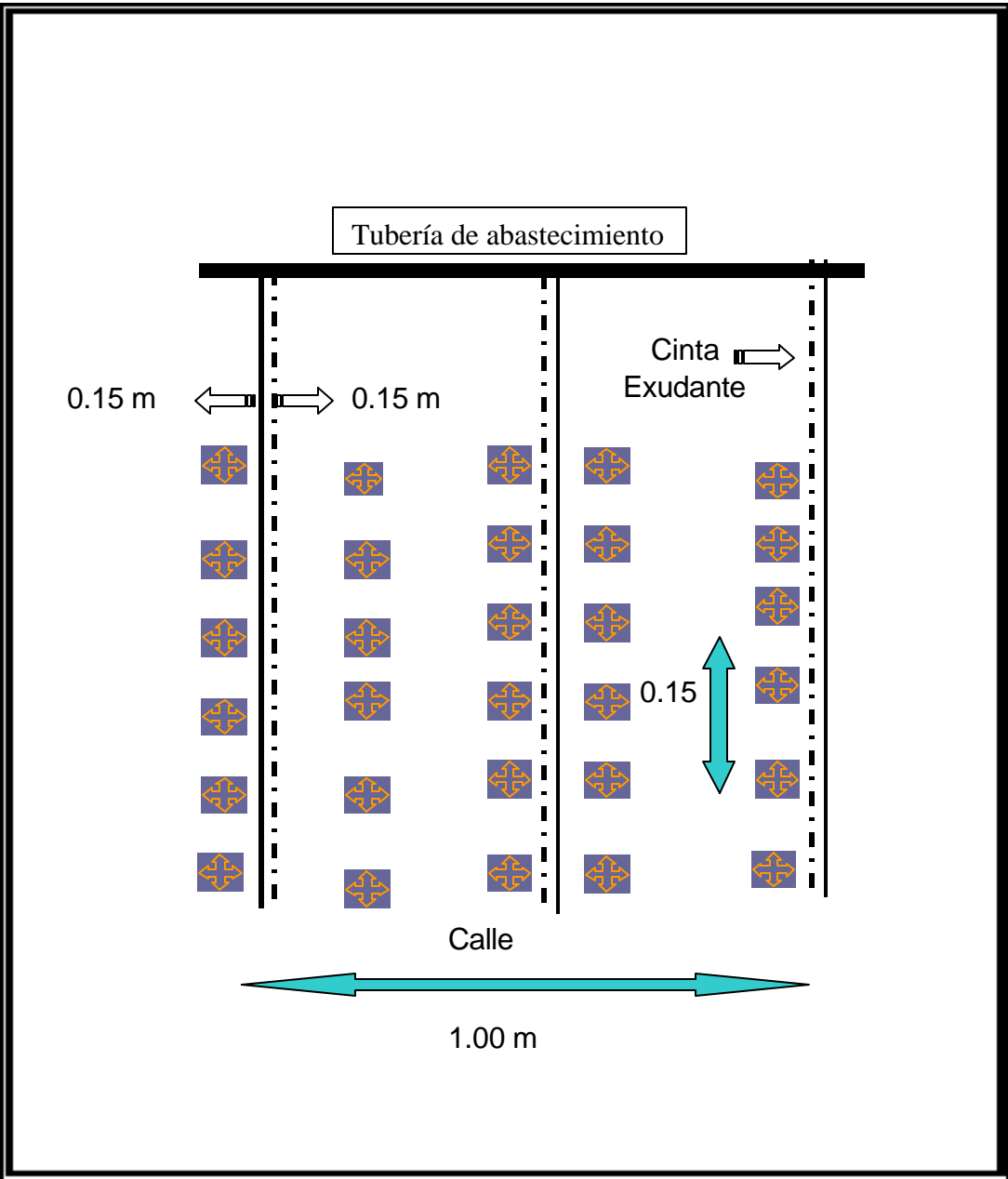
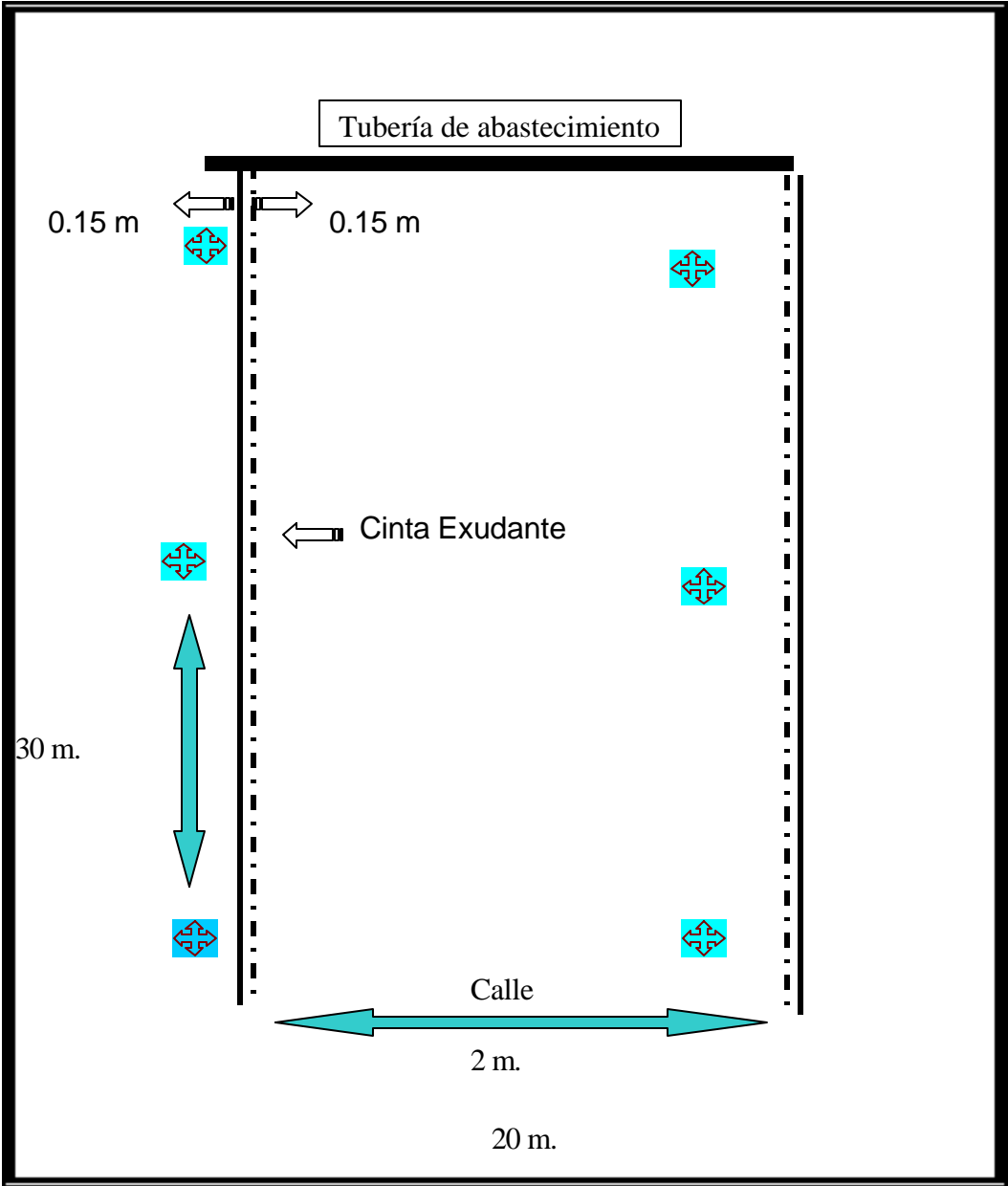


Figura 11. Esquema de siembra del zapallo en la parcela experimental.



**Cuadro 1. Distribución y establecimiento de las siembras**

PARCELAS EXPERIMENTALES	FASES DE CULTIVO	
	(1ª siembra)	(2ª siembra)
P.E. 1. (600 m <sup>2</sup> )	MAIZ	MAIZ
P.E. 2. (600 m <sup>2</sup> )	HABICHUELA	HABICHUELA
P.E. 3. (600 m <sup>2</sup> )	PIMENTON	PIMENTON
	FASES DE CULTIVO	
	3ª siembra en dos réplicas	
P.E. 1. (600 m <sup>2</sup> )	ARVEJA	ARVEJA
P.E. 2. (600 m <sup>2</sup> )	CEBOLLA	CEBOLLA
P.E. 3. (600 m <sup>2</sup> )	ZAPALLO	ZAPALLO

**2.3.1 Variedades a sembrar de maíz, habichuela y pimentón, arveja, cebolla y zapallo.** Las variedades utilizadas para la siembra de los cultivos establecidos fueron; para maíz, el híbrido DK 888, para habichuela la variedad Lago azul, para pimentón la variedad Agronómica, para arveja la variedad Sindamanoy, para cebolla la variedad Texas PRR y para zapallo la variedad híbrido Mexicano.

Estas variedades se caracterizan por su alto porcentaje de germinación y vigorosidad.

#### 2.4. DISTANCIAS DE SIEMBRA

Las distancias correspondientes de siembra para los cultivos se describen a continuación en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Distancias de siembra**

Distancias siembra	Entre surco	Entre planta	Semillas por sitio
Maíz	1.0 m.	0.5 0 m	2
Habichuela	1.4 0 m.	0.4 0 m.	1
Pimentón	0.8 0 m.	0.4 0 m	1
Arveja	1.0 m.	0.40m.	2
Cebolla	0.25 m.	0.15 m.	2
Zapallo	2.0 m.	3.0 m.	2-3

En base a las distancias de siembra establecidas anteriormente se determino el número de plantas correspondientes a 600m<sup>2</sup> para cada cultivo evaluado y esos valores se llevaron a hectárea, como se describe en el Cuadro 3.

La organización de los cultivos en cada parcela experimental, teniendo en cuenta las distancias de siembra y la disposición del sistema de riego por exudación se describe en las figuras 6 a 11.

### Cuadro 3. Densidad de siembra

Cultivo	No. Plantas 600 m2	Plantas por hectárea
Maíz	1200	20000
Habichuela	1050	17500
Pimenton	1875	31250
Arveja	4000	66666.6
Cebolla	1500	25000
Zapallo	100	1666.6

## 2.5 LABORES CULTURALES

Para el establecimiento de los cultivos se realizó labores de establecimiento, correspondientes a una arada, una rastrillada un control de malezas y una desinfección general. Para la distribución de los tratamientos se trazaron las parcelas experimentales y se procedió a sembrar. Posteriormente se controló plagas y enfermedades en los seis cultivos utilizando productos fungicidas e insecticidas mediante un uso racional y controlado. Se aplicaron labores de tutorado y podas de formación para los cultivos de habichuela, arveja y pimentón respectivamente\*.

Durante el ciclo productivo la incidencia de plagas y enfermedades fue muy baja debido al sistema de riego es localizado y también porque su manejo con un muy buen control tanto cultural como agronómico. A continuación se describe algunas plagas y enfermedades que se presentaron durante el ciclo e los cultivos, pero de muy baja incidencia.

## 2.6 PLAGAS Y ENFERMEDADES

Las plagas de mayor incidencia fueron *Agrotis* sp, y *Spodoptera* spp; los ataque mas fuertes los presentaron en los primeros estados de desarrollo del maíz, se realizaron controles químicos con Lorsban en dosis de 500 cc(bomba que equivale a 1 lt/ha\*).

- **Mosca blanca o palomilla.** Los ataques más fuertes se presentaron desde la emergencia hasta los últimos inicios de la madurez fisiológica.

---

\* ENTREVISTA. Hernando Criollo. I.A. Msc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, Mayo 15 de 2002.



Es frecuente en temporada de fuertes sequías, especialmente en el cultivo de habichuela que es un hospedaje natural. Para esta plaga se utilizo Evisec y Látigo en dosis de 20 gr y 50 cc/bomba respectivamente y también se utilizo Confidor en dosis de 10 cc/bomba\*.

Gota o tizon tardío (*Phytophthora infestans*) los síntomas son manchas negras irregulares, en los frutos, las manchas son pardas y superficies rugosas, se presentó ocasionalmente y en muy baja escala en el cultivo de pimentón y se controló con fungicidas como Mancozeb en dosis de 50 gr/bomba\*.

Minadores (*Agromiza* sp) se presentó en el cultivo de habichuela y arveja en estado de desarrollo y floración y fue más fuerte en época de sequía, se utiliza para su control curacron en dosis de 25 cc/bomba\*.

En el cultivo de cebolla se presentaron en baja escala trips (*Thrips tabaci*) que producen picaduras, decoloración y deformaciones en las hojas, ocasionando secamiento del cultivo, y resultando bulbos de tamaño pequeño. Se controló con Furadan en dosis de 40 cc/bomba. En el cultivo de la habichuela en muy baja escala y en algunas plantas de pimentón se presentaron manchas de la hoja (*Alternaria* sp) que se tornan como manchas irregulares o redondeadas con anillos concéntricos de color café, se controló con aplicaciones de Cobrethane y Derosal en dosis de 20 gr/bomba y 20 cc/bomba respectivamente\*.

En los cultivos pimentón de zapallo se presentó Golpe de sol en muy baja escala producidas por las altas radiaciones de sol, lo cual ocasiona stress en la planta, para su control se le da sombrío a los frutos con hojas de la misma planta.

## **2.7 MANEJO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO**

**2.7.1 Sistema de riego por exudación.** Para el establecimiento de las tres parcelas experimentales con disposición de riego por exudación, se instalaron los componentes esenciales para lograr un eficiente funcionamiento, entre los cuales está la utilización de un cabezal de riego, un par de tensiómetros, tuberías de abastecimiento, primaria y secundaria y cinta exudante.

El agua utilizada para regar los cultivos se obtuvo de un tanque de abastecimiento conectado al sistema de riego a través de una tubería primaria, después de abrir la llave de paso, el agua se suministró al cabezal de riego donde por medio de un medidor de volumen de agua y un manómetro se pudo controlar su caudal y la presión de salida para evitar rupturas en la tubería, el aire contenido en la tubería fue desalojada por medio de una válvula ventosa. Finalmente el agua procedente

del cabezal se distribuyo por la tubería secundaria a las cintas exudantes manteniendo humedad constante en la zona radicular de las plantas para cada cultivo.

**2.7.2 Fertirrigación.** Para complementar las necesidades nutricionales de las plantas se aplicó fertilizante en el agua de riego con el fin de facilitar la absorción de nutrientes por parte de las plantas y economizar mano de obra.

La aplicación de fertilizante en el agua de riego se hizo por medio de un inyector o venturi instalado en el cabezal, que consiste en un estrechamiento que produce una presión negativa causada por un vacío que genera un efecto de succión, tomándose así a través de una manguera la solución de fertilizante más agua para ser suministrada a las plantas por las cintas exudantes. Y se aplico una solución de 40 litros de agua en la cual se disolvió 2 kg de Hakaphos, que es un fertilizante a base de nitrógeno, mediante el mismo procedimiento se aplico Cosmo R, 1 Kg. en 20 litros de agua. Estos dos fertilizantes se seleccionaron por sus bajos contenidos de sodio, cloruros y sulfatos, para evitar que se presente salinización en el suelo.

**2.7.3 fertilización.** Para la aplicación de fertilización se tuvo en cuenta el análisis de suelos, realizado en el laboratorio de la Universidad de Nariño (Anexo A) En base a los resultados del análisis se realizo un abonamiento a los cultivos de acuerdo a sus exigentes en elementos nutricionales que fueron cebolla cabezona, arveja, habichuela y pimentón. La interpretación del análisis de suelos presentó un contenido de NPK en porcentajes altos por cuanto no requirió aplicar fertilizante químico y por lo tanto se realizó una fertilización con abono orgánico al momento de la siembra, cubriendo sus exigencias en cuanto a las necesidades del cultivo.

**2.8 Control de las aplicaciones de riego en los cultivos.** Lorente afirma que:

Para cubrir las necesidades de riego en los cultivos se utilizaron dos tensiómetros por cultivo, ubicados a 10 y a 20 centímetros de profundidad en el suelo junto a la zona radicular de las plantas. El momento de aplicación de riego fue determinado por las lecturas del tensiómetro, cuando el registro de las lecturas mostraba 20 centibares era el indicativo para empezar a regar, hasta cuando el suelo estuviera a capacidad de campo o el tensiómetro marcara lecturas menores a 10 centibares<sup>67</sup>.

---

<sup>67</sup> Lorente. Op.cit., p. 16.

## **2.9 APLICACIÓN DE RIEGO MEDIANTE EL SISTEMA DE ASPERSIÓN LIVIANO.**

Para suministrar agua mediante el sistema de riego por aspersión, se utilizó un aspersor portátil móvil, para poder cubrir toda el área de cada parcela. La aplicación del riego en los cultivos se realizó de acuerdo a la metodología tradicional del agricultor de la zona la cual se realiza en forma inapropiada, sin tener en cuenta las necesidades oportunas en los cultivos.

En el momento que se abre la llave, empieza a funcionar el sistema; el agua sale por los orificios del aspersor en forma de llovizna, de donde se pretende llevar al suelo a su capacidad de campo. En el eje del aspersor van montadas las aletas o impulsores que irradian el agua hacia fuera.

## **2.10 VARIABLES CLIMATICAS**

Para determinación de las variables climáticas, importantes para la aplicación de riego se dispuso de una estación meteorológica constituida por un tanque evaporímetro, un termómetro, un higrómetro y un pluviómetro. Con el fin de establecer un promedio mensual del estado del tiempo y determinar en forma más precisa el suministro de agua a las plantas.

**2.10.1 Temperatura.** Se tomaron tres lecturas diarias de temperaturas máximas y mínimas durante el día, a las 7:00 a.m., 12:00 p.m. y 5:00 p.m. para determinar un promedio diario mensual.

**2.10.2 Evaporación.** Se instaló un tanque evaporímetro galvanizado, con un diámetro de 1,20 m y una altura de 0,25 m. con fondo de color oscuro para simular el color del suelo. Para la medición de la evaporación se empleó un nonio calibrado en cm. y mm, el cual tiene en su extremo inferior un gancho que funciona como flotador o se nivela de acuerdo al volumen de agua evaporada. La lectura se realizó diariamente a las 7: 00 a.m.

**2.10.3 Precipitación.** Se tomó esta lectura con la ayuda de un pluviómetro, midiendo el nivel de agua de lluvia diaria, la lectura se realizó una vez por día a las 7:00 a.m.

**2.10.4 Humedad relativa.** Con ayuda de un higrómetro, se determino el porcentaje de humedad en el ambiente. Se tomaron lecturas tres veces al día, una a las 7:00 a.m., otra a las 12:00 p.m. y a las 5:00p.m.

**Figura 12. Estación climatologica del sitio de ensayo. Vereda Guayabal.**



1. Termómetro
2. Higrómetro
3. Pluviómetro
4. Tanque evaporímetro

## **2.11. VARIABLES EDAFICAS**

**2.11.1 Parámetros físicos.** “Se tomaron tres muestras representativas de suelo de la capa superficial (0 a 20 cm), ya que allí se desarrollan la mayor parte de las raíces y es en donde la planta encuentra los elementos necesarios para su desarrollo”<sup>68</sup>.

Las muestras se recolectaron en anillos metálicos para enviar al laboratorio de suelos, donde se procedió a determinar: La profundidad efectiva, textura, con el método de Bouyoucos; densidad real, utilizando el pignómetro; densidad aparente, con la diferencia de densidades entre peso húmedo y peso seco, porosidad, con la relación entre densidad aparente y densidad real y conductividad hidráulica según la metodología de Cavazos y Rodríguez.

---

<sup>68</sup> ERAZO, Op.cit., p.35.

**Profundidad radical efectiva.** En cada etapa de crecimiento se determinó la profundidad radicular de cada cultivo, observando la exploración radicular que alcanzaron los cultivos sin límite alguno en el suelo; lo cual se pudo dar por las condiciones favorables del suelo tal como se indica en el análisis físico.

La profundidad se determinó tomando dos muestras por surco en forma aleatoria, obteniendo una profundidad radical para la etapa inicial en maíz igual a 0.10 m para el cultivo de habichuela igual a 0.07 m y para pimentón igual a 0.08 m y para su etapa de cosecha para maíz fue de 0.60 m. para habichuela fue de 0.28 m y para pimentón de 0.30 m.

En el cultivo de arveja, se determinó una profundidad radical para la etapa inicial de 0.10 m para el cultivo de cebolla igual a 0.07 m y para zapallo igual a 0.08 m y para su etapa de cosecha para arveja fue de 0.60 m. para cebolla fue de 0.28 m y para zapallo de 0.30 m<sup>69</sup>.

**Curvas de retención de humedad.** Para calcular la retención de humedad en el área experimental se sometió el suelo a diferentes presiones ( 0, 10, 15, 20, 30, 40, 50 centibares) según Legarda y Mosquera<sup>70</sup>, registradas en cada tensiómetro. De acuerdo a los resultados de la diferencia entre el peso húmedo y peso seco, se establecieron los resultados del comportamiento de la curva de retención de humedad.

La determinación de la curva se logró tomando una muestra de suelo del área experimental aproximadamente 6 Kg. La cual se colocó en 2 maceteras de volumen igual a tres kilogramos y en cada una se instaló un tensiómetro a 10 y a 20 cm. de profundidad respectivamente.

**Infiltración.** Mediante la utilización de anillos infiltrometros enterrados a 5 cm. de profundidad en el suelo se calculó el descenso del agua por unidad de tiempo determinado<sup>71</sup>.

Para el cálculo de la infiltración se utilizó la siguiente fórmula. Forsythe.

$$I = a * t^b$$

---

<sup>69</sup> LEGARDA, L. Las propiedades físicas y la productividad del suelo. Op.cit., p. 81, 82.

<sup>70</sup> LEGARDA, Lucio y MOSQUERA, Jairo. Parámetros de riego, In curso avanzado de riego. Distritos pequeña escala. Chachagüí, Nariño : Instituto Nacional de Adecuación de tierra (INAT), 1996. 31p.

<sup>71</sup> Ibid., p. 22.

Donde:

**I** = Velocidad de infiltración, cm/hora

**T** = Tiempo de infiltración del agua en el suelo, (min.).

**a y b** = Coeficientes de velocidad de infiltración

**Conductividad hidráulica.** “Con la aplicación del método del permeámetro de cabeza contante, se determinó la capacidad del suelo saturado para permitir la filtración de agua en un tiempo determinado”<sup>72</sup>.

La formula aplicada para el cálculo de la conductividad hidráulica es la siguiente:

$$K = \frac{V . L}{\Delta H . t . A}$$

Donde:

**V** = Incremento del volumen

**L** = Incremento de tiempo

**$\Delta H$**  = Longitud del espesor de suelo

**t** = Tiempo.

**A** = Área del permeámetro

**2.11.2 Propiedades químicas.** Para determinar los componentes químicos del suelo, se tomaron muestras al inicio del ensayo, a 20 cm de profundidad que posteriormente se llevaron al laboratorio de suelos para identificar los factores elementales del área experimental. (Anexo A).

## 2.12 VARIABLES DEL CULTIVO

**2.12.1 Fases de crecimiento.** Para los seis cultivos establecidos se programó dos ciclos de siembra con el fin de obtener replicas representativas, la duración en días de las fases de crecimiento se tomaron en cuenta de acuerdo a la determinación de Doorembos y Kassam, en las cuales describen una fase inicial comprendida entre la germinación hasta el crecimiento inicial, una fase de desarrollo que va desde el crecimiento inicial hasta que el cultivo forma una cubierta sombreada; la fase siguiente parte del desarrollo foliar total hasta la etapa de maduración y por ultimo, a partir de la fase anterior hasta la recolección comprende la formación de cosecha.

---

<sup>72</sup> CAVAZOS, T y RODRIGUEZ, O. Manual de practicas de física de suelos. México, Trillas, 1998. 342p.

La duración de cada fase de crecimiento en los cultivos se determinó de acuerdo a la duración de cada fase de los cultivos en relación a la fase de emergencia, desarrollo, maduración comprendida también por la floración y por último la recolección.

### **2.12.2 Componentes del rendimiento**

**Frutos por planta.** Para determinar la cantidad de frutos por planta se tomó como muestra de los cultivos dos plantas por surco en forma diagonal en cada parcela con el fin de determinar la diferencia de las producciones entre los dos tratamientos. Para maíz se contabilizó el número de mazorcas, para habichuela y arveja el número de vainas, para pimentón y zapallo el número de frutos y para cebolla el número de bulbos.

**Peso en kilogramos de fruto para cada cultivo.** Para medir el peso de los frutos de pimentón y zapallo se utilizó una balanza de 10 Kg.

Para la toma de datos de frutos por planta y peso en kilogramos, se tomaron los tres surcos centrales del área correspondiente a la parcela útil realizando así por cada parcela más de 20 observaciones.

**Figura 13. Recolección y manejo postcosecha de los cultivos de habichuela y pimentón.**



**2.12.3 Producción por hectárea.** “Al final de cada cosecha se obtuvo la producción total, con el pasaje del producto (fruto) de cada cultivo en kilogramos en un área de 600 m<sup>2</sup>, que posteriormente se llevaron a kg/ha”<sup>73</sup>.

### **2.13. ANÁLISIS FOLIAR**

Para determinar los beneficios de la aplicación de riego por exudación en los contenidos nutricionales e hídricos de los cultivos se tomaron muestras de 300 gr. teniendo en cuenta las fases de cada cultivo y su estado de madures fisiológica.

Para el cultivo de maíz, se tomaron las hojas del tercio central, para el cultivo de habichuela las hojas superiores al inicio de la floración, sin incluir los pecíolos y para pimentón se tomaron los folíolos centrales de la tercera y cuarta hoja de arriba hacia abajo, al inicio de la floración<sup>74</sup>.

---

<sup>73</sup> GUERRERO Wilton y USAMA Fernando. Lámina de agua aprovechable en los cultivos de tomate (*Lycopersicum esculentum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y melón (*Cucumis melo*), bajo el sistema de riego por exudación en el corregimiento del Remolino, Nariño. Pasto, Colombia, 2000. 118 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo), Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas.

<sup>74</sup> MONTOYA, L y ARAUJO, M. Fundamentos para la interpretación de suelos, plantas y aguas para riego . En: metodología para el análisis de plantas. México, 1990. p 289.



## 2.14 POBLACIONES CLASE Y DISTRIBUCIÓN DE MALEZAS

Treinta días después de la siembra se determinó la población de malezas mediante un censo de reconocimiento de malezas, lanzando en los surcos de las parcelas establecidas un marco de madera de 0.50 x 0.50 m. Contando el número de malezas arraigadas en el suelo que quedaron dentro del área del marco y se comparó la densidad de acuerdo a los tratamientos de riego establecidos tal como lo explica en su metodología Vergara<sup>75</sup>.

Por lo tanto Dominancia =  $\frac{\text{N}^\circ \text{ de plantas de una especie (D)}}{\text{N}^\circ \text{ de plantas encontradas (F)}} \times 100$

Donde (D) = La densidad corresponde al número de individuos por unidad de área y (F) frecuencia : oportunidad de encontrar una especie en un área determinada

## 2.15 METODOLOGIA PARA EL CALCULO DEL BALANCE HÍDRICO

Para determinar el balance hídrico, se utilizarán datos climáticos semanales y de diez años, suministrados por el IDEAM; datos de evapotranspiración y probabilidades de lluvia.

**2.15.1 Precipitación.** Para determinar la precipitación, se utilizó el análisis probabilístico planteado por Amezquita<sup>76</sup>, Indicando la probabilidad de caída de lluvia determinada a partir de registros consecutivos de precipitación. Para indicar los requerimientos máximos de agua de riego, se utilizó una probabilidad del 80% que indica año seco. En la medida que disminuya el porcentaje, los requerimientos de agua de los cultivos también disminuirán.

Se utilizó la siguiente fórmula de Kimbal.

$$\% P = \frac{m}{N + 1} * 100$$

Donde:

P = Porcentaje de probabilidad de lluvia

M = Número de orden de los datos

N = Número total de datos

---

<sup>75</sup> VERGARA, J. Manejo integral de cultivos en suelos bajo riego. Fusagasuga : CECIL, 1996. 153 p.

<sup>76</sup> AMEZQUITA, Edgar. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de agua y suelos en Turrialba. Costa Rica, 1992, 221 p. Tesis de grado (Magister). IICA-CATIE. p. 23.

**2.15.2 Evapotranspiración.** Se utilizo el método del tanque “A” de evaporación, donde se integran factores climáticos como temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento<sup>77</sup>.

$$ETP = E. Kt. Kc$$

Donde:

E = evaporación del tanque

Kt = coeficiente del tanque

Kc = coeficiente del cultivo

Para el cálculo del coeficiente del cultivo (Kc), se utilizo la fórmula anotada por Rosero, (1996).

$$Kc = ET/ETP$$

Kc = coeficiente del cultivo

ET = evapotranspiración real del cultivo

ETP = evapotranspiración potencial

## **2.16 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN EN LOS CULTIVOS**

Se determinó mediante la relación entre la cantidad de tuberías exudantes por cultivo y la cantidad de riego aplicada por metro lineal en el área de acuerdo al volumen registrado de aplicación por tiempo de riego, es decir que la cantidad de riego aplicado se obtiene relacionando el volumen de agua con el número de cintas en cada cultivo y el número de metros disponibles en cada cinta.

## **2.17 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico se utilizo una prueba de  $t$ , puesto que se van a comparar dos técnicas: Tecnología local de producción contra oferta tecnológica (riego por exudación), y así confirmar la eficiencia de acuerdo a los índices producidos.

La tecnología local de producción es el sistema tradicional o por aspersión liviana, utilizado por los agricultores de la zona, donde se incurre en pérdidas innecesarias de agua.

---

<sup>77</sup> LEGARDA, Talleres de agroclimatología. Op.cit., p. 80

La oferta tecnológica, es una nueva técnica de riego localizado, por exudación, el cual es desconocida por los agricultores de la región, donde se trata de demostrar la reducción significativa en los gastos de agua, además que incrementa las producciones.

Con la prueba de  $t$ , se determino si hay o no diferencias significativas, entre los dos métodos o sistemas.

Para determinar la hipótesis nula se utilizo la siguiente formula:

$$t = \frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{\sqrt{\frac{S^2(n_A + n_B)}{(n_A)(n_B)}}$$

Dentro de las parcelas se ubicaron los surcos o doble surcos (para las parcelas de maíz habichuela, pimentón, arveja, cebolla y zapallo), cada surco fue una unidad experimental, en donde se tomaron los surcos centrales para determinar la producción.

## 2.18 ANÁLISIS ECONOMICO

Se hizo un análisis económico de presupuesto parcial de costo, donde se analizo la inversión del sistema de riego, instalación, mantenimiento y mercadeo de la producción.

Además se tuvo en cuenta los costos directos entre los cuales están la semilla, fertilizantes, plaguicidas entre otros insumos. Y dentro de los costos indirectos el interés del capital invertido. Se evaluó la variable riego, la que determina producción y consumo de agua.

Se determino también el ingreso neto relacionando los ingresos totales con los costos totales para determinar la rentabilidad de acuerdo al análisis de Luna.

Para lo anterior se aplico las siguientes fórmulas:

B/C = relación costo – beneficio

IN = ingresos totales – costos totales

IN = ingreso neto

% de rentabilidad = ingreso neto /costos totales x 100

Donde:

IN = Ingreso neto

B = ingresos totales

C = costos totales

## **2.19 SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO**

Este trabajo de tesis fue realizado gracias al programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PRONATTA). Donde uno de los objetivos era el servicio de extensión rural; El servicio de extensión consistió en días de campo iniciados con charlas referentes al sistema de riego empleado y sus ventajas frente a otros sistemas. Luego se procedió a realizar una visita al sitio del ensayo donde se explicó cada componente del sistema. Además, de los otros instrumentos utilizados en el proyecto.

Se contó con la participación de estudiantes de la Universidad de Nariño (V semestre de agronomía y electiva de riegos, Agricultores – estudiantes de la vereda el Carrizal –Los andes Sotomayor y estudiantes de los colegios el Peñol – San Francisco y agricultores de la toma las Cochas.

Los visitantes participaron de la toma de lecturas de algunos instrumentos, como también de las recomendaciones para el manejo del sistema como de los cultivos; sensibilizándolos respecto a la aplicación de agua al cultivo, de una forma mas eficiente, sólo cuando la planta realmente lo requiera, evitando desperdicios y encharcamientos.

El principal objetivo de los días de campo fue demostrarle al agricultor los beneficios de esta tecnología, que consistieron en: La reducción de herbicidas por la baja presencia de malezas y baja aplicación de fungicidas; ya que el agua no tiene contacto con la parte aérea de la planta, además de la disminución en la aplicación de insecticidas, disminuyéndose así las incidencias de plagas y enfermedades, procesos erosivos, y cambios en las propiedades físicas del suelo (Anexo O).

**Figura 14. Equipo de trabajo del ensayo de riego por exudación. Vereda Guayabal, municipio del Peñol, Nariño (2002-2003).**



**Figura 15. Día de campo con los agricultores de la vereda Peñol Alto**



### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL SUELO DEL SITIO DE ENSAYO DE RIEGO

De acuerdo con el análisis físico químico del suelo del sitio de ensayo, El Ph se encuentra en un nivel favorable para la movilidad de la mayoría de los elementos químicos con un promedio de 6.6 en las dos muestras analizadas, el porcentaje de materia orgánica es bajo debido a las condiciones climáticas, el fósforo presenta un alto nivel con 150 ppm; sin embargo no se puede concluir que este totalmente disponible para los cultivos, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) esta equilibrada. La relación Calcio magnesio se establece en 2:1, en cuanto a los oligo-elementos se presenta un balance entre los elementos hierro que esta alto con 40 ppm frente al boro con 0.29 ppm, la densidad aparente y real obedece a un grado textural franco arcilloso y el porcentaje de porosidad se establece en 53.74%. (Anexo A)

#### 3.2 VARIABLES CLIMATICAS

Desde el inicio de la investigación se adecuó la estación climatológica para determinar así diariamente el estado ambiental en la región, con lo cual se pudo establecer parámetros de aplicación de riego de acuerdo a los resultados de las lecturas de cada una las variables como son temperatura, evaporación, precipitación y humedad relativa.

Estos parámetros climáticos ayudan además a determinar un pronóstico de lluvias y estados de sequía más incidentes para así planificar siembras en adecuadas épocas del año y también programar aplicaciones de riego específicas.

**3.2.1 Temperatura mensual.** Las lecturas tomadas durante el período de la investigación corresponde a los meses julio de 2002 a junio de 2003, se consignan en el (Anexo D). En este periodo se tuvo una temperatura máxima de 26.3 °C en el mes de agosto y una mínima de 14.7 °C en el mes de septiembre de 2002 con un promedio mensual de 19.7°C.

Reyes citado por Cadena y Muñoz sostiene que “para obtener buenas producciones de maíz la temperatura debe oscilar entre 20 y 30°C”<sup>78</sup>, y Lorente citado por los mismos autores manifiesta que “el pimentón se desarrolla favorablemente entre los 16 y 25°C. Estos resultados permiten afirmar que estos cultivos se adaptan bien a las condiciones de temperatura de la región”<sup>79</sup>.

---

<sup>78</sup> CADENA, Op.cit., p. 55.

<sup>79</sup> Ibid., p. 55.

Para el periodo comprendido entre julio y noviembre de 2003 se presento una temperatura máxima de 26.2 en el mes de agosto y una minima de 14.0 en el mes de octubre promedio de 21.6°C. Lo cual indica que para el último ciclo de los cultivos establecidos (arveja, cebolla y zapallo) las condiciones climáticas fueron favorables para el normal desarrollo de estos.

**3.2.2 Evaporación mensual.** Las lecturas de evaporación tomadas mensualmente presentan un promedio mensual de 137.32 mm, con una máxima de 188.2 mm para el mes de agosto de 2002, y una mínima de 105.8 mm para el mes de febrero de 2003, un valor acumulado de 1785.2 y un promedio diario de 4.4 mm. Resultados similares a los reportados por Erazo y Valencia<sup>80</sup>, para la zona, quienes reportaron un promedio mensual de 124.4 mm, con una máxima de 154.8 mm para el mes de octubre y una mínima de 101 mm para el mes de Diciembre, presentándose un valor acumulado de 1618 mm y un valor promedio diario de evaporación de 4.4 mm. (Anexo E).

Para el ultimo ciclo de cultivo se registraron valores promedios de evaporación mensual de 137.32 mm, un valor acumulado de 686.8 mm y un promedio diario de 4.58 mm.

**3.2.3 Precipitación.** El Anexo F muestra los datos registrados diariamente de lluvia, con un promedio mensual de 85.89 mm . Las máximas precipitaciones se registraron en los meses de octubre y marzo con 177.4 y 175.3 mm respectivamente y la mínima se presento en el mes de agosto con 17.7 mm. En época de lluvia el sistema de riego tuvo poco uso, a diferencia de las épocas de verano donde el sistema de riego se uso con mayor frecuencia. Estos resultados contrastan con los reportados por Erazo y Valencia<sup>81</sup>, los cuales encontraron una precipitación promedio de 37,3 mm y una precipitación total de 483,9 mm, lo cual se considera muy deficiente para suplir las necesidades hídricas de los cultivos. Siendo los datos mas confiables los obtenidos de la estación del Peñol por ser datos de registros de 13 años consecutivos, mientras que los datos obtenidos de la estación meteorológica del ensayo fueron para un año.

**3.2.4 Humedad relativa.** La humedad relativa promedio desde (junio de 2002 – junio de 2003) fue de 76.92% con una máxima de 83.% para el mes de diciembre y una mínima de 64.1% para el mes de Agosto. (Anexo G).

Para el periodo comprendido entre julio – noviembre de 2003 se observo un valor máximo de humedad relativa de 68% en el mes de agosto y un mínimo de 59% en el mes de julio. El valor promedio de humedad relativa para los cinco meses evaluados fue de 62.8%.

---

<sup>80</sup> ERAXO, Op.cit., p. 76.

<sup>81</sup> Ibid., p. 76.

### 3.3 DURACION DEL CICLO VEGETATIVO

“Un ciclo agrícola comprende desde la siembra hasta la cosecha. Este ciclo termina cuando se obtiene la madurez comercial de la planta: producto u órgano comercial”<sup>82</sup>.

En los cuadros 4 y 5, se presenta la duración de los ciclos vegetativos y la profundidad radicular para los diferentes cultivos tratados con riego por aspersión y riego por exudación.

El ciclo vegetativo del cultivo de maíz en la parcela regada con cinta exudante, presentó una duración de 130 días, en cambio la regada con aspersor, presentó una duración de 142 días; para el cultivo de habichuela se presentó una duración de 97 días y 106 días respectivamente para los sistemas de exudación y aspersión, para el cultivo de pimentón la duración en la parcela regada por exudación fue de 135 días y de 143 días para la regada mediante riego por aspersión.

Lo anterior indica que la aplicación de riego localizado de alta frecuencia como lo es el sistema de riego por exudación evitó causar en los cultivos un estrés hídrico y un atraso en la etapa de crecimiento favoreciendo además la producción y la calidad de los productos.

Para los cultivos en los cuales se aplicó riego por aspersión se pudo observar que el periodo vegetativo fue más extenso que en los cultivos de las parcelas regadas con cinta exudante, y se muestra un resultado diferente entre los días de duración de cada ciclo respectivamente.

---

<sup>82</sup> GUERRERO, Op.cit., p.52.



**Cuadro 4. Descripción fenológica y profundidad radical efectiva de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón.**

ETAPAS DE CRECIMIENTO  FASES DEL CULTIVO	Duración fase (días)						Profundidad radical por fase (m)		
	Maíz		Habichuela		Pimentón		Maíz	Habichuela	Pimentón
	Exu	Asp	Exu	Asp	Exu	Asp			
Inicial	9	10	8	10	15	16	0.10	0.07	0.08
Desarrollo	20	22	17	19	24	27	0.24	0.12	0.16
Floración	30	33	22	22	31	33	0.35	0.18	0.18
Madurez de cosecha	40	42	15	17	25	25	0.55	0.25	0.25
Cosecha	31	35	35	38	40	42	0.60	0.28	0.30
<b>TOTAL</b>	<b>130</b>	<b>142</b>	<b>97</b>	<b>106</b>	<b>135</b>	<b>143</b>			

**Cuadro 5. Descripción fenológica y profundidad radical efectiva de los cultivos de arveja, cebolla y zapallo.**

ETAPAS DE CRECIMIENTO  FASES DEL CULTIVO	Duración fase (días)						Profundidad radical por fase (m)		
	Arveja		Cebolla		Zapallo		Arveja	Cebolla	Zapallo
	Exu	Asp	Exu	Asp	Exu	Asp			
Inicial	9	11	16	18	9	11	0.09	0.05	0.08
Desarrollo	16	18	30	33	24	26	0.14	0.13	0.15
Floración	24	24	13	14	23	25	0.17	0.16	0.18
Madurez de cosecha	14	16	15	16	25	24	0.24	0.18	0.26
Cosecha	33	32	18	18	30	29	0.26	0.25	0.32
<b>TOTAL</b>	<b>96</b>	<b>101</b>	<b>92</b>	<b>99</b>	<b>111</b>	<b>115</b>			

En el Cuadro 6, se presenta la duración de los ciclos vegetativos para los diferentes cultivos.

**Cuadro 6. Duración por fases del ciclo vegetativo de los cultivos y profundidad radicular.**

Variable	Duración por fases (días)			Profundidad radicular (m)		
	Maíz	Habichuela	Pimentón	Maíz	Habichuela	Pimentón
Inicial	9	8	15	0.10	0,07	0,08
Desarrollo	20	17	24	0.24	0,12	0,16
Floración	30	22	31	0.18	0,18	0,18
Madurez de Cosecha	40	15	25	0.25	0,25	0,25
Maduración	31	35	40	0.60	0.28	0.30
<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>97</b>	<b>135</b>			

En la fase desde la siembra hasta la emergencia (periodo de establecimiento) se dieron duraciones de la siguiente manera: 9-10 días para maíz, 8-10 días para habichuela y 15-16 días para pimentón.

En la fase de desarrollo o vegetativa se presentaron duraciones de: 20-22 días para maíz, 17-19 días para habichuela y 24-27 días para pimentón. Las duraciones de floración fueron: 30-33 días para maíz, 22 días para habichuela y 31-33 días para pimentón.

Los ciclos vegetativos totales para cada uno de los cultivos se dieron así: 130-142 días en maíz, 97-106 días en habichuela y 135-143 días en pimentón.

Estos datos concuerdan con lo afirmado por Cadena y Muñoz<sup>83</sup>, donde el ciclo en pimentón es de 130 días, Así mismo los mismos autores citan a Lorente el cual manifiesta que el periodo vegetativo del pimentón dura entre 80 y 140 días incluido el tiempo de germinación en semillero.

En el cultivo de maíz la profundidad radicular para el periodo inicial fue de 0,1 m, para el cultivo de habichuela, de 0,07 m y para el pimentón 0,08 m y la profundidad radicular en la cosecha fue de 0,60 m, 0,28 m y 0,30 m para los cultivos de maíz, habichuela y pimentón respectivamente. Estos valores de profundidad radicular coinciden con los expuestos por Cadena y Muñoz<sup>84</sup>, quienes obtuvieron una profundidad radicular a la cosecha de 0.60 y 0.30 m para maíz y pimentón respectivamente; en el municipio de remolino bajo un sistema de riego por exudación.

Según el desarrollo fonológico se puede concluir que se presenta mayor duración por fase en floración y madurez de cosecha; para el caso de maíz. En cambio

<sup>83</sup> CADENA, Op.cit., p. 61.

<sup>84</sup> Ibid., p. 61.

para los cultivos de pimentón y habichuela las fases de floración y cosecha son más largas debido a su fisiología, pues de trata de cultivos que presentan más de una cosecha (recolectados varias veces).

En cuanto a la profundidad radicular se puede establecer que a medida que la planta cambia de estado vegetativo aumenta su profundidad radicular, alcanzando un máximo desarrollo el cultivo de maíz, debido a que su altura debe ser compensada con un buen soporte radicular.

La duración del ciclo vegetativo de los cultivos de arveja, cebolla y zapallo fueron de 111, 92 y 99 días valores que corresponden a lo expuesto por Lorente, que sostiene “que el ciclo vegetativo de estos cultivos varia entre 90 y 120 días comprobándose que en la región del Peñol estos cultivos presentan un ciclo vegetativo precoz”<sup>85</sup>.

**Cuadro 7. Duración por fases del ciclo vegetativo de los cultivos y profundidad radicular.**

Variable	Duración por fases (días)			Profundidad radicular (m)		
	Arveja	Cebolla	Zapallo	Arveja	Cebolla	Zapallo
▪ Inicial	9	16	9	0.09	0.05	0.08
▪ Desarrollo	16	30	24	0.14	0.13	0.15
▪ Floración	24	13	23	0.17	0.16	0.18
▪ Madurez de cosecha	14	15	25	0.24	0.18	0.26
▪ Maduración	33	18	30	0.26	0.25	0.32
<b>Total</b>	<b>96</b>	<b>92</b>	<b>111</b>			

En el cuadro 7, en el cultivo de arveja la profundidad inicial de las raíces fue de 0.09 m, para cebolla 0.05m y para zapallo 0.08 m y la profundidad del sistema radicular efectivo fue de 0.26 m en arveja, 0.25 m en cebolla y 0.32 m en zapallo.

Se observo, además que la mayor actividad radicular en estos cultivos se encontró en un rango de 0.10 - 0.20 m, donde se produce la máxima absorción de agua, bajo riego las raíces se concentran principalmente en la capa superior del suelo<sup>86</sup>.

### 3.4 COEFICIENTES DE LOS CULTIVOS (Kc)

Los coeficientes de los cultivos según Doorembos y Kassam son para maíz, para la fase inicial 0.3-0.5 (15 a 30 días), en la etapa de desarrollo 0.7-0.85 (30-45

<sup>85</sup> LORENTE, Op.cit., p. 730.

<sup>86</sup> DOOREMBOS, Op.cit., p. 200.

días), para fase de finales 0.8-0.9 y en la recolección de 0.55-0.6.

Los coeficientes de los cultivos para pimentón son: para la fase inicial 0.40, en la maduración de 0.95 -1.1 y en la cosecha 0.8 – 0.9

para Cebolla los Kc (Coeficientes de los cultivos) son: para la fase inicial 0.40 – 0.60, en la maduración de 0.95 -1.1 y en la cosecha 0.75 – 0.85

Para arveja los Kc son: para la fase inicial 0.40-0.50, en la maduración 1.0– 1.15 y en la recolección 0.95 – 1.1

Y para zapallo los Kc son: para la fase inicial 0.40 – 0.50, en la maduración de 0.95 -1.05 y en la cosecha 0.65 – 0.87

Estos valores muestran la necesidad de agua de los cultivos de maíz, pimentón, habichuela, arveja, cebolla y zapallo explicando que los valores bajos se presentan en la germinación y la cosecha cuando la planta requiere bajos volúmenes de agua, en la floración, fructificación y maduración es cuando más agua requieren los cultivos de ahí que es en esta fase donde los valores de los coeficientes son altos.

Estos resultados indican un sistema radicular profundo, muy abundante y por lo tanto se manifiesta un rápido desarrollo de las plantas.

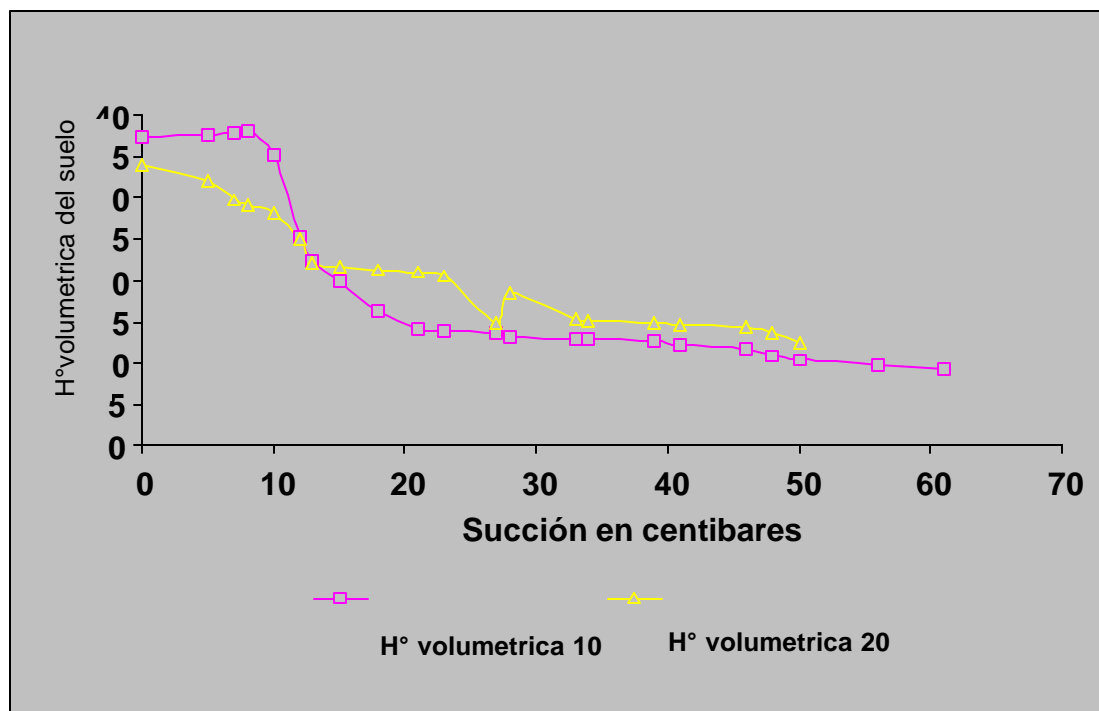
### **3.5 CURVA DE RETENCION DE HUMEDAD**

En la figura 16, se observa la curva de retención de humedad a 10 y 20 cm de profundidad, donde la succión aumento a medida que el suelo perdió humedad. Se puede afirmar que las tensiones mas altas están directamente relacionadas con la temperatura y la evaporación del suelo, ya que cuando éstas aumentan la humedad desciende<sup>87</sup>. (Anexo B).

---

<sup>87</sup> ERAZO, Op.cit., p. 124.

**Figura 16. Curva de retención de humedad del suelo en profundidad de 0 a 10 y de 10 a 20 cm.**



### 3.6 REQUERIMIENTO DE AGUA

En el Cuadro 8, se presentan los requerimientos hídricos en las diferentes fases del cultivo de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón.

**Cuadro 8. Requerimiento hídrico en las diferentes fases del cultivo de maíz, habichuela y pimentón.**

Fases	Días	Maíz	Días	Habichuela	Días	Pimentón
EMERGENCIA	9	30 mm	15	9.8 mm	8	45.1mm
DESARROLLLO	20	71.2 mm	24	99.2 mm	17	84.3 mm
FLORACION	30	96.9 mm	31	93.5 mm	22	87.0 mm
MADUREZ	40	70.6 mm	25	45.7 mm	15	3.5 mm
COSECHA	51	3.5 mm	40	40 mm	35	6.3 mm
<b>TOTAL</b>		<b>272.2 mm</b>		<b>288.2 mm</b>		<b>258.5 mm</b>

En los tres cultivos se observó una marcada diferencia en el requerimiento de agua en la etapa de floración y llenado de fruto que fue la etapa más crítica puesto que es la más exigente.

En el cuadro 8, se observa que el cultivo de maíz en la emergencia necesitó una lámina de agua de 30 mm, para el pimentón se necesitó 9.8 mm y para la habichuela 45.1 mm. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Parsons y Berlijin citados por Cadena y Muñoz<sup>88</sup>, quienes enuncian que entre 15 y 30 mm son adecuados para la emergencia de estos cultivos.

En la floración la lámina de agua requerida fue de 96.9 mm cantidad adecuada para favorecer una buena producción de maíz; para el pimentón se requirió de una lámina de 93.5 mm y para la habichuela 87 mm.

De acuerdo con Alcazares citado por Cadena y Muñoz, “para obtener altos rendimientos, se necesita un suministro adecuado de agua y suelos relativamente húmedos durante todo el periodo vegetativo del cultivo, por lo tanto se requiere láminas de agua elevadas, destacándose la floración, llenado de frutos y las cosechas”<sup>89</sup>.

Cadena y Muñoz, en su trabajo de grado, para determinar la cantidad óptima de agua aprovechable en los cultivos de sandía, maíz, pimentón, zapallo y cebolla cabezona bajo un sistema de riego por exudación con tres replicas en el municipio del Remolino encontraron que el pimentón durante la emergencia utilizó 29.9, 68.1 y 59.9 mm, láminas de agua, adecuadas para favorecer el prendimiento de plántulas. En la floración (10 semanas) se necesitaron 147.9, 136.2 y 176.1 mm y en el llenado de frutos (11 a 14 semanas) se obtuvo láminas de 111, 34.9 y 59.7 mm; agua suficiente para obtener buenos frutos<sup>90</sup>.

En general, los periodos críticos para los cultivos de maíz, habichuela y pimentón son las épocas de floración y llenado de frutos cuando los cultivos necesitan de agua suficiente en estas fases. A los cultivos de maíz, habichuela y pimentón se les suministró una lámina de agua de 272.2, 288.1 y 258.5 mm respectivamente (Cuadro 8).

En el cuadro 9, se observa que los cultivos de arveja, cebolla y zapallo tomaron más agua del suelo a medida que aumentaron su crecimiento y por consiguiente su edad. Así en la primera fase del crecimiento la demanda de agua es poca, aumentando a media que avanzó el desarrollo radical y la parte aérea de la planta.

---

<sup>88</sup> CADENA, Op.cit., p. 62.

<sup>89</sup> Ibid., p. 91.

<sup>90</sup> Ibid., p. 90.

**Cuadro 9. Requerimiento hídrico en las diferentes fases del cultivo de arveja, cebolla y zapallo.**

Fases	Días	Arveja	Días	Cebolla	Días	Zapallo
EMERGENCIA	9	35.4 mm	16	63.61mm	9	42.3 mm
DESARROLLLO	16	79.1 mm	30	59.2mm	24	85.4 mm
FLORACION	24	53.8 mm	13	82.2 mm	23	31.3 mm
COSECHA	47	38.7 mm	31	58.7 mm	55	47.5 mm
<b>TOTAL</b>		<b>227 mm</b>		<b>243.7 mm</b>		<b>206.5 mm</b>

Las cantidades de agua necesaria en los tres cultivos para la emergencia de los cultivos de arveja, cebolla y zapallo fueron de 35.4 mm, 63.61 mm y 42.3 mm respectivamente. Dichas láminas suministraron humedad a toda la profundidad del sistema radicular logrando incrementar el desarrollo y produciendo plantas más vigorosas.

En la floración que es una de las fases más críticas del cultivo, la necesidades hídricas de los cultivos de arveja, cebolla y zapallo fueron de 53.8, 82.2 y 31.3 mm. Finalmente se observa que para satisfacer adecuadamente sus necesidades hídricas el cultivo toma el agua en forma fraccionada a lo largo de su crecimiento.

Luego de la siembra de los cultivos se aplico un riego abundante y a partir de este momento se aplico un riego abundante y a partir de este momento los siguientes riegos (tanto en volumen como en frecuencia) variaron debido a las lecturas de los tensiómetros instalados en cada parcela manteniendo dichas lecturas a un intervalo constante. (Anexo N).

En el cuadro 10 se observa que los cultivos de pimentón y habichuela son los más exigentes al agua, y los menos exigentes cebolla y zapallo

**Cuadro 10. Lámina y volumen de riego, aplicado a los cultivos estudiados en función de la precipitación y la evaporación en las parcelas de 600 m<sup>2</sup>.**

Cultivo	VARIABLES						Referencias a nivel nacional. Necesidades de agua
	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Lamina de Riego (mm)	Lamina Total (Pp+riego) Mm	Caudal total (m3)	Caudal de riego (l/m/h)	
Maíz	212.23	515.0	272.2	484.4	290.6	0.55	300-400 Reyes (1990) 770-860 Icaraz (1982)
Pimentón	280.03	529.4	288.2	538.61	323.16	0.88	
Habichuela	112.2	384.2	258.58	401.0	240.6	0.48	350-500 Doorembos y Kasam (1990)
Arveja	149.1	341.7	227.0	376.1	225.6	0.43	350-500 Doorembos y Kasam (1990)
Cebolla	324.1	551.2	243.7	567.8	340.6	0.85	400-600 Doorembos y Kasam (1990)
Zapallo	159.2	613	206.5	365.7	219.4	0.60	650-700 Fedecafé (1992)

**3.6.1 Requerimientos de agua del cultivo de maíz.** De acuerdo al cuadro 11, en la fase del establecimiento en la primera década del periodo vegetativo, se hace necesaria la aplicación del riego, ya que el agua de precipitación no alcanza a satisfacer las necesidades del agua. Los momentos mas críticos son de la floración y la formación de la cosecha donde los requerimientos de agua aumentan tal como lo afirman Doorembos y Kassan<sup>91</sup>.

En la fase de floración que va de la tercera a la séptima década se debe emplear una lamina de 168.1 mm y para la madurez de la cosecha (décadas 11,12 y 13) los requerimientos de agua son de 15.8 mm.

El cultivo de maíz consumió en sus dos replicas, laminas de agua totales de 129.4 y 272.2 mm que expresados en m<sup>3</sup> fueron de 77.64 y 163.32 respectivamente, y son superiores a los 107.8 - 167.6 mm utilizados en

<sup>91</sup> DOOREMBOS, Op.cit., p. 108.



condiciones similares reportados por Cadena y Muñoz<sup>92</sup>, e inferiores a los 300-400 mm según Reyes.

**3.6.2 Requerimientos de agua del cultivo de pimentón.** En el cuadro 13, se registran las relaciones entre precipitación, evaporación y riego donde en la emergencia se utilizaron 25.4 y 66.7 mm láminas adecuadas para favorecer el prendimiento de plántulas. Cadena y Muñoz<sup>93</sup> manifiesta que en la floración se necesitaron 118.5 y 165.1 mm, laminas que permitieron obtener un buen número de frutos. Con referencia al llenado de frutos (semana 8 – 10) se obtuvo laminas de 52.6 y 9.8 mm.

**3.6.3 Requerimientos de agua del cultivo de habichuela.** El riego para el cultivo de habichuela se hizo acorde al comportamiento de precipitación y evaporación, siendo estas etapas críticas, donde la falta de agua puede ocasionar la caída de flores e impedir la polinización o reducir el peso de las vainas.

Según el análisis de la tabla 12, las dos siembras de este cultivo reportaron laminas de agua en la emergencia 82.2 mm y 99.0 mm respectivamente, riego adecuado para favorecer la germinación de la semilla

En la floración (3-6 semana) se utilizo 148.7 mm y 109.4 mm respectivamente, observándose que en la primera replica las cantidades de agua aplicada fueron mas elevadas que en al primera porque se presentaron altas evaporaciones.

En llenado de vainas (6-8 semana) se registro cantidades de 56 y 54.8 mm Siendo que las condiciones de precipitación fueron similares en las dos replicas, por lo tanto el riego fue igual.

En la Figuras 17 a 22 se observa que los valores de lámina de agua (mm) difirieron en los tres cultivos debido a las variaciones de precipitación, evaporación y requerimientos hídricos presentes en cada cultivo.

---

<sup>92</sup> CADENA, Op.cit., p. 42

<sup>93</sup> Ibid., p. 80.

**Cuadro 11. Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de maíz (*zea mays*)**

FASES DEL CULTIVO	DÉCADAS	VARIABLE	REPLICA 1 600 m <sup>2</sup>		REPLICA 2 600 m <sup>2</sup>	
			Lámina Mm	Vol. m <sup>3</sup>	Lámina Mm	Vol. M <sup>3</sup>
Emergencia	1	Precipitación	0.00		0.00	
		Evaporación	40.50		55.50	
		Riego	15.90	9.54	30.00	18.00
	2	Precipitación	0.00		3.70	
		Evaporación	46.80		40.80	
		Riego	17.60	10.56	37.80	22.68
Floración	3	Precipitación	18.40		10.00	
		Evaporación	38.70		35.40	
		Riego	14.00	8.40	33.40	20.00
	4	Precipitación	2.90		0.60	
		Evaporación	45.40		42.10	
		Riego	21.10	12.66	53.50	32.10
	5	Precipitación	4.50		19.50	
		Evaporación	42.70		38.20	
		Riego	24.10	14.46	31.30	18.80
	6	Precipitación	33.40		11.70	
		Evaporación	42.10		38.60	
		Riego	5.60	3.36	12.10	7.26
	7	Precipitación	0.00		1.40	
		Evaporación	48.10		45.00	
		Riego	12.40	7.44	38.60	23.20
Llenado de frutos	8	Precipitación	38.10		56.10	
		Evaporación	37.50		36.50	
		Riego	5.40	3.24	7.50	4.50
	9	Precipitación	131.40		13.53	
		Evaporación	26.10		35.60	
		Riego	2.50	1.50	12.90	7.74
	10	Precipitación	94.10		30.50	
		Evaporación	33.40		42.60	
		Riego	3.50	2.10	0.00	0.00

Madurez de cosecha	11	Precipitación	11.11		30.60	
		Evaporación	41.90		33.50	
		Riego	7.60	4.56	12.30	7.38
	12	Precipitación	1.60		5.40	
		Evaporación	45.70		42.60	
		Riego	0.00		3.50	2.10
	13	Precipitación	21.60		20.20	
		Evaporación	42.50		24.10	
		Riego	0.00		0.00	0.00
<b>TOTAL</b>		Precipitación	356.10		212.23	
		Evaporación	537.10		586.60	
		Riego	129.70	77.82	272.20	163.76

**Cuadro 12. Comportamiento de cadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L)**

FASES DEL CULTIVO	DÉCADAS	VARIABLE	REPLICA 1 600 m <sup>2</sup>		REPLICA 2 600 m <sup>2</sup>	
			Lámina mm	Vol. m <sup>3</sup>	Lámina mm	Vol. m <sup>3</sup>
Emergencia	1	Precipitación	1.30		0.0	
		Evaporación	38.40		54.7	
		Riego	16.10	9.6	28.2	16.9
	2	Precipitación	0.00		3.7	
		Evaporación	36.90		44.8	
		Riego	9.30	5.5	38.4	23.0
Floración	3	Precipitación	0.00		10.0	
		Evaporación	40.50		39.8	
		Riego	13.90	8.3	40.8	24.4
	4	Precipitación	18.40		0.6	
		Evaporación	46.80		43.9	
		Riego	22.00	13.2	26.9	16.1
	5	Precipitación	2.90		19.5	
		Evaporación	38.70		38.4	
		Riego	18.30	10.9	23.5	14.1
	6	Precipitación	4.50		11.7	
		Evaporación	45.40		38.8	
		Riego	32.80	19.6	23.5	14.1
	7	Precipitación	33.10		0.0	
		Evaporación	42.70		45.6	
	Floración		Riego	31.50	18.9	50.4
Llenado de frutos	8	Precipitación	0.00		47	
		Evaporación	42.10		37.7	
		Riego	21.90	11.34	3.5	
	9	Precipitación	36.10	21.66	21.80	13.0
		Evaporación	48.40		32.60	
		Riego	17.40	10.40	0.00	
	10	Precipitación	131.40		35.50	
		Evaporación	37.50		52.20	
		Riego	13.30	7.98	6.30	3.7

Madurez de cosecha	11	Precipitación	74.10		80.60	
		Evaporación	26.10		29.30	
		Riego	1.60	16.70	0.00	0.0
	12	Precipitación	11.11		19.60	
		Evaporación	32.40		40.30	
		Riego	0.00	0.00	0.00	0.0
	13	Precipitación	0.00		0.00	
		Evaporación	38.90		14.00	
		Riego	0.00	0.00	0.00	0.0
<b>TOTAL</b>		Precipitación	336.01		280.03	
		Evaporación	523.50		529.40	
		Riego	198.20	118.92	258.58	155.148

**Cuadro 13. Comportamiento de cadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo del pimentón (*Capsicum annuum*)**

FASES DEL CULTIVO	DÉCADAS	VARIABLE	REPLICA 1 600 m <sup>2</sup>		REPLICA 2 600 m <sup>2</sup>	
			Lámina Mm	Vol. m <sup>3</sup>	Lámina Mm	Vol. m <sup>3</sup>
Emergencia	1	Precipitación	0.8		0.0	
		Evaporación	38.4		43.5	
		Riego	47.1	28.3	18.1	10.86
	2	Precipitación	1.3		0.0	
		Evaporación	36.9		53.1	
		Riego	35.1	21.0	70.9	42.54
Floración	3	Precipitación	0.0		11.7	
		Evaporación	40.5		42.1	
		Riego	59.2	35.5	37.5	22.50
	4	Precipitación	0.0		2.0	
		Evaporación	46.8		35.2	
		Riego	43.7	26.2	38.1	22.86
Llenado de frutos	5	Precipitación	18.4		1.1	
		Evaporación	38.7		40.8	
		Riego	45.8	27.5	33.8	20.28
	6	Precipitación	2.9		19.0	
		Evaporación	45.4		41.7	
		Riego	37.7	22.6	43.7	26.22
	7	Precipitación	4.5		11.7	
		Evaporación	42.7		40.5	
		Riego	18.3	10.9	11.1	6.66
Madurez de cosecha	8	Precipitación	33.4		9.4	
		Evaporación	42.1		41.7	
		Riego	35.7	21.42	33.9	20.34
	9	Precipitación	0.0		57.33	
		Evaporación	48.4		45.0	
		Riego	13.3	7.98	0.0	
	10	Precipitación	5.5			
		Evaporación	36.1			
		Riego	0.0	0.0		
<b>TOTAL</b>		Precipitación	66.8		112.23	
		Evaporación	416.0		384.2	
		Riego	345.9	201.4	288.1	172.26

**3.6.4 Requerimientos de agua del cultivo de arveja.** Analizado el cuadro 14, este cultivo arrojó resultados de 32.0 y 3.4 mm; en la segunda semana se aplicó menos riego debido a la presencia de lluvias. Se observa también que las necesidades de agua van aumentando con la floración (8-5 semana) registrando valores de 12.1, 34.9 y 33.1 mm; lo cual concuerda con lo afirmado por Dorenbos y Kassan<sup>94</sup>, que en estas fases las plantas son muy sensibles al estrés de agua, lo cual conlleva a la caída de las plantas.

El riego en las fases anteriores se suministró de acuerdo al comportamiento de la precipitación y evaporación, siendo estas etapas críticas, donde la falta de agua puede ocasionar caída de flores, impedir la polinización o reducir el peso de las vainas.

Con la maduración del cultivo las necesidades de agua fueron bajando. La cantidad total de agua empleada en el periodo vegetativo de la arveja fue de 227 mm, con los cuales se obtuvo un buen desarrollo del cultivo.

**3.6.5 Requerimientos de agua del cultivo de cebolla cabezona.** De igual manera que el pimentón el cultivo de cebolla cabezona es exigente en agua obteniéndose un requerimiento de agua en la emergencia de 50.3 y 23.3 mm en la emergencia, riego adecuado para favorecer la germinación.

En la floración (3-7 semana) se utilizó 20.1, 39.1, 30.4 y 18.8 mm observándose en la cuarta y quinta semana que las cantidades de agua fueron más elevadas porque se presentaron altas evaporaciones. En la fase de bulbificación las necesidades de agua fueron similares (23.1 – 32.8 mm), luego estas necesidades fueron decreciendo con la madurez del cultivo requiriendo menores cantidades de agua por estar cerca de la cosecha (Cuadro 15).

La lámina total de agua fue de 243.7 mm o 146.22 m<sup>3</sup>. Son valores bajos a diferencia de los reportados por FEDECAFE (1998) citado por Cadena y Muños<sup>95</sup> (2002) que son del orden de 650 a 700 mm de agua por cosecha.

---

<sup>94</sup> DOOREMBOS, Op.cit.

<sup>95</sup> CADENA, Op.cit., p.43.

**3.6.6 Requerimientos de agua del cultivo de zapallo.** Según el cuadro 16, en este cultivo las necesidades de agua para la emergencia fueron de 30 mm en la primera semana y 12.13 mm en la segunda semana; durante la floración (3-7 semana) las necesidades de agua aumentaron en la séptima semana a 20.1 mm hasta el llenado de frutos donde las necesidades de agua fueron de 12.7, 12.3 y 6.3 mm. Con la maduración de frutos hacia la semana (14-15) no hay necesidad de riego ya que la precipitación suple adecuadamente las necesidades hídricas del cultivo.

La cantidad de agua total empleada en el periodo vegetativo del zapallo fue de 206.1 mm para un total de 124.1 m<sup>3</sup> con los cuales se obtuvo un buen desarrollo del cultivo. Valores inferiores debido al uso eficiente del riego por exudación, y a los reportados por Dorembos y Kassam<sup>96</sup> quienes manifiestan que el cultivo de zapallo utiliza de 400-600 mm en todo su ciclo.

En las figuras 17 y 18, se aprecia una baja utilización de riego especialmente al final del periodo vegetativo en los cultivos de maíz y pimentón ya que las lluvias suplieron las necesidades hídricas de estos cultivos además los cultivos se aproximaron a la madurez dejando que se sequen las partes superiores y evitando un segundo crecimiento de las raíces<sup>97</sup>.

En la figura 19, Las curvas de riego superan a las de precipitación y evaporación en las épocas críticas, con el fin de mantener la humedad constante ya que este cultivo es sensible al calor

En las figuras 20, 21 y 22 se registran las relaciones entre precipitación, evaporación y riego para los cultivos de arveja, cebolla y zapallo. Para los tres cultivos se presentaron altas o bajas láminas de riego en sus diferentes fases debido a las variaciones de precipitación y evaporación; se observa además una alta evaporación; lo cual pudo ocasionar un detrimento en los rendimientos de estos cultivos

---

<sup>96</sup> DOOREMBOS, Op.cit., p. 67.

<sup>97</sup> CADENA, Op.cit., p. 93.



**Cuadro 14. Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de arveja (*pisum sativum* )**

FASES DEL CULTIVO	DÉCADAS	VARIABLE	REPLICA 1 600 m <sup>2</sup>	
			Lamina Mm	Vol. M <sup>3</sup>
Emergencia	1	Precipitación	10.1	
		Evaporación	40.0	
		Riego	32.0	19.20
	2	Precipitación	40.3	
		Evaporación	30.1	
		Riego	3.4	2.04
Floración	3	Precipitación	43.4	
		Evaporación	20.6	
		Riego	12.1	7.26
	4	Precipitación	3.0	
		Evaporación	42.1	
		Riego	34.9	20.90
	5	Precipitación	10.0	
		Evaporación	30.3	
		Riego	33.1	19.26
Llenado de frutos	6	Precipitación	20.1	
		Evaporación	36.1	
		Riego	20.5	12.30
	7	Precipitación	8.9	
		Evaporación	36.1	
		Riego	33.3	19.98
Madurez de cosecha	8	Precipitación	46.3	
		Evaporación	58.1	
		Riego	12.3	7.38
	9	Precipitación	20.5	
		Evaporación	36.3	
		Riego	26.4	15.80
	10	Precipitación	11.6	
		Evaporación	18.6	
		Riego	0	0
	11	Precipitación	13.3	
		Evaporación	3.4	
		Riego	0	0
<b>TOTAL</b>		Precipitación	149.1	
		Evaporación	341.7	
		Riego	227	136.20

**Cuadro 15. Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de cebolla (*allium cepa*)**

FASES DEL CULTIVO	DÉCADAS	VARIABLE	REPLICA 1 600 m <sup>2</sup>	
			Lámina Mm	Vol. M <sup>3</sup>
Emergencia	1	Precipitación	3.1	
		Evaporación	49.1	
		Riego	50.3	30.18
	2	Precipitación	47.2	
		Evaporación	30.3	
		Riego	23.3	13.9
Floración	3	Precipitación	50.1	
		Evaporación	39.3	
		Riego	20.1	12.06
	4	Precipitación	3.0	
		Evaporación	42.0	
		Riego	39.1	23.46
	5	Precipitación	10.0	
		Evaporación	37.3	
		Riego	30.4	18.2
	6	Precipitación	20.1	
		Evaporación	33.6	
		Riego	18.8	11.28
	7	Precipitación	6.3	
		Evaporación	40.1	
		Riego	38.6	23.16
Bulbificación	8	Precipitación	45	
		Evaporación	53	
		Riego	23.1	13.8
	9	Precipitación	28.3	
		Evaporación	35.7	
		Riego	26.3	15.78
	10	Precipitación	10.4	
		Evaporación	39.0	
		Riego	32.8	23.28
Madurez de cosecha	11	Precipitación	2.0	
		Evaporación	33.1	
		Riego	28.6	17.16
	12	Precipitación	15.3	
		Evaporación	40.3	
		Riego	0	18.06
	13	Precipitación	10	
		Evaporación	30.0	
		Riego	0	0
<b>TOTAL</b>		Precipitación	324.1	
		Evaporación	551.2	
		Riego	243.7	146.22

**Cuadro 16. Comportamiento decadal de la precipitación, evaporación y riego (mm) en el cultivo de zapallo (*cucurbita moschata*)**

FASES DEL CULTIVO	DÉCADAS	VARIABLE	REPLICA 1 600 m <sup>2</sup>		
			Lámina Mm	Vol. m <sup>3</sup>	
Emergencia	1	Precipitación	6.80		
		Evaporación	40.30		
		Riego	30.00	18.00	
	2	Precipitación	12.00		
		Evaporación	36.50		
		Riego	12.13	7.32	
	3	Precipitación	10.00		
		Evaporación	41.00		
		Riego	28.30	16.98	
	Floración	4	Precipitación	0	
			Evaporación	38.30	
			Riego	15.60	9.36
5		Precipitación	2.50		
		Evaporación	38.50		
		Riego	11.30	6.78	
6		Precipitación	0		
		Evaporación	53.30		
		Riego	10.10	6.06	
7		Precipitación	0		
		Evaporación	39.30		
		Riego	20.10	12.60	
Llenado de frutos	8	Precipitación	7.00		
		Evaporación	33.30		
		Riego	12.70	7.62	
	9	Precipitación	9.30		
		Evaporación	45.13		
		Riego	12.30	7.38	
10	Precipitación	5.30			
	Evaporación	37.00			
	Riego	6.30	3.78		
Madurez de cosecha	11	Precipitación	12.30		
		Evaporación	30.50		
		Riego	20.20	12.06	
	12	Precipitación	2.30		
		Evaporación	35.30		
		Riego	17.10	10.26	
	13	Precipitación	52.00		
		Evaporación	40.10		
		Riego	10.30	6.18	
	14	Precipitación	3.40		
		Evaporación	33.30		
		Riego	0	0	

Madurez de cosecha	15	Precipitación	36.50	
		Evaporación	33.30	
		Riego	0	0
	16	Precipitación	40.30	
		Evaporación	37.10	
		Riego	0	0
TOTAL		Precipitación	159.20	
		Evaporación	613.00	
		Riego	206.50	124.10

**Figura 17. Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) 80% probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de maíz.**

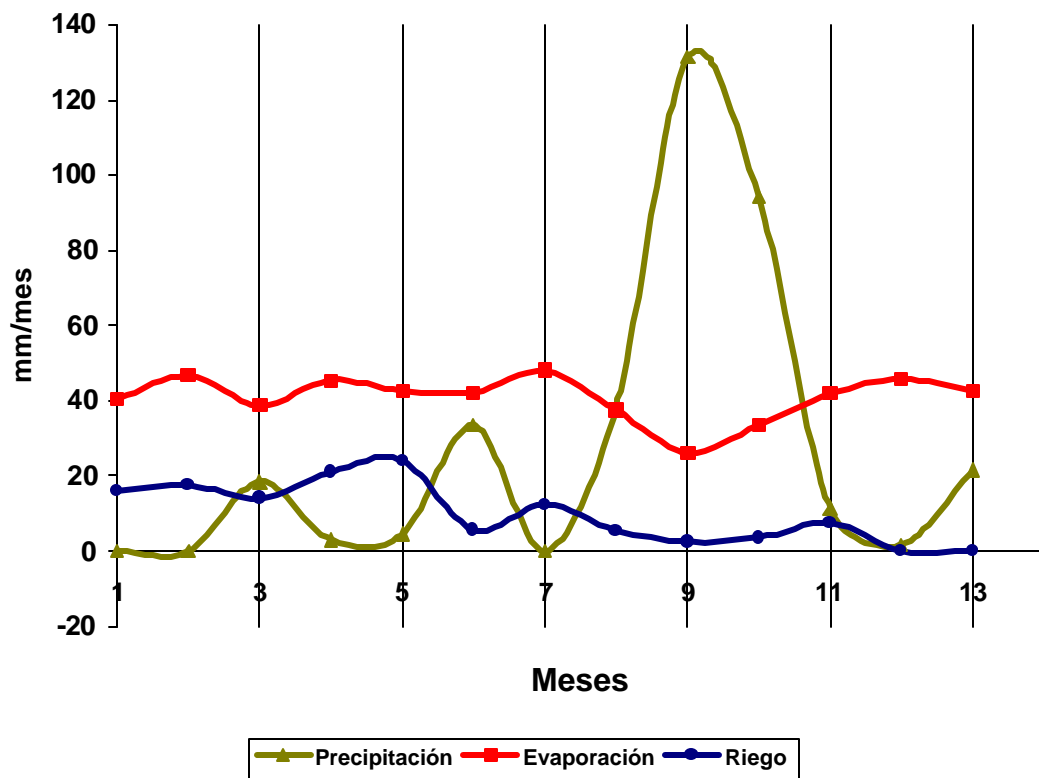


Figura 18. Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% de probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de pimentón.

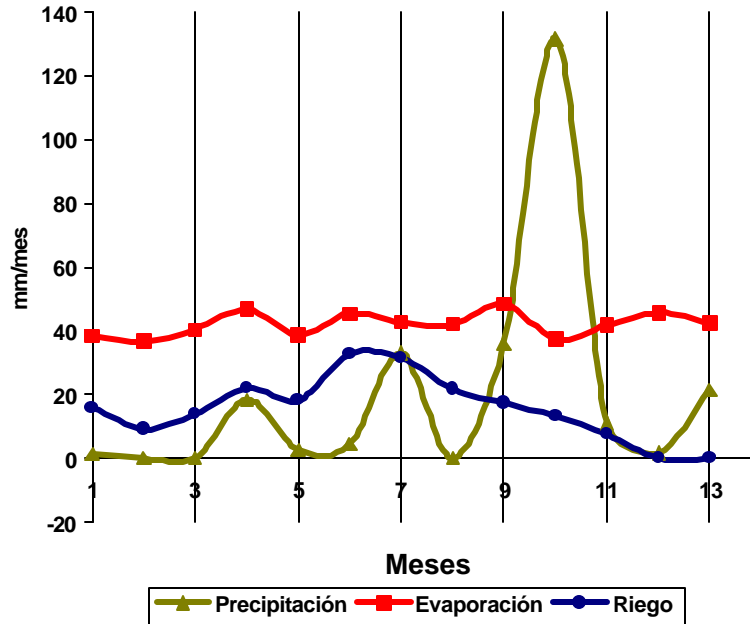


Figura 19. Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% de probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de habichuela.

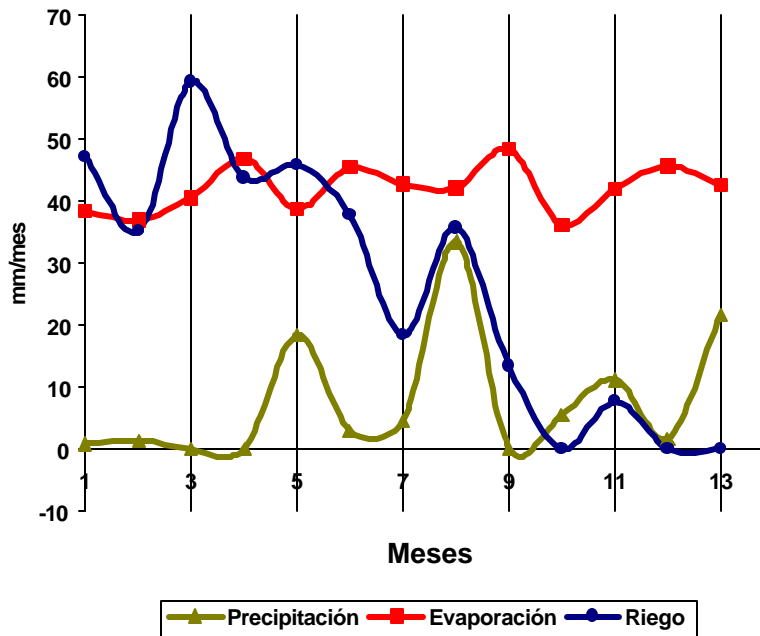


Figura 20. Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% de probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de arveja (junio – octubre).

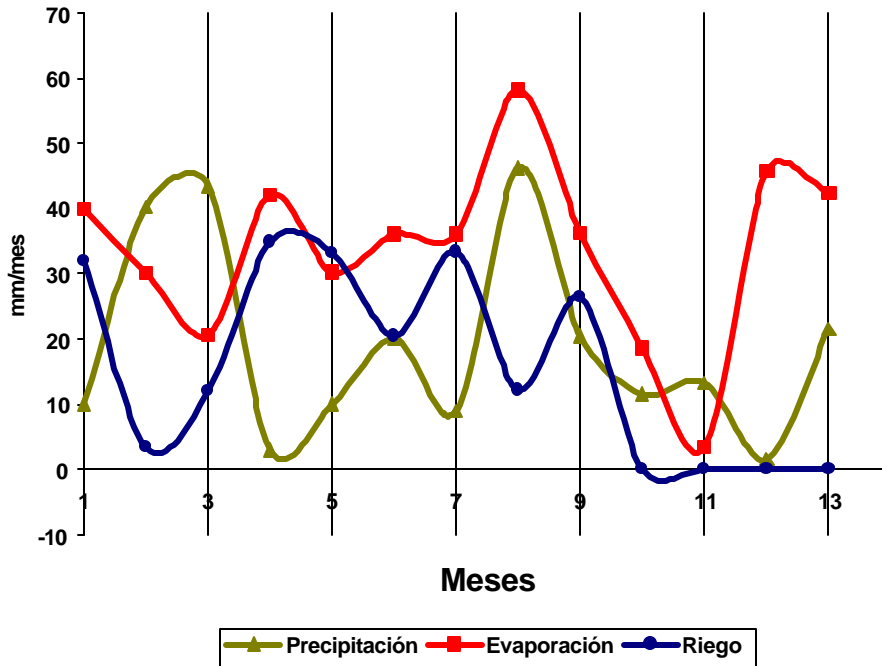
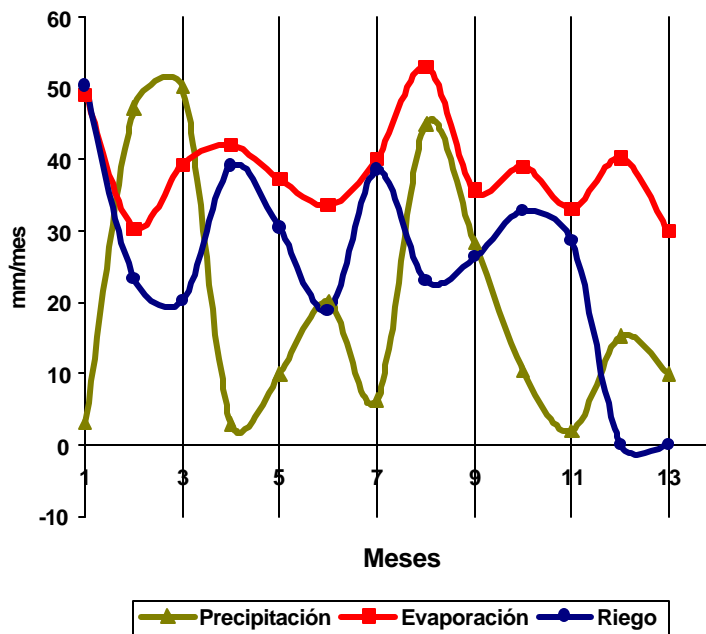
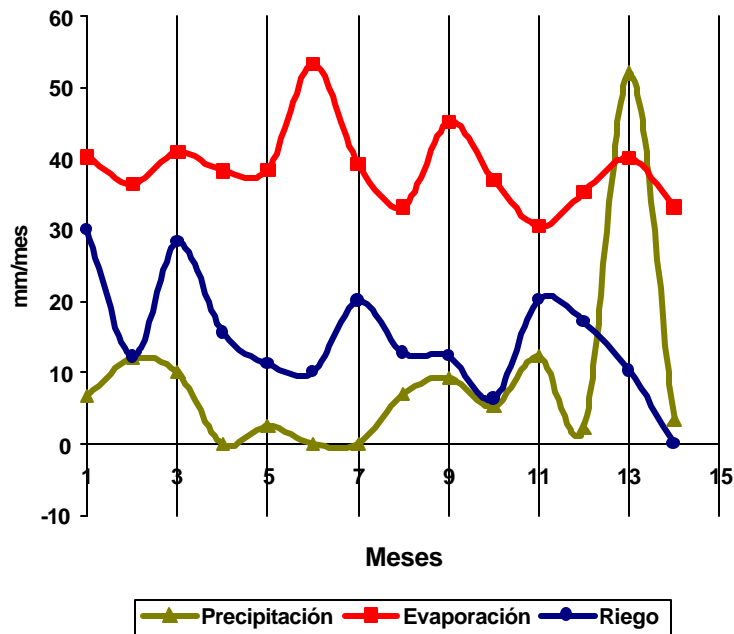


Figura 21. Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% de probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de cebolla de bulbo (junio – octubre).



**Figura 22. Curvas de comportamiento decadal de precipitación (mm) al 80% de probabilidad, uso consuntivo y riego en el cultivo de zapallo (junio – octubre).**



### 3.7 INFILTRACION

En la Figura 23 se indica la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada, donde la infiltración fue mayor desde el primer minuto de la prueba, debido a los bajos niveles de humedad del suelo, lo que cambió con el aumento de agua en el suelo, produciéndose una disminución en la velocidad de infiltración 30 minutos después de iniciada la prueba. Lográndose una estabilidad de la infiltración al minuto 294.

Para graficar los datos de infiltración se ajustaron de los datos originales con la formula de Kostiacov:

$$I = at^b$$

Donde:

**I** = velocidad de infiltración en cm/h.

**a y b** = constantes de la ecuación lineal.

**T** = tiempo de penetración de agua en el suelo en minutos.

En la prueba de infiltración se calculo la tasa básica con un promedio de 2,6, con

un promedio de calificada como media, valor similar al obtenido por Cadena y Muñoz<sup>98</sup>, los cuales obtienen una infiltración promedio de 2,49, para los suelos de textura francoarcillosa.

### 3.8 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

El valor de conductividad hidráulica para el suelo del Peñol, con característica de textura franco arcillosa fue de 1.26 cm/h., este valor coincide con el dato reportado por Legarda, et, al<sup>99</sup>, que anota un valor de conductividad hidráulica para suelo franco arcilloso de 0,5 a 1,6 cm/h. penetración moderada.

Despejando la formula de conductividad hidráulica con los valores obtenidos en este estudio:

$$\begin{aligned}
 A &= 19,63 \text{ cm.} \\
 K &= \text{Conductividad Hidráulica} \\
 V &= 66.6 \text{ cm}^3 \\
 L &= 2.5 \text{ cm} \\
 \triangle H &= 13 \text{ cm} \\
 t &= 10 \text{ min} \\
 K &= \frac{66.6 \text{ m}^3 * 2.5 \text{ m}}{13 \text{ cm} * 30 \text{ min} * 19.63 \text{ cm}^2} = 1.26 \text{ cm/h.}
 \end{aligned}$$

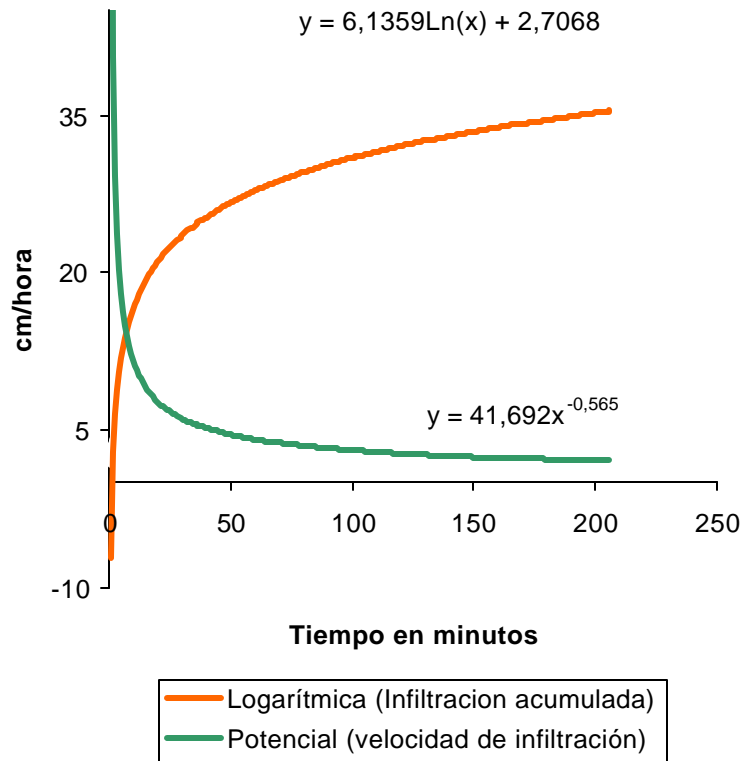
---

<sup>98</sup> Ibid., p. 114.

<sup>99</sup> LEGARDA, Técnicas de aplicación de riego agrícola. Op.cit., p. 37.



**FIGURA 23. Curvas de infiltración acumulada(IA) y velocidad de infiltración(VI) en cms/hora a 10cm de profundidad.**



**3.8.1 Variación en la tensión de humedad.** Los tensiómetros ubicados a profundidades de 10 y 20 cm permiten establecer en qué momento se debía aplicar el riego. Se puede afirmar que las tensiones más altas están estrechamente relacionadas con la temperatura y evaporación, porque a medida que se elevan inciden en la humedad del suelo, especialmente en los primeros 20 cm de profundidad. De ahí que se utilizó tensiómetros ya que a esta profundidad, los cultivos tienen la mayor actividad radicular.

Al igual que Usama y Guerrero<sup>100</sup>, para los tensiómetros superficiales (10 cm) la tensión es alta, lo que no sucede para el tensiómetro más profundo (20 cm) que marca las tensiones más bajas debido a que la cápsula no está expuesta a la acción del clima.

<sup>100</sup> GUERRERO, Op.cit., p. 57.

### 3.9 REQUERIMIENTO TOTAL DE RIESGO

**3.9.1 Frecuencia y Duración del Riego para Exudación.** El intervalo entre riegos (días) fue dado por el tipo de suelo, las variables climáticas, los tensiómetros y las fases de los cultivos, se estableció la frecuencia con una variación de 3 a 4 días y algunas veces se prolongó debido a la contribución de agua por precipitación, en donde se mantuvo la humedad del suelo por mas tiempo

El sistema de riego fue usado durante la noche ya que se disminuyen considerablemente las perdidas por evaporación, por lo tanto hay un uso mas eficiente del agua, coincidiendo con lo reportado por Valencia y Erazo<sup>101</sup>.

La duración del riego tuvo un promedio de 12 horas, la aplicación del riego se realizo de 7 pm a 7 am a excepción de algunos días donde se mantuvo el suelo húmedo por la alta evaporación, esto no significa que el caudal utilizado fuera alto sino que el sistema de riego por exudación se autorregula cuando el suelo esta a capacidad de campo y aumenta progresivamente cuando el suelo esta seco, comprobando así lo descrito por Ojeda quien afirma que el sistema por cinta exudante libera agua en forma gradual a medida que el suelo y la planta la requiere<sup>102</sup>.

### 3.10. RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR EXUDACIÓN TENIENDO EN CUENTA LA PRODUCCIÓN

En el cuadro 17, se observan los comparativos de rendimiento en relación con el uso de agua aplicada para los diferentes cultivos en las réplicas correspondientes al segundo semestre del 2002 y primer semestre del 2003. La máxima eficiencia se obtuvo en pimentón (7.69 kg/m<sup>3</sup>), seguido por habichuela con 3.14 kg/m<sup>3</sup> y del maíz con 2.86 kg/m<sup>3</sup>, superando el dato reportado por Cadena y Muñoz<sup>103</sup> (6.67 kg/m<sup>3</sup> para el pimentón) y obteniendo un valor inferior para el maíz con 5.27 kg/m<sup>3</sup>; observándose que el riego por exudación da lugar a una distribución uniforme de la cantidad de agua aplicada para satisfacer las necesidades de los cultivos, que se traduce en un uso eficiente del riego y en mayor rendimiento de estos.

En el mismo cuadro se presentan comparativos de las eficiencias de uso de agua aplicada Vs rendimiento obtenido en kg/m<sup>3</sup> para los cultivos de arveja, cebolla y

---

<sup>101</sup> ERAZO, Op.cit., p. 85.

<sup>102</sup> OJEDA, Luis. Evaluación de riegos por exudación en el cultivo de lechuga bajo cubierta, mediante el uso de tensiómetros. Pasto, Colombia, 1995. 95 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 13.

<sup>103</sup> CADENA, Op.cit., p. 98.

zapallo correspondientes a la siembra del segundo semestre de 2003. La máxima eficiencia la obtuvo el zapallo con 14.28, seguido de cebolla con 11.12 y por ultimo por la arveja con 1.51; superando los datos reportados por Doorembos y Kassam<sup>104</sup>, 4-6 para zapallo, 8-10 para cebolla y 0.6-0.8 para arveja.

Los valores de eficiencia obtenidos mediante riego por exudación son mayores a los reportados por estos autores, porque argumentan el uso de mayores cantidades de agua para cosechar producciones similares, mientras que con el sistema de riego exudante se utiliza menor cantidad de agua para obtener buenas producciones, porque este sistema da lugar a una distribución uniforme de la cantidad de agua aplicada para satisfacer las necesidades de los cultivos que representa un uso eficiente del agua de riego y en un mayor rendimiento de estos.

**Cuadro 17. Rendimiento de los cultivos con respecto a la lámina de riego aplicada.**

Cultivo	Produccion Kg/ha	Lamina aplicada (mm)	Volumen aplicado en m <sup>3</sup> /ha	Rendimiento kg/m <sup>3</sup>	Rendimiento kg/m <sup>3</sup> según referencia
Maíz	6990	272.2	2722	2.45	0.8 – 1.6
Habichuela	9050	288.1	2881	3.14	1.5 – 3.0
Pimentón	19900	258.58	2585.8	7.69	3.5 – 4.5
Arveja	3450	227.0	2270	1.51	0.6 – 0.8
Cebolla	27100	243.7	2437	11.12	8.0 – 10
Zapallo	29500	206.5	2065	14.28	4.0 – 6.0

**3.11. PORCENTAJE DE AHORRO DE AGUA CON EL SISTEMA DE RIEGO POR EXUDACIÓN**

En el cuadro 18, se expresa el porcentaje de ahorro del recurso hídrico al usar la tecnología exudante.

Con riego por exudación en maíz se utilizo 163.32 m<sup>3</sup> en 600 m<sup>2</sup>, lo que representa un ahorro del 30%.

Respecto al cultivo de pimentón se requieren 685.7 mm o 411.42 m<sup>3</sup> en 600 m<sup>2</sup>, con el riego por exudación en este estudio se aplico 258.8 mm o 155.1 m<sup>3</sup>, y se ahorro un 88.6%

Con respecto al cultivo de habichuela con el riego por exudación se aplico 288.1 mm o 240 m<sup>3</sup>, lo que significa un ahorro del 48%

---

<sup>104</sup> DOOREMBOS, Op.cit.

Con riego por exudación en arveja se utilizó 136.2 m<sup>3</sup> en 600 m<sup>2</sup>, lo que representa un ahorro del 57%.

Con riego por exudación en cebolla se utilizó 146.2 m<sup>3</sup> en 600 m<sup>2</sup>, lo que representa un ahorro del 59.2%.

Con riego por exudación en zapallo se utilizó 124.1 m<sup>3</sup> en 600 m<sup>2</sup>, lo que representa un ahorro del 53.3%.

**Cuadro 18 . Riego aplicado a los cultivos comparado con el riego por exudación y su porcentaje de ahorro**

Concepto	CULTIVOS					
	Maíz	Habichuela	Pimentón	Arveja	Cebolla	Zapallo
Riego aplicado con cinta exudante (m <sup>3</sup> )	163.3 m <sup>3</sup>	172.86 m <sup>3</sup>	155.1 m <sup>3</sup>	136.2 m <sup>3</sup>	146.2 m <sup>3</sup>	124.1 m <sup>3</sup>
Riego de aspersión (m <sup>3</sup> )	395.1 m <sup>3</sup>	334.2 m <sup>3</sup>	332.4 m <sup>3</sup>	320.5 m <sup>3</sup>	358.4 m <sup>3</sup>	265.8 m <sup>3</sup>
Porcentaje ahorrado	58.7 %	48.3%	53.3%	57.5%	59.2%	53.3%

**3.12 DISTRIBUCIÓN DE MALEZAS EN EL RIEGO POR EXUDACIÓN Y EN EL RIEGO POR ASPERSIÓN**

Treinta días después de la siembra se determinó la población de malezas mediante un censo de reconocimiento de malezas, colocando en los lotes de las parcelas establecidas un marco de madera de 0.5 m. por 0.5 m. mediante el método del intercepto. Contando el número de malezas arraigadas en el suelo que quedaron dentro del área del marco y se comparó la densidad de malezas tanto para las parcelas con riego por exudación como por aspersión. Se determinó por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Dominancia de malezas} = \frac{\text{No. de plantas de una especie (D)}}{\text{No. de plantas encontradas (F)}} \times 100$$

Donde (D) = Densidad correspondiente al número de individuos por unidad de área.

(F) = Frecuencia : Oportunidad de encontrar una especie en un área determinada.

Las malezas se clasificaron de acuerdo a su nombre vulgar y a su nombre científico, tal como se expresa en el cuadro 19.

**Cuadro 19. Nombre vulgar y científico de las malezas encontradas en este estudio**

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO
(A) Mosquita lechera	Chamaesyce hisopifolia
(B) Bledo	Amaranthus dubius
(C) Pacunga	Bidens pilosa
(D) Portulaca	Tolinum paniculatum
(E) Yerba de sapo	Chamaesyce hirta

**Cuadro 20. Porcentaje de población de malezas encontradas en 0.50 m<sup>2</sup> en los cultivos de maíz, habichuela y pimentón para riego por exudación y aspersión**

RIEGO POR ASPERSIÓN						
Especie	Maíz		Habichuela		Pimentón	
	Exudación No malezas	Aspersión No. malezas	Exudación No malezas	Aspersión No. Malezas	Exudación No malezas	Aspersión No. Malezas
A. Mosquita	2	8	2	12	3	10
B. Bledo	2	12	1	15	2	12
C. Pacunga	2	10	2	16	3	10
D. Portulaca	3	25	3	25	2	28
E. Hierva sapo	3	20	2	15	2	12
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>75</b>	<b>10</b>	<b>84</b>	<b>12</b>	<b>72</b>

Sobre la base de los valores consignados en el cuadro 20, se encontró que en las parcelas regadas mediante el sistema de riego por exudación presentó un porcentaje de población significativamente menor en comparación con el sistema de riego por exudación, observándose que la aplicación localizada de riego por exudación en los cultivos influye en el bajo crecimiento de malezas, lográndose economizar control químico y mano de obra para las labores de deshierbe.

Además se observó que las parcelas con mayor diversidad de especies fueron las parcelas bajo el riego por aspersión.

### 3.13 ANALISIS FOLIAR

De acuerdo al análisis bromatológico consignado en el cuadro 21, se observa que en el cultivo de maíz los contenidos de fósforo, azufre y hierro son altos, los contenidos de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y cobre son medios y el contenido de manganeso es bajo de acuerdo a los rangos establecidos por Guerrero<sup>105</sup>.

**Cuadro 21. Análisis bromatológico de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón**

Análisis	Maíz		Habichuela		Pimentón	
	% B.H.	% B.S.	% B.H.	% B.S.	% B.H.	% B.S.
Humedad	80.40		86.58		80.40	
Materia seca	19.60		13.42		19.60	
Nitrógeno	0.53	2.97	0.64	4.74	0.53	3.83
Calcio	0.09	0.40	0.39	1.56	0.09	0.89
Fósforo	0.08	0.41	0.05	0.34	0.08	0.68
Magnesio	0.04	0.38	0.08	0.57	0.04	0.65
Potasio	0.45	2.29	0.30	2.27	0.45	4.29
Azufre	0.03	0.45	0.013	0.22	0.03	0.6
Cobre (ppm)	4	14	2	18	4	36
Manganeso(ppm)	7	37	11	120	7	98
Zinc	4	25	4	32	4	49
Hierro	52	190	61	139	52	223

(Fuente: Laboratorio de Suelos Universidad de Nariño)

Para el cultivo de pimentón, se presentaron contenidos altos de magnesio y azufre y contenidos medios de fósforo, potasio, calcio, zinc, manganeso, cobre, boro y hierro; y contenidos bajos de nitrógeno con respecto a lo reportado por www.Geoties<sup>106</sup>.

Para el cultivo de habichuela se observaron contenidos altos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, y contenidos medios de magnesio, azufre, manganeso, hierro y zinc.

<sup>105</sup> GUERRERO, Op.cit., p. 289 – 304.

<sup>106</sup> Diagnostico foliar de la habichuela [online]. 2003. Available from internet: <URL:http://www.geoties.com/lebr7/paprikacastellano. Htm>.

### 3.14 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Como se observa en el cuadro 22, la densidad real ( $D_r$ ) es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen ocupado por los sólidos, esto tiene un valor promedio de 2.61 g/cc<sup>107</sup>.

En los suelos en que se establecieron los cultivos de maíz, habichuela y pimentón la densidad real esta entre 2.39 a 2.61 g/cc.

La densidad aparente ( $D_a$ ) (Cuadro 22) es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total (con espacio poroso) ocupado por el suelo. Sus valores en el presente estudio oscilan entre 1.06 y 1.16 g/cc para un suelo franco arcilloso como el del presente estudio. Méndez y Navas, citados por Gaviria y Villareal, indican que suelos de baja densidad aparente, por lo general son resistentes a la erosión hídrica, debido a que poseen alta capacidad de infiltración lo cual disminuye el riesgo de la escorrentía. Por otra parte facilita el intercambio gaseoso y estimula el desarrollo vegetativo<sup>108</sup>.

La porosidad (Cuadro 24) estuvo comprendida entre 51.8 y 60%. la porosidad total debe estar cercana al 50% del volumen del suelo. Valores que permiten una buena aireación y desarrollo radicular<sup>109</sup>.

Espacio aéreo (Cuadro 24), es el espacio que ocupan las raíces en el suelo, y se encuentra entre 29.2 – 44% en el presente estudio. Al respecto, La planta que explora un mayor volumen del suelo esta mejor nutrida, por tanto cualquier barrera que impida el libre desarrollo radicular representa un impedimento a todo el desarrollo vegetal<sup>110</sup>. Con relación a los resultados podemos concluir que estos suelos presentan un buen porcentaje de espacio aéreo por lo tanto buen desarrollo radicular y aireación.

La humedad gravimétrica (Cuadro 25) se encuentra en rangos que oscilaron entre 10.7 y 24.48%, y la humedad volumétrica entre 15.5 y 32%, la fluctuación en estos valores se pueden deber a que estos suelos se mantienen húmedos permanentemente ya sea por el agua de riego o de las lluvias.

Coeficiente de difusión (Cuadro 26). En la presente investigación se presenta valores de 19.2 y 24.2, lo cual se determina por los valores de la densidad

---

<sup>107</sup> BURBANO, Op.cit., p. 7.

<sup>108</sup> GAVIRIA, Op.cit., p. 24.

<sup>109</sup> LEGARDA, Las propiedades físicas y la productividad del suelo. Op.cit., p. 82

<sup>110</sup> PRIMAVERSI, Ana. Manejo ecológico del suelo. 5ª ed. Buenos aires : el Ateneo, 1989. p. 334.

aparente que indica que en estos suelos se da un buen desarrollo de las plantas además de la disponibilidad de nutrientes

**Cuadro 22. Valores promedios propiedades físicas del suelo**

Muestra Suelo	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad %	Humedad gravimetrica %	Humedad volumétrica %	Espacio Aéreo %	Coef. de difusión %
1.1. Maíz	1.06	2.61	60.0	21.60	22.80	37.11	24.4
1.2. Maíz	1.08	2.41	55.1	17.52	18.92	36.20	23.8
2.1. Maíz	1.11	2.48	55.2	16.56	18.38	36.80	24.2
2.2. Maíz	1.16	2.54	54.3	22.16	25.70	28.30	18.6
3.1. Maíz	1.11	2.54	56.3	24.48	27.10	29.20	19.2
3.2. Maíz	1.12	2.45	54.2	22.40	25.00	29.20	19.2
1.1. Habichuela	1.12	2.57	56.4	11.60	12.40	44.00	29.0
1.2. Habichuela	1.08	2.57	57.9	22.80	24.60	33.30	21.9
2.1. Habichuela	1.12	2.54	55.9	10.70	11.90	44.00	29.0
2.2. Habichuela	1.08	2.41	55.1	19.24	20.70	34.40	22.7
3.1. Habichuela	1.16	2.41	51.8	16.04	18.60	33.20	21.9
3.2. Habichuela	1.12	2.48	54.8	13.50	15.20	39.60	26.1
1.1. Pimentón	1.10	2.41	54.3	19.90	21.80	32.50	21.4
1.2. Pimentón	1.10	2.51	56.1	19.90	21.80	34.30	22.6
2.1. Pimentón	1.08	2.39	54.8	18.90	20.40	34.40	22.7
2.2. Pimentón	1.09	2.39	54.4	19.60	21.30	33.10	21.8
3.1. Pimentón	1.14	2.61	56.3	20.40	23.20	33.10	21.8
3.2. Pimentón	1.11	2.48	55.2	20.40	22.60	32.60	21.5

La prueba de "t" muestra un t calculado menor que el t tabulado para todos los estadígrafos descriptivos, por lo que se acepta la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), que plantea que no hay diferencias entre las dos profundidades (Cuadros 23 a 26).



**Cuadro 23 . Prueba de “t” para el análisis estadístico de densidad aparente y densidad real a 10 y 20 cm de profundidad**

<b>Maiz</b>	<b>Densidad aparente g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Densidad real g/cm<sup>3</sup></b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	1.09	1.12	2.5	2.4
Varianza	0.0016	0.0032	0.008	0.008
Desviación Estándar	0.028	0.04	0.06	0.06
Media	1.09	1.12	2.54	2.56
Prueba de “t” t. calculado t. tabulado	Se acepta hipótesis nula 0.93 3.93		Se acepta hipótesis nula 1.42 3.93	
<b>Habichuela</b>	<b>densidad aparente g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Densidad real g/cm<sup>3</sup></b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	1.13	1.09	2.50	2.48
Varianza	0.001	0.001	0.01	0.01
Desviación Estándar	0.023	0.023	0.08	0.08
Media	1.13	1.09	2.50	2.48
Prueba de “t” t. calculado t. tabulado	Se acepta hipótesis nula 2.12 3.93		Se acepta hipótesis nula 0.29 3.93	
<b>Pimentón</b>	<b>densidad aparente g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Densidad real g/cm<sup>3</sup></b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	1.1	1.1	2.4	2.46
Varianza	0.0018	0.0002	0.029	0.0078
Desviación Estándar	0.030	0.01	0.12	0.06
Media	1.10	1.1	2.47	2.51
Prueba de “t” t. calculado t. tabulado	Se acepta hipótesis nula 0.37 3.93		Se acepta hipótesis nula 0.12 3.93	

**Cuadro 24. Prueba de “t” para el análisis estadístico de porosidad total del suelo y espacio aéreo**

Maiz	Porosidad total del suelo %		Espacio aéreo %	
	10 (cm)	20 (cm)	10 (cm)	20 (cm)
Promedio	58.5	54.5	34.3	28.9
Varianza	1.58	0.38	3.65	0.42
Desviación Estándar	1.94	0.47	4.48	0.51
Media	58.5	54.5	34.3	28.9
Prueba de “t”	Se acepta hipótesis nula		Se acepta hipótesis nula	
t. calculado	1.86		0.92	
t. tabulado	3.93		3.93	
Habichuela (densidad aparente)	Porosidad total del suelo %		Espacio aéreo %	
	10 (cm)	20 (cm)	10 (cm)	20 (cm)
Promedio	55.7	55.9	41.2	34.1
Varianza	2.94	1.70	4.29	0.57
Desviación Estándar	3.60	1.39	5.56	0.7
Media	55.7	55.9	41.2	34.1
Prueba de “t”	Se acepta hipótesis nula		Se acepta hipótesis nula	
t. calculado	0.15		1.74	
t. tabulado	3.93		3.93	
Pimentón	Porosidad total del suelo %		Espacio aéreo %	
	10 (cm)	20 (cm)	10 (cm)	20 (cm)
Promedio	55.1	55.2	34.1	33.6
Varianza	1.04	0.85	0.57	0.71
Desviación Estándar	0.84	0.69	0.7	0.87
Media	55.1	55.2	34.1	33.6
Prueba de “t”	Se acepta hipótesis nula		Se acepta hipótesis nula	
t. calculado	0.27		0.81	
t. tabulado	3.93		3.93	

**Cuadro 25. Prueba de “t” para el análisis estadístico de humedad volumetrica y humedad gravimétrica**

<b>Maiz</b>	<b>Humedad volumetrica %</b>		<b>Humedad gravimetrica %</b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	24.4	29.07	20.88	20.69
Varianza	4.19	4.42	3.27	2.24
Desviación Estándar	5.13	4.65	4.00	2.75
Media	24.4	29.07	20.88	20.69
Prueba de “t”	Se acepta hipótesis nula		Se acepta hipótesis nula	
t. calculado	0.12		0.066	
t. tabulado	3.93		3.93	
<b>Habichuela</b>	<b>Humedad volumetrica %</b>		<b>Humedad gravimetrica %</b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	24.26	26.56	12.78	18.55
Varianza	0.59	0.72	2.33	3.83
Desviación Estándar	0.76	0.76	2.85	4.67
Media	24.26	26.56	12.78	18.65
Prueba de “t”	Se acepta hipótesis nula		Se acepta hipótesis nula	
t. calculado	1.36		1.80	
t. tabulado	3.93		3.93	
<b>Pimentón</b>	<b>Humedad volumetrica %</b>		<b>Humedad gravimetrica %</b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	22.3	21.9	19.73	19.96
Varianza	2.12	0.53	0.62	0.40
Desviación Estándar	2.59	0.65	0.76	0.32
Media	22.3	21.9	19.73	19.96
Prueba de “t”	Se acepta hipótesis nula		Se acepta hipótesis nula	
t. calculado	0.22		0.46	
t. tabulado	3.93		3.93	

**Cuadro 26. Prueba de “t” para el análisis estadístico de coeficiente de difusión y conductividad hidráulica a 10 y 20 cm de profundidad**

<b>Maiz</b>	<b>Coeficiente de difusión %</b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	22.6	20.5
Varianza	2.4	2.32
Desviación Estándar	2.94	2.84
Media	22.6	20.5
Prueba de “t” t. calculado t. tabulado	Se acepta hipótesis nula 0.089 3.93	
<b>Habichuela</b>	<b>Coeficiente de difusión %</b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	26.4	23.4
Varianza	3.6	1.98
Desviación Estándar	4.41	2.41
Media	26.4	23.4
Prueba de “t” t. calculado t. tabulado	Se acepta hipótesis nula 0.44 3.93	
<b>Pimentón</b>	<b>Coeficiente de difusión %</b>	
	<b>10 (cm)</b>	<b>20 (cm)</b>
Promedio	23.6	23.9
Varianza	2.3	2
Desviación Estándar	2.81	2.45
Media	23.6	23.9
Prueba de “t” t. calculado t. tabulado	Se acepta hipótesis nula 0.21 3.93	

### **3.15 RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS RESPECTO AL RIEGO**

Los rendimientos obtenidos en este estudio por medio del sistema de riego por exudación y aspersión se alejaron de las producciones nacionales puesto que estas últimas presentan un promedio de diferentes regiones donde las condiciones de clima y sol son diferentes.

En el cuadro 27 se observa que en todos los cultivos se presenta que el sistema por exudación influye notablemente en la producción, lo cual se puede explicar porque la aplicación adecuada de riego en los cultivos afecto notablemente los componentes del crecimiento, desde su parte radicular, mayor desarrollo en su parte aérea, una floración más abundante; y obtención de mazorcas, frutos, vainas, legumbres y bulbos de buen tamaño y calidad.

Por el contrario en los cultivos regados con riego por aspersión se presentó una considerable diferencia en cuanto a producción que fue menor considerablemente, afectándose además la calidad de los productos por la incidencia de plagas y enfermedades que aprovechan las condiciones óptimas de desarrollo generadas por la aplicación inadecuada y exagerada de riego.

**Cuadro 27. Producción obtenida en la primera siembra de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón.**

Cultivo		Numero de frutos		Peso de frutos		Rendimiento (ton/ha)	
		Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Maíz	Promedio	2.32	2.1	150.8	122.4	6.99	5.14
Habichuela	Promedio	52.3	43.5	9.89	8.85	9.05	6.73
Pimentón	Promedio	9.1	6.3	70.3	54.6	19.9	10.7

**Cuadro 28. Producción obtenida en la segunda siembra de los cultivos de maíz, habichuela y pimentón.**

Cultivo		Numero de frutos		Peso de frutos (gr)		Rendimiento (ton/ha)	
		Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Maíz							
	Promedio	2.28	2.1	147.06	125.0	6.70	5.10
Habichuela							
	Promedio	51.2	33.16	9.53	8.66	8.47	5.72
Pimentón							
	Promedio	8.63	5.92	68.2	53.7	19.8	10.76

**Cuadro 29. Producción obtenida en los cultivos de arveja, cebolla y zapallo.**

Cultivo		Numero de frutos		Peso de frutos (gr)		Rendimiento (ton/ha)	
		Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Arveja							
	Promedio	17	14	2.70	2.45	3.45	2.3
Cebolla							
	Promedio	1	1	80	50	27.1	18.5
Zapallo							
	Promedio	5	3	7000	5000	29.5	22.3

Como se observa en los cuadros 28 y 29, las producciones obtenidas con los sistema de riego evaluados para el cultivo de maíz presentan rendimientos superiores a los reportados a nivel regional y nacional ya que para el cultivo de maíz la producción regional para el año 2002 fue de 0.58 ton/ha, departamental 0.82 ton/ha y Nacional de 1.59 ton/ha.

En el segundo semestre de 2002, se obtuvo mayores rendimientos con el sistema de riego por exudación con 2.32 frutos/plantas y 150.8 gr/fruto y un rendimiento de 6.99 ton/ha respecto al riego con aspersión con el cual se logro 2.1 frutos/planta y un peso de 122.4 gr/planta para un rendimiento de 5.14 ton/ha.

Respecto al cultivo de habichuela el riego por exudación también se consolido como el mejor, con un promedio de 52.3 vainas/planta, 9.89 gr/vaina y un

rendimiento de 9.05 ton/ha frente a producciones de 43.5 vainas/planta, 8.85 gr/vaina y 6.73 ton/ha.

También el riego por exudación surtió mejor efecto que el riego por aspersión sobre el cultivo de pimentón, con el primero obtuvo 9.1 frutos/planta, 70.3 gramos/fruto y un rendimiento de 19.9 ton/ha frente a 6.3 frutos/planta, 70.3 gr/fruto y 10.7 ton/ha.

Como se observa en la tabla 30, para la segunda siembra (Primer semestre de 2003) el sistema de riego por exudación fue más eficiente que el riego por aspersión ya permitió obtener 2.28 mazorcas/planta y 147.1 gramos/mazorca, lo que representa un rendimiento de 6.70 ton/ha, en contraste con el riego por aspersión que presentó 2.1 mazorcas/planta y una producción de 120.3 gr/mazorca lo que representa 5.05 ton/ha.

En cuanto al cultivo de la habichuela, el sistema de riego por exudación fue más eficiente, al presentar 51 vainas/planta y una producción de 9.5 gr/vaina (8.47 ton/ha) frente a 37.7 vainas por planta y un peso de 8.67 gr/vaina (5.72 ton/ha) del sistema de riego por aspersión

Para el cultivo de Pimentón se obtuvo en promedio 8.6 frutos/planta con un peso de 68.3 gr/fruto que equivaldría a 18.3 ton/ha con riego por exudación y con el riego por aspersión 5.92 frutos/planta con un peso de 68.3 gr/fruto y un rendimiento de 9.91 ton/ha

En cuanto a la producción obtenida en la siembra (segundo semestre de 2003), los cultivos de arveja, cebolla y zapallo alcanzaron las mayores rendimientos (3.45, 27.1 y 29.3 ton/ha) respectivamente con el sistema de riego por exudación, respecto al sistema de riego por aspersión los rendimientos fueron de 2.3, 18.5 y 22.3 ton/ha para cada cultivo.

**Cuadro 30. Comparativo del rendimiento obtenido en el área experimental con los rendimientos de la región y la producción nacional.**

CULTIVO	EPOCA	RENDIMIENTO del ensayo Kg / Ha		RENDIMIENTO REGIONAL Kg/ha	PRODUCCIÓN REFERENCIA Ton/ha
		EXUD	ASPER		
MAIZ	SEMEST.1/03	EXUD	ASPER	960 UMATA (1999)	6-9 Novartis (2000)
		6.70	5.1		
HABICHUELA	SEMEST. 1/03	8.47	5.72	1.100	0.8 - 1.2 Villaruel (1998)
PIMENTON	SEMEST.1/03	19.8	10.7	9.000 UMATA (1999)	15-20 Vallejo et al (1999)
ARVEJA	SEMEST.1/03	3.45	2.3		
CEBOLLA	SEMEST.1/03	27.1	18.5	6000-18000 UMATA (1999)	35-45 Doorembos y Kasam (1990)
ZAPALLO	SEMEST.1/03	29.8	22.3	10000 UMATA (1999)	22-25 Vallejo (1999)

De acuerdo al cuadro 30, los resultados obtenidos en el área del ensayo a los cuales se aplicó riego por exudación nos indican que en comparación con las producciones obtenidas en la zona muestran un indicativo de comparación que supera la producción regional, mientras por ejemplo, para el cultivo de maíz, la diferencia en cuanto a producción en la zona es cuatro veces mayor a nivel hectárea.

Con relación a las producciones de referencia indicada, se puede aclarar que las obtenidas mediante el sistema de riego por exudación se encuentran en los rangos recomendados para cada cultivo y superan la producción regional; es decir, la técnica tradicional de riego presenta desventajas considerables para la obtención de buenos rendimientos; frente a la altísima eficiencia del sistema de riego, que se trasluce en cantidad y calidad de frutos que obviamente tiene un mejor precio en el mercado

La producción de un cultivo responde directamente a la cantidad de agua aplicada como a la frecuencia de riego, aunque puede variar de acuerdo a las condiciones climáticas, ecológicas y de manejo de los cultivos



Otros autores han reportado resultados a los encontrados en este estudio así: Cadena y Muñoz<sup>111</sup> observaron que los rendimientos del maíz en función de riego por exudación fueron de 434 kg/600m<sup>2</sup> que corresponden a 7.2 ton/ha.

Los mismos autores enunciados anteriormente, encontraron la mayor producción de pimentón con 1140 kg en 600 m<sup>2</sup>, que equivale a 19 ton/ha, también Vallejo, citado por los mismos autores reporta que: “el pimentón en regadío alcanza rendimientos de 15-20 ton/ha. Respecto al zapallo obtuvieron producciones de 1300 en 600 m<sup>2</sup>, que equivale a 21.6 t/ha y en cuanto a cebolla 2170 kg en 600 m<sup>2</sup> lo cual equivale a 36.16 t/ha”<sup>112</sup>.

### **3.16 NECESIDADES HÍDRICAS PARA LOS CULTIVOS DE MAÍZ, HABICHUELA, PIMENTÓN, ARVEJA, CEBOLLA Y ZAPALLO**

Coincidiendo con Valencia y Erazo<sup>113</sup>, se observa que el ahorro de agua en los cultivos regados por medio del sistema de exudación, es muy favorable de acuerdo al consumo utilizado y la producción generada para cada cultivo, mediante la aplicación de riego por aspersión se puede llegar a gastar hasta tres y cuatro veces más de lo que se gasta con riego por exudación, y presenta varias desventajas entre las cuales están; la proliferación de plagas y enfermedades, el control de malezas es más regular, requiere mayor mano de obra perjudicando la situación económica de los pequeños agricultores.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las etapas de desarrollo los cultivos, los requerimientos hídricos para maíz, fueron más altos en las etapas de floración y maduras de cosecha, con un registro de 96.9 y 70.6 mm. respectivamente, para el cultivo de habichuela, se necesitó aplicar riego en mayor cantidad en las etapas de desarrollo y floración con un registro de 99.2 y 83.5 mm, y para el cultivo de pimentón, los mayores requerimientos se presentaron en las etapas de desarrollo y floración, respectivamente, hay que aclarar que a mediados del mes de marzo y durante el mes de abril se presentaron lluvias en mayor proporción en forma irregular, razón por lo cual para las últimas etapas las necesidades hídricas disminuyeron.

Se puede concluir por último que en comparación de los resultados obtenidos en los aspectos fisiológicos, técnicos, productivos, fitosanitarios, la tecnología de riego por exudación muestra una ventaja superior que le ofrece mayores beneficios al pequeño agricultor en comparación con el sistema de riego por

---

<sup>111</sup> CADENA, Op.cit., p. 106.

<sup>112</sup> Ibid., p108

<sup>113</sup> ERAZO, Op.cit., p. 95.

aspersión que ha ocasionando perdidas económicas y no alcanza a solucionar y satisfacer las necesidades económicas de los productores de la región.

El agua total de riego aplicado en este trabajo, con riego por exudación y con riego por aspersion se observa en el cuadro 31.

**Cuadro 31. Necesidades hídricas de los cultivos de maíz, habichuela, pimentón, arveja, cebolla, zapallo**

Cultivo	Riego por Exudación		Riego por aspersion		Caudal l/h	
	Volumen m <sup>3</sup>	Lamina mm.	Volumen m <sup>3</sup>	Lamina mm.	Riego Exudación	Riego Aspersion
Maíz	163.32	272.2	395.1	658.5	0.55	1800
Habichuela	155.1	258.58	332.4	554.0	0.48	1800
Pimentón	172.86	288.1	334.2	557.0	0.88	1800
Arveja	136.2	227.0	320.5	534.1	0.43	1800
Cebolla	146.22	243.7	358.4	597.3	0.85	1800
Zapallo	124.1	206.5	265.8	443.0	0.60	1800

De acuerdo con los cuadros 32 y 33, para el calculo estadístico se tomaron de cada parcela de 600 m<sup>2</sup>, 20 plantas al azar, a las cuales se le aplicaron los mismos tratamientos a diferencia de los sistemas de riego. Las plantas sometidas a riego por exudación presentaron diferencias significativas en el número de frutos por planta, peso de frutos y rendimientos, en comparación a los obtenidos en el riego por aspersion.

Para el cultivo de habichuela con el sistema de riego por exudación se obtuvo un promedio de vainas de 51.2 con un peso promedio de 9.53 g por vaina, mientras que para el sistema de riego por aspersion el número promedio de vainas fue de 33.16 con un peso de 8.66 g/ vaina.

En maíz el número de mazorcas por planta fue de 2.28 con el riego por exudación y 2.1 con el riego por aspersion y el peso de grano por mazorca fue de 147.06 con riego por exudación y 125 gramos con riego por aspersion.

En el cultivo de pimentón se contabilizo un número de frutos por planta de 8.63 con riego por exudación y 5.92 con aspersion. Además se encontró que el peso por fruto fue 68.2 g con riego por exudación y 53.7 con riego por aspersion (Cuadro 32).

Para el cultivo de arveja con el sistema de riego por exudación se obtuvo un

promedio de 17 vainas/planta con un peso promedio de 2.70g/vaina ; mientras que en el sistema de riego por aspersión el número promedio de vainas fue de 14 con un peso promedio de 2.45 g/vaina.

El cultivo de cebolla presento una producción de un bulbo por /planta tanto en riego por exudación como por aspersión con un peso de 80 g/bulbo en el primer sistema y

50 g/bulbo en el segundo sistema.

La producción de zapallo obtenida con el sistema de riego por exudación fue de 5 frutos/planta con un peso de 7 kg/fruto y con el sistema de riego por aspersión se produjo 3 frutos/planta con un peso de 4 kg/fruto.

Los estadígrafos descriptivos muestran variaciones en los promedios de todas las variables evaluadas menos con número de mazorcas por planta en maíz y número de bulbos en cebolla, lo que demuestra para estos parámetros que existen diferencias entre los dos sistemas, presentándose una mayor eficiencia en sistema por exudación.

La prueba de “t” muestra un t calculado mayor que el t tabulado en los cultivos de maíz, habichuela, pimentón, arveja, cebolla y zapallo, por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), que plantea que no hay diferencias entre los sistemas y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), lo que demuestra que existen diferencias estadísticas significativas entre los dos sistemas de riego.

Las diferencias estadísticas del riego por exudación frente al riego por aspersión en los cultivos evaluados muestran una mayor eficiencia con el riego por exudación debido a la aplicación oportuna y a la cantidad de agua aplicada cuando el cultivo lo requirió, la incidencia de plagas fue menor, lo que benefició el aumento en la producción (Cuadros 32 y 33).

**Cuadro 32. Pruebas de “t” para el análisis estadístico de los cultivos de habichuela, maíz, y pimentón**

Habichuela	Número de vainas/planta		Peso de vainas gr.		Rendimiento ton/Ha.	
	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Promedio	51.2	33.16	9.53	8.66	8.47	5.72
Varianza	4.16	23.32	0.45	0.23	1.26	0.16
Desviación Estándar	1.4422	3.41	0.45	0.34	0.79	0.24
Media	51	33.16	9.53	8.66	8.47	5.72
Prueba de “t”	Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula	
t. calculado	8.23		2.66		3.66	
t. tabulado	2.08		2.086		2,086	
Maíz	Número de mazorcas/planta		Peso de granos		Rendimiento ton/Ha.	
	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Promedio	2.28	2.1	147.06	125	6.70	5.10
Varianza	0.082	2,40	17.40	15.20	0.74	0.0134
Desviación Estándar	0.20	1,55	2.95	2.10	0.61	0.08
Media	2.28	2.1	147.06	125	6.70	5.10
Prueba de “t”	Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula	
t. calculado	0.66		9.15		0.17	
t. tabulado	2.08		2.086		2.086	
Pimentón	Número de frutos/planta		Peso de frutos gr.		Rendimiento ton/Ha.	
	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Promedio	8.63	5.92	68.2	53.7	19.8	10.76
Varianza	0.32	0.39	36.12	0,086	0.04	0.12
Desviación Estándar	0.40	0.44	4.25	0,648	0.15	0.25
Media	8.63	5.92	68.2	2,05	19.86	10.76
Prueba de “t”	Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula	
t. calculado	7.83		5.90		53.52	
t. tabulado	2,086		2.086		2.086	

**Cuadro 33. Estadígrafos descriptivos y prueba de “t” para el análisis estadístico de los cultivos de Arveja, cebolla y zapallo**

	Número de vainas/planta		Peso de vainas gr.		Rendimiento Ton/Ha	
	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Promedio	17.0	14.0	2.7	2.45	3.45	2.30
Varianza	0.5	0.92	0.024	0.018	0.0018	0.002
Desviación Estándar	0.50	0.68	0.11	0.095	0.79	0.0032
Media	17.01	14.05	2.7	2.45	3.45	2.30
Prueba de “t”	Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula	
t. calculado	6.22		28.92		44.75	
t. tabulado	2.08		2.086		2,086	
<b>Cebolla</b>	Número de bulbos/planta		Peso de bulbos		Rendimiento Ton/Ha	
	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Promedio	1	1	80	50	27.10	18.50
Varianza	0.045	0.045	8.10	8.40	3.84	0.5
Desviación Estándar	0.15	0.15	2.01	2.05	31.38	0.50
Media	1.07	1	80.0	50	27.1	18.50
Prueba de “t”	Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula	
t. calculado	0.2		9.15		44.77	
t. tabulado	2.08		2.086		2.086	
<b>Zapallo</b>	Número de frutos/planta		Peso de frutos gr.		Rendimiento Ton/Ha.	
	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión	Exudación	Aspersión
Promedio	5	3	7000	5000	29.50	22.30
Varianza	0.030	0.85	1736	7916	5.46	1.82
Desviación Estándar	0.12	0.304	29.46	37.6	1.65	0.95
Media	5.05	3	7016	5000	29.5	22.30
Prueba de “t”	Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula		Se rechaza hipótesis nula	
t. calculado	10.57		24.90		53.52	
t. tabulado	2,086		2.086		2.086	

### 3.17 ANALISIS ECONOMICO

Para el análisis se tomaron indicadores económicos como: rentabilidad de relación beneficio costo (B/C), para tener una idea general de las utilidades de los cultivos bajo los sistemas de riego por exudación y aspersión.

Los cultivos que presentaron ganancia en su primera cosecha empleando el sistema de riego por exudación fueron los de pimentón, cebolla y zapallo. (Cuadros 38, 42 y 44).

En el cuadro 42, se observa que el cultivo de cebolla de bulbo, con riego por exudación presentó un ingreso por \$17.615.000, los costos directos fueron de \$927.000 y los costos indirectos de \$8.420.000 para un total de \$9.347.000, lo que generó una rentabilidad del 88,4% con una relación beneficio-costos de 1.88, lo que representa una ganancia de \$0.88 por cada peso invertido.

Mientras que en el cuadro 43, se observa que con el sistema de riego por aspersión, el cultivo de cebolla reportó un ingreso total de \$12.025.000, con costos directos de \$1.188.000 y los costos indirectos sumaron \$ 714.000 para un total de \$1.902.000, presentándose un alza en los costos directos por razón de mano de obra e insumos a causa de presencia continua de plagas y enfermedades. No obstante, este cultivo genera una rentabilidad del 532% y una relación de beneficio-costos de 6.32 que expresa una ganancia de \$5.32 por cada peso invertido.

Para los demás cultivos (maíz, habichuela y arveja) la rentabilidad fue negativa y la relación beneficio-costos estuvo por debajo de \$1, esto se refleja por los altos costos de inversión del equipo, pero para estos cultivos debe de esperar a la segunda cosecha donde la rentabilidad es positiva ya que no hay gastos en equipos de riego. La inversión se justifica a mediano y largo plazo debido a la duración de la cinta exudante, que puede ir de 10 a 15 años, además con este sistema en las condiciones Del Peñol se puede hacer tres cosechas anuales, lo que aumenta las utilidades y reduce el tiempo de pago del equipo.

El cultivo que presentó ganancias netas fue el de la cebolla, pimentón y zapallo, pues se trata de unos cultivos rentables que coinciden con precios altos en el mercado, en el cultivo de la arveja se obtuvo un menor ingreso, puesto que el precio de venta del producto en el mercado y los costos de producción fueron altos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los cultivos que presentaron pérdidas pueden retribuir la inversión generada de acuerdo a los precios de favorables aumentando el ingreso neto por concepto de venta del producto cosechado. Sin embargo los cultivos como maíz y arveja, habichuela y maíz a pesar de tener un buen precio, la inversión inicial no se recupera en la primera cosecha, pero a

mediano plazo, las siembras sucesivas retribuyen el costo del sistema.

**Cuadro 34. Análisis económico para el cultivo de habichuela (ha) con el sistema de riego por exudación**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	4	Jornal	8000	32000
Deshierba	6	Jornal	8000	48000
Fertilización	6	Jornal	8000	48000
Aplicación de funguicidas	14	Jornal	8000	112000
Aplicación de insecticidas	14	Jornal	8000	112000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
<b>Insumos</b>				
Semilla	80	Kg.	2000	160000
Abono orgánico	100	Kg.	720	72000
Fertilizante Foliar				0
Funguicidas				78000
Insecticidas				90000
<b>Subtotal</b>				880000
<b>Costos indirectos</b>				
Interés al K Invertido al 20%				400000
Costos del Sistema				
Tubo geotextil exudante	10000	m.	1000	10000000
Cabezal de riego				280000
Tensiómetro				190000
Accesorios				50000
<b>Subtotal</b>				11320000
<b>Total costos</b>				12200000
<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	9050			
<b>Precio kilo</b>	850			
<b>Ingresos bruto</b>				7692500
<b>Ingreso neto</b>				-4507500
<b>Rentabilidad real</b>				-36,9%
<b>Relación B/C</b>				0,63

**Cuadro 35. Análisis económico para el cultivo de habichuela (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	4	Jornal	8000	32000
Deshierba	16	Jornal	8000	128000
Fertilización	8	Jornal	8000	64000
Aplicación de funguicidas	22	Jornal	8000	176000
Aplicación de insecticidas	24	Jornal	8000	192000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
<b>Insumos</b>				
Semilla	80	Kg	2000	160000
Abono Orgánico	100	Kg	720	72000
Fertilizante Foliar				48000
Funguicidas				100000
Insecticidas				160000
<b>Subtotal</b>				1344000
<b>Costos indirectos</b>				
Interés al K Invertido al 20%				400000
Costos del Sistema				
Manguera bicolor	5	Rollos	34800	174000
Aspersores	4		30000	120000
Accesorios				20000
<b>Subtotal</b>				714000
<b>Total costos</b>				2058000
<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	6730			
<b>Precio kilo</b>	850			
<b>Ingresos bruto</b>				5720500
<b>Ingreso neto</b>				3662500
<b>Rentabilidad real</b>				177%
<b>Relación B/C</b>				2,77



**Cuadro 36. Análisis económico para el cultivo de maíz (ha) con el sistema de riego por exudación.**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	4	Jornal	8000	32000
Deshierba	6	Jornal	8000	48000
Fertilización	6	Jornal	8000	48000
Aplicación de funguicidas	8	Jornal	8000	64000
Aplicación de insecticidas	8	Jornal	8000	64000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
Insumos				
Semilla	2	Kg	70000	140000
Abono orgánico	150	Kg	720	108000
Fertilizante Foliar				00000
Funguicidas				100000
Insecticidas				80000
<b>Subtotal</b>				<b>812000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
Costos del Sistema				
Tubo geotextil exudante	8500	M	1000	8500000
Cabezal de riego				280000
Tensiometros				190000
Accesorios				50000
<b>Subtotal</b>				<b>9420000</b>
<b>Total costos</b>				<b>10232000</b>
Rendimiento (kg/ha)	6990			
Precio kilo	512			
Ingresos bruto				3578880
Ingreso neto				-6653120
Rentabilidad real				-65%
Relación B/C				0.34

**Cuadro 37. Análisis económico para el cultivo de maíz (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costo directo</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	4	Jornal	8000	32000
Deshierba	16	Jornal	8000	96128
Fertilización	8	Jornal	8000	64000
Aplicación de funguicidas	12	Jornal	8000	96000
Aplicación de insecticidas	12	Jornal	8000	96000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
<b>Insumos</b>				
Semilla	2	Kg.	70000	140000
Abono orgánico	150	Kg.	720	134000
Fertilizante Foliar				70000
Funguicidas				110000
Insecticidas				100000
<b>Subtotal</b>				<b>1098000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
Costos del Sistema				
Manguera bicolor	5	Rollos	34800	174000
Aspersores	4		30000	120000
Accesorios				20000
<b>Subtotal</b>				<b>714000</b>
<b>Total costos</b>				<b>1812000</b>
Rendimiento (Kg/ha)	5140			
Precio kilo	512			
Ingresos bruto				2580280
Ingreso neto				768280
Rentabilidad real				100.4%
Relación B/C				1.42

**Cuadro 38. Análisis económico para el cultivo de Pimenton (ha) con el sistema de riego por exudación**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	6	Jornal	8000	48000
Deshierba	6	Jornal	8000	48000
Fertilización	6	Jornal	8000	48000
Aplicación de funguicidas	13	Jornal	8000	104000
Aplicación de insecticidas	15	Jornal	8000	120000
Cosecha	10	Jornal	8000	80000
<b>Insumos</b>				
Semilla	2	Kg.	80000	160000
Abono orgánico	200	Kg.	720	144000
Fertilizante Foliar				000000
Funguicidas				80000
Insecticidas				100000
<b>Subtotal</b>				<b>1012000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
<b>Costos del Sistema</b>				
Tubo geotextil exudante	7500	m.	1000	7500000
Cabezal de riego				280000
Tensiometros				190000
Accesorios				50000
<b>Subtotal</b>				<b>8420000</b>
<b>Total costos</b>				<b>9436000</b>
Rendimiento (kg/ha)	19900			
Precio kilo	665			
Ingresos bruto				13233500
Ingreso neto				3797500
Rentabilidad real				36.99%
Relación B/C				1.46

**Cuadro 39. Análisis económico para el cultivo de pimentón (ha) con el sistema de riego por aspersión liviana**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	6	Jornal	8000	48000
Deshierba	16	Jornal	8000	128000
Fertilización	14	Jornal	8000	112000
Aplicación de funguicidas	20	Jornal	8000	160000
Aplicación de insecticidas	22	Jornal	8000	172000
Cosecha	10	Jornal	8000	80000
<b>Insumos</b>				
Semilla	2	Kg	80000	160000
Abono orgánico	200	Kg	720	144000
Fertilizante Foliar				80000
Funguicidas				100000
Insecticidas				160000
<b>Subtotal</b>				<b>1312000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
<b>Costos del Sistema</b>				
Manguera bicolor	5	Rollos	34800	174000
Aspersores	4		30000	120000
Accesorios				20000
<b>Subtotal</b>				<b>714000</b>
<b>Total costos</b>				<b>2026000</b>
Rendimiento (kg/ha)	10760			
Precio kilo	650			
Ingresos bruto				6994000
Ingreso neto				4968000
Rentabilidad real				196.4%
Relación B/C				3.45

**Cuadro 40. Análisis económico para el cultivo de arveja (ha) con el sistema de riego por exudación**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	2	Jornal	8000	16000
Deshierba	10	Jornal	8000	80000
Fertilización	5	Jornal	8000	40000
Aplicación de funguicidas	8	Jornal	8000	64000
Aplicación de insecticidas	4	Jornal	8000	32000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
<b>Insumos</b>				
Semilla	12	Kg	8000	96000
Abono orgánico	100	Kg	720	72000
Fertilizante Foliar				48000
Funguicidas				80000
Insecticidas				100000
<b>Subtotal</b>				<b>690000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
<b>Costos del Sistema</b>				
Tubo geotextil exudante	7500	m.	1000	7500000
Cabezal de riego				280000
Tensiometros				190000
Accesorios				50000
<b>Subtotal</b>				<b>8420000</b>
<b>Total costos</b>				<b>9272000</b>
Rendimiento (kg/ha)	3450			
Precio kilo	850			
Ingresos bruto				2932500
Ingreso neto				-6339500
Rentabilidad real				-68.3%
Relación B/C				0.33

**Cuadro 41. Análisis económico para el cultivo de arveja (ha) con el sistema de riego por aspersion liviana**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	2	Jornal	8000	16000
Deshierba	16	Jornal	8000	128000
Fertilización	8	Jornal	8000	64000
Aplicación de funguicidas	14	Jornal	8000	112000
Aplicación de insecticidas	8	Jornal	8000	64000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
Insumos				
Semilla	12	Kg	8000	96000
Abono orgánico	100	Kg	720	72000
Fertilizante Foliar				48000
Funguicidas				100000
Insecticidas				160000
<b>Subtotal</b>				<b>1117600</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
Costos del Sistema				
Manguera bicolor	5	Rollos	34800	174000
Aspersores	4		30000	120000
Accesorios				20000
<b>Subtotal</b>				<b>714000</b>
<b>Total costos</b>				<b>1831600</b>
Rendimiento (kg/ha)	2300			
Precio kilo	850			
Ingresos bruto				1955000
Ingreso neto				123400
Rentabilidad real				6.7%
Relación B/C				1.06

**Cuadro 42. Análisis económico para el cultivo de cebolla (ha) con el sistema de riego por exudación**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	6	Jornal	8000	48000
Deshierba	9	Jornal	8000	72000
Fertilización	5	Jornal	8000	40000
Aplicación de funguicidas	8	Jornal	8000	64000
Aplicación de insecticidas	8	Jornal	8000	60000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
<b>Insumos</b>				
Semilla	3	Kg	80000	240000
Abono orgánico	1300	Kg	700	910000
Fertilizante Foliar				00000
Funguicidas				80000
Insecticidas				100000
<b>Sub-total</b>				<b>927000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
Costos del Sistema				
Tubo geotextil exudante	7500	m.	1000	7500000
Cabezal de riego				280000
Tensiometros				190000
Accesorios				50000
<b>Sub-total</b>				<b>8420000</b>
<b>Total costos</b>				<b>9347000</b>
Rendimiento (kg/ha)	27100			
Precio kilo	650			
Ingresos bruto				17615000
Ingreso neto				8268000
Rentabilidad real				88.4%
Relación B/C				1.88

**Cuadro 43. Análisis económico para el cultivo de cebolla (ha) con el sistema de riego por aspersion liviana**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	4	Jornal	8000	32000
Deshierba	16	Jornal	8000	128000
Fertilización	8	Jornal	8000	64000
Aplicación de funguicidas	14	Jornal	8000	112000
Aplicación de insecticidas	14	Jornal	8000	112000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
<b>Insumos</b>				
Semilla	3	Kg	2000	6000
Abono orgánico	100	Kg	720	72000
Fertilizante Foliar				48000
Funguicidas				100000
Insecticidas				160000
<b>Subtotal</b>				<b>1188000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
<b>Costos del Sistema</b>				
Manguera bicolor	5	Rollos	34800	174000
Aspersores	4		30000	120000
Accesorios				20000
<b>Subtotal</b>				<b>714000</b>
<b>Total costos</b>				<b>1902000</b>
Rendimiento (kg/ha)	18500			
Precio kilo	650			
Ingresos bruto				12025000
Ingreso neto				10123000
Rentabilidad real				532.8%
Relación B/C				6.32



**Cuadro 44. Análisis económico para el cultivo de zapallo (ha) con el sistema de riego por exudación**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>Costos directos</b>				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	4	Jornal	8000	16000
Deshierba	2	Jornal	8000	48000
Fertilización	6	Jornal	8000	24000
Aplicación de funguicidas	3	Jornal	8000	48000
Aplicación de insecticidas	6	Jornal	8000	24000
Cosecha	4	Jornal	8000	48000
<b>Insumos</b>				
Semilla	6	Kg	50000	50000
Abono orgánico	70	Kg	720	54000
Fertilizante Foliar				00000
Funguicidas				80000
Insecticidas				100000
<b>Sub-total</b>				<b>572000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
<b>Costos del Sistema</b>				
Tubo geotextil exudante	7500	m.	1000	7500000
Cabezal de riego				280000
Tensiometros				190000
Accesorios				50000
<b>Sub-total</b>				<b>8420000</b>
<b>Total costos</b>				<b>8992000</b>
Rendimiento (kg/ha)	29500			
Precio kilo	350			
Ingresos bruto				10325000
Ingreso neto				1333000
Rentabilidad real				14.8%
Relación B/C				1.14

**Cuadro 45. Análisis económico para el cultivo de zapallo (ha) con el sistema de riego por aspersion liviana**

Actividades	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Costos directos				
Preparación del suelo	1	Yunta	80000	80000
Siembra	2	Jornal	8000	16000
Deshierba	10	Jornal	8000	80000
Fertilización	5	Jornal	8000	40000
Aplicación de funguicidas	12	Jornal	8000	96000
Aplicación de insecticidas	10	Jornal	8000	80000
Cosecha	6	Jornal	8000	48000
Insumos				
Semilla	1	Kg	50000	50000
Abono orgánico	70	Kg	720	54000
Fertilizante Foliar				45000
Funguicidas				100000
Insecticidas				160000
<b>Subtotal</b>				<b>687000</b>
Costos indirectos				
Interés al K Invertido al 20%				400000
Costos del Sistema				
Manguera bicolor	5	Rollos	34800	174000
Aspersores	4		30000	120000
Accesorios				20000
<b>Subtotal</b>				<b>1401000</b>
<b>Total costos</b>				<b>1902000</b>
Rendimiento (kg/ha)	22300			
Precio kilo	350			
Ingresos bruto				7805000
Ingreso neto				6404000
Rentabilidad real				310.3%
Relación B/C				3.9

## CONCLUSIONES

El cultivo mas exigente en necesidades de agua, determinadas con el método del balance hídrico, fue el cultivo de habichuela con 288.1 mm, mientras que para maíz, pimentón, cebolla, arveja y zapallo fueron menores con 272.2, 258.58, 243.7, 243.7 y 206.5 mm, respectivamente. Los periodos más críticos de necesidades de agua fueron floración y formación de frutos.

El volumen de agua aplicado con el sistema de riego por exudación fue de 163.3 para maíz, 172.8 para habichuela y 155.1 m<sup>3</sup> para pimentón. Para el cultivo de arveja 136.2, cebolla 146.2 y zapallo 124 m<sup>3</sup>. En cambio los volúmenes de agua mediante el riego por aspersion fueron mayores, así: 395.1 m<sup>3</sup> para habichuela; 334.2 para maíz, 332.4 para pimentón; 320.5 m<sup>3</sup> para arveja; 368.4 m<sup>3</sup> para cebolla y 265 m<sup>3</sup> para zapallo.

El caudal aplicado a los cultivos por el sistema de riego por exudación varió entre 0.50 y 0.90 l/hora/ m lineal.

Con el sistema de riego por exudación se obtuvo una producción por cada metro cúbico para maíz 2.45 Kg, para habichuela de 3.14, para pimentón de 7.69 Kg, para arveja 1.51 Kg, cebolla 11.12 Kg y 14.28 Kg para zapallo. Estos valores son superiores a los reportados por la literatura técnica.

El ahorro de agua con el sistema de riego por exudación, comparado con el sistema de riego por aspersion fue de 58.7% para maíz, 48.3% para habichuela, 53.3% para pimentón, 57.5% para arveja, 59.2% para cebolla y 53.3% para zapallo.

Las producciones obtenidas con el sistema de riego por exudación fueron de 6.70 ton/ha para maíz, 8.47 t/ha para habichuela, 19.8 t/ha para pimentón, 3.45 t/ha para arveja, 27.1 t/ha para cebolla y 29.5 t/ha para zapallo. Con el sistema de riego por aspersion se obtuvieron producciones de 5.1 para maíz, 5.72 t/ha para habichuela, 10.7 para pimentón, 2.3 t/ha para arveja, 18.5 t/ha para cebolla y 22.3 t/ha para zapallo.

El impacto que genero el proyecto a raíz de las capacitaciones impartidas a los agricultores fue la constitución del grupo asociativo de productores del Patia que busca actualmente gestionar proyectos encaminados a satisfacer las necesidades de aplicación de riego en la región.

Con respecto a la socialización, el proyecto fue visitado por 1278 usuarios, siendo la mayoría de ellos pequeños agricultores del municipio de El Peñol y de regiones aledañas. Así mismo, visitaron la zona del proyecto, estudiantes de las facultades de ciencias agrícolas, de colegios agropecuarios, postgrados en ecología, técnicos de las UMATA y profesores universitarios, a demás de profesionales.

## **RECOMENDACIONES**

Comparar el riego por exudación con otros sistemas de riego como el riego por goteo.

Formular propuestas comunitarias para que el agricultor tenga acceso a nuevas tecnologías que al igual que el sistema de riego por exudación mejoren la productividad de sus cultivos y su calidad de vida.

## BIBLIOGRAFIA

+ALCALDIA MUNICIPAL DEL PEÑOL. Esquema de ordenamiento territorial. El Peñol, Nariño : 2000. 558 p.

AMEZQUITA, Edgar. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de agua y suelos en Turrialba. Costa Rica, 1992, 221 p. Tesis de grado (Magister). IICA-CATIE.

BURBANO ORJUELA, Hernán. El suelo una visión sobre sus componentes biogénicos. Pasto : Universidad de Nariño, 1989. 447p.

CADENA, Víctor y MUÑOZ, Andrés. Determinación de la cantidad óptima de agua aprovechable en los cultivos de sandía (*Citrullus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays*), pimentón (*Capsicum annuum*), maní (*Arachis hipogea*), bajo el sistema de riego por exudación en el corregimiento de Remolino, Nariño. San Juan de Pasto, Colombia, 2001. 78p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

CAICEDO, L. A. Horticultura. Palmira, Colombia : Universidad nacional. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1984. 110p.

CAVAZOS, T y RODRIGUEZ, O. Manual de prácticas de física de suelos. México : Trillas, 1998. 342p.

CORPORACION COLOMBIANA INTERNACIONAL. Producción de Pimentón en Colombia. En : Exótica; boletín de divulgación. Bogotá. Vol. 2. no. 3(Jul - Sep. 1999). P. 14 – 16.

CRIOLLO, H. Determinación de la madurez fisiológica y potencial de almacenamiento de semillas de zapallo (*Cucurbita moschata*) variedad Bolo verde. Palmira, 1998, 121 p. Tesis master. Universidad nacional de Colombia.

DEL AMOR, F. et al. Guía práctica para el riego y la fertilización de melón y zapallo. España: Publicación de la Caja Rural Central, 1984. 9 p.

Diagnostico foliar de la habichuela [online]. 2003. Available from internet: <URL:<http://www.geoties.com/lebr7/paprikacastellano.htm>>.

Fertirrigación. [www.horticom.com](http://www.horticom.com) / dom / informate / sitio agricola/fundamento/Fertirrigación. Htm 2002

DOOREMBOS, J. y KASSAM, A. M. Efectos del agua sobre los cultivos. Roma: FAO, 1990. 212 p.

ERAZO, D. y VALENCIA, C. Determinación de las necesidades de agua en los cultivos de frijol, melón y tomate, mediante el sistema de riego por exudación, en el municipio del Peñol, Nariño. Pasto, Colombia, 2002. 160 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Fertirrigación [online]. 2002. Available from internet : <[http://www.horticom.com/dom/informate/sitio\\_agricola/fundamente/Fertirrigación.Htm](http://www.horticom.com/dom/informate/sitio_agricola/fundamente/Fertirrigación.Htm)>

FORSYTHE, Warren. Manual de laboratorio de física de suelos. Turrialba, Costa Rica: IICA, 1985, 212 p.

GAVANDE, Sampat. Física de los suelos. México: Limusa – Wiley, 1972. 349 p.

GAVIRIA MUÑOZ, Pedro y VILLAREAL MUÑOZ, Edwin. Efecto de zanjas fértiles y siembra de abono verde sobre propiedades físicas y productivas de dos suelos de baja fertilidad del municipio de Pasto. Pasto, Colombia, 2003. 123p. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas

GUERRERO Wilton y USAMA Fernando. Lámina de agua aprovechable en los cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y melón (*Cucumis melo*), bajo el sistema de riego por exudación en el corregimiento del Remolino, Nariño. Pasto, Colombia, 2000, 118 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

GUROVICH, L. Fundamentos y diseño del sistema de riego. San José, Costa Rica: IICA, 1999. 433 p.

HAEFF, J.B. Diagnostico y evaluación de la producción de hortalizas en el municipio de Pasto. Pasto : ICA, 1982. 147 p.

HIGUITA, F. El cultivo de la cebolla. En : tierra, México, manual de hortalizas No 28, ICA, 1983. 287 p.

Importancia del cálculo del balance hídrico [online]. 2002. Available from internet : <<http://WWW.Etsia/dom/informate/sitioagricola/fundamente/Fertirrigación.Htm>>

INFORMATIVO AGROPECUARIO. Cultivo de frijol. Universidad Javeriana, Santafé de Bogotá: Javegraf, 1993. 18 p.

LEGARDA, Lucio. Determinación de la cantidad de agua aprovechable en algunos cultivos de clima medio, mediante el sistema de riego por exudación. En : Revista de ciencias agrícolas. Universidad de Nariño. Colombia 18: (2) 2001. 361 p.

LEGARDA, Lucio. Influencia de la succión máxima del agua y del espacio aéreo del suelo sobre la producción de la variedad "27 R" de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), 1972. 120 p. Tesis de grado (Magister). IICA.

LEGARDA, L. Las propiedades físicas y la productividad del suelo. En : Curso sobre diagnóstico-fertilidad e interpretación de análisis de suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Pasto. Colombia , 1988. p. 81-90.

LEGARDA, Lucio y MOSQUERA, Jairo. Parámetros de riego. En : Curso avanzado de riego. Distritos pequeña escala. Chachagüí, Nariño: Instituto Nacional de Adecuación de tierra (INAT), 1996. 31p.

LEGARDA, Lucio y PUENTES, Gerardo. Talleres de agroclimatología. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de ciencias agrícolas: Unigraf, 2001. 216 p.

LEGARDA, Lucio et al. El sistema de riego por exudación, una alternativa viable para la producción de los cultivos de clima cálido en regiones secas. Pasto, Nariño : Fajardo Impresiones, 2001. 51 p. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias agrícolas.

LEGARDA, Lucio et al. Técnicas de aplicación de riego agrícola. Pasto, Nariño. Universidad de Nariño. Facultad de ciencias agrícolas: Editorial universitaria, 2002. 135p.

LEGARDA, Lucio et al. Manejo agronómica de algunos cultivos de clima calido de la zona del Remolino (Nariño), mediante el sistema de riego por exudación. Pasto, Nariño: Universidad de Nariño, Facultad de ciencias agrícolas, 2002. 72p.

LOBO, M. y GIRALD. Manual de hortalizas: arveja. Colombia : ICA, 1992. p 245-251.

LORENTE HERRERA, Juan B. et al. Biblioteca de la agricultura. Barcelona : Idea Books, 1997. V. 3, 1502 p.

LUNA, Edgar. Economía agrícola. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, 1988. 296 p.

MONTOYA, L y ARAUJO, M. Fundamentos para la interpretación de suelos, plantas y aguas para riego . En: metodología para el análisis de plantas. México,

1990. p 287 – 304 .

MONSALVE, O. Manejo agronómico del cultivo de la arveja. Pasto, Colombia, C.I. Obonuco. 1992. p 55-58.

Necesidades de agua de los cultivos: 2002. Available from internet :<[www.elriego.com/dom/informate/sitioagricola/fundamentos.../necesidadesdeagua.htm](http://www.elriego.com/dom/informate/sitioagricola/fundamentos.../necesidadesdeagua.htm)>.

OJEDA, Luis. Evaluación de riegos por exudación en el cultivo de lechuga bajo cubierta, mediante el uso de tensiómetros. Pasto, Colombia, 1995, 95 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

PRIMAVESI, Ana. Manejo ecológico del suelo. 5ª ed. Buenos aires : el Ateneo, 1989. 499p.

Riego [online]. 2003. Available from internet : < <http://infoagro.com/elriego/tecnologia/fundamentos.../hidrico.htm>>.

Riego localizado [online]. Chile : 2003. Available from internet : < [http:// www.chileriego.com/elriego/tecnologia/cultivos/hidrico.htm](http://www.chileriego.com/elriego/tecnologia/cultivos/hidrico.htm)>.

ROSERO, Ivan. Balance hídrico. En curso avanzado de riego. Distritos pequeña escala. Chachagüí, Nariño: Instituto nacional de Adecuación de Tierras, 1996. 28 p.

SAÑUDO, B; CHECA, O. y ARTEAGA, G. Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas, Pasto : Sañudo, 1999. p. 98.

STEEL, Roberto y TORRIE, James. Bioestadística: Principios y procedimientos. Segunda edición. Traducida al español por Martínez R. México. McGraw Hill. 1996. 622p.

VERGARA, J. Manejo integral de cultivos en suelos bajo riego. Fusagasuga : CECIL, 1996. 153 p.

VILLARUEL, L. El cultivo de la habichuela. En : Revista ESSO agrícola. Bogotá. Vol. 34. no. 2(Ene – Jun. 1988). p. 18-25.



# **ANEXOS**

**ANEXO A. Análisis Físico Químico del Suelo de la vereda Guayabal, municipio del Peñol al inicio del ensayo diciembre 2002 y mayo 2003**

PH	6.6
Materia orgánica (%)	2.8
Fósforo aprovechable (ppm)	150
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 gr.)	25.6
Calcio de cambio (meq/100gr)	18.0
Magnesio de cambio (meq/100gr)	7.60
Potasio de cambio (meq/100gr)	1.11
Hierro (ppm)	40
Manganeso (ppm)	19.40
Cobre (ppm)	4.80
Zinc (ppm)	2.20
Boro (ppm)	0.40
Porosidad (%)	52.94
Densidad real (gr./cc)	2.65
Nitrógeno total (%)	0.14
Carbono orgánico (%)	1.61
Densidad aparente (gr/cc)	1.2
Arenas (%)	46.4
Arcillas (%)	23
Limos (%)	30.6
Grado textural	Franco Arcilloso
Humedad higroscópica (%)	3.1

**Fuente: Laboratorio de suelo de Universidad de Nariño.**

**ANEXO B. Valores de succión (centibares) y humedad volumétrica determinados por el tensiometro a dos profundidades en el suelo estudiado**

Día	Fecha	10 cm de profundidad		20 cm de profundidad	
		Succión Centibares	% Humedad volumétrica	Succión Centibares	% Humedad volumétrica
1	03-06-03	0	37.5	0	34
4	03-09-03	8	38.0	5	32.1
5	03-10-03	10	35.3	7	29.8
7	03-12-03	12	25.3	10	28.1
10	03-15-03	15	19.8	13	22.3
13	03-18-03	18	16.4	28	20.6
15	03-20-03	21	14.3	33	18.4
20	03-23-03	28	13.3	39	15.3
26	03-17-03	34	12.9	27	15
30	03-31-03	41	12.4	46	14.9
35	04-04-03	50	10.5	48	14.5
38	04-06-03	56	9.7	50	13.8
43	04-06-03	61	9.2	52	12.6

**ANEXO C. Infiltración del suelo de la vereda Guayabal, municipio del Peñol por el método de los anillos infiltrómetros**

<b>Tiempo acumulado (min)</b>	<b>Intervalo de t entre lecturas</b>	<b>Nivel del agua (cm)</b>	<b>Lamina infiltrada Intervalo t (min)</b>	<b>Lamina acumulada ( cm )</b>	<b>Velocidad de Infiltración cm/hora</b>
0.2	0.2	1.8	0		
0.5	0.7	2.5	1.8	1.8	108
0.7	1.4	3.2	1.6	3.4	60
1	2.4	3.8	1.6	5.0	40
1	3.4	4.5	1.4	6.4	33
1	4.4	5.3	1.3	7.7	27.6
1	5.4	6.8	1.3	9.0	23.0
1	6.4	8.2	1.2	10.2	20.5
1	7.4	9.5	1.2	11.4	18.0
1	8.4	10.6	1.0	12.4	17.3
1	9.4	11.6	1.0	13.4	15.6
1	10.4	13.3	1.3	14.7	13.3
1	11.4	15.8	0.9	15.6	12.3
3	14.4	17.3	0.8	16.4	10.7
3	17.4	18.9	0.8	17.2	8.5
3	20.4	20	1.2	18.4	7.8
5	25.4	21.3	1.5	19.9	7.2
5	30.4	22.1	1.5	21.4	5.5
6	36.4	23.8	1.7	23.1	4.7
10	46.4	25.2	1.6	24.7	4.1
10	56.4	26.1	1.5	26.2	3.2
10	66.4	29.3	1.3	27.5	2.7
30	96.4	30.5	1.8	29.3	2.5
20	116.4	32.1	1.7	31.0	2.0
30	146.4	33.7	2.0	33.0	1.7
30	176.4	35.1	2.0	35.0	1.5
30	206.4	36.7	1.9	36.9	1.2
60	266.4	38.5	2.5	39.4	1.0
		44.4	3.0	42.4	0.98

**ANEXO D. Valores mensuales de temperatura (°C) máxima y mínima de la vereda guayabal, municipio del Peñol – Nariño (años 2002 - 2003)**

<b>Meses Temperatura</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>X</b>
Máximas °C	24.3	25.6	26.3	26.2	25.4	23.7	23.5	24.2	24.0	23.7	23.4	24.4	23.3	
Mínimas °C	14.3	14.7	14.9	14.2	14.4	14.5	14.7	14.7	15.3	15.0	14.8	15.1	14.8	
Media °C	19.7	20.4	21.0	20.4	19.9	19.0	19.2	19.7	19.9	19.5	19.3	19.9	19.2	19.7

<b>Meses Temperatura</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>x</b>
Máximas °C	25.1	26.2	23.6	24.6	22.5	
Mínimas °C	17.5	18.4	14.2	14.0	14.1	
Media °C	21.4	23.8	22.0	21	20	21.6

**ANEXO E. Valores mensuales de evaporación de la vereda Guayabal municipio del Peñol, Nariño (años 2002 - 2003)**

<b>Mes</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Acum</b>	<b>x</b>
Total	134.9	156.4	188.2	169.1	160.6	123.1	122.9	137.6	105.8	114.2	122.1	127.6	122.7	1785.2	137.32
Promedio	4.3	15.5	4.6	4.48	4.99	4.0	3.24	4.19	3.76						4.4

<b>Mes</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Acum</b>	<b>X</b>
Total	138.8	142.3	135.1	148.2	122.4		686.8
Promedio	4.6	4.8	4.5	4.9	4.1		4.58

**ANEXO F. Valores diarios de precipitación (mm) de la vereda Guayabal municipio del Peñol – Nariño (años 2002 - 2003)**

Días	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	acm	X
1	0.0	0	0	0	0	4.6	0	0	0	0	0	0	1.3		
2	3.5	0	0	2.9	0	25.8	0	0	.6	0	0	0	7.9		
3	34.5	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	4.5		
4	3.6	.7	0	0	0	5.2	.4	0	0	0	0	0	15.7		
5	25.0	9.7	0	0	0	4.2	6.9	0	0	0	0	10.3	0		
6	3.6	.0	0	0	0	1.6	6.8	0	0	0	0	0	0		
7	.2	.0	0	0	0	.4	0.5	0	0	0	.3	.5	0		
8	4.1	.0	0	0	0	22.2	7.0	0	2.7	0	20.0	0	0		
9	14.5	.0	0	0	0	16.3	.0	0	2.6	0	1.6	5.0	2.1		
10	4.2	.3	0	0	0	.3	.7	0	0	0	13.0	4.6	0		
11	0.3	11.6	0	0	0	.0	.7	0	5.8	.3	0.6	0	0		
12	0.0	.0	0	0	0	8.7	0	0	0	0	22.6	5.3	.8		
13	1.6	.0	0	0	0	.3	0	0	0	20	11.5	0	2.1		
14	.0	0	0	.6	0	.0	21.0	0	9.1	6.3	6.9	0	1.4		
15	.0	.8	0	0	2.5	.0	16.1	.3	1.3	38.6	9.7	00	3.6		
16	.0	.0	0	0	0	.2	3.7	0	2.1	25	0	1.8	2.0		
17	.0	.0	0	0	2.7	0	10.0	0	1.4	0	7.1	18.3	13.5		
18	.0	.0	0	4.0	.0	1.6	.3	11.2	3.1	0	13.8	3.5	12.4		
19	.0	.0	0	0	.5	0	5.3	4.2	6.2	0	6.5	.6	4.5		
20	.0	.0	0	0	32.6	0	11.0	0	.3	2.6	0	0	0		
21	.0	.0	0	0	31	0	0	0	.0	20.3	33.0	6.8	.9		
22	.0	.0	0	0	31.0	0	0	3.9	0	0	0	0	.6		
23	.0	.7	0	0	29.7	0	0	7.3	0	10.4	5.8	0	.4		
24	.0	.4	0	.3	14.8	0	0	0	0	0	9.0	0	0		
25	.0	.0	0	30.0	8.6	0	0	0	5.0	43.5	.3	6.2	0		
26	.0	.0	0	.3	14.3	0	0	.4	1.1	6.7	1.8	0	0		
27	.0	.0	0	2.8	5.5	0	0	0	18.1	0	0.0	0	0		
28	.0	.0	13.2	0	13.9	0	.6	0	0	1.6	.6	0	0		
29	.0	.0	4.2	0	1.9	1.6	0	0		0	2.1	0	0		
30	.0	.2	1.0	0	8.6	0	0	6.6		0		0	0		
31		.0	0		8.2		0	1.3		0		0			
Tota	130	24.1	17.7	37.8	177.4	98.6	91	48.2	58.8	175	165	62.9	73.7	1030	85
X	3.32	0.78	0.59	1.26	5.72	3.28	2.93	1.55	1.89	5.65	5.30	2.02	2.45		

**ANEXO G. Valores mensuales de humedad relativa (%) de la vereda Guayabal, municipio del Peñol, Nariño (años 2002 - 2003)**

Mes	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	X
Medios	75	72.1	64.1	70	75	80	83	77.3	79.1	80.1	83.1	81.1	80.1	76.92

Mes	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	x
Medios	59	68	64	61	62	62.8



**ANEXO H. Valores totales mensuales de precipitación (mm) de la estación pluviométrica del Peñol (Nariño) de enero a diciembre de 1990-2003**

MESES																		
AÑOS	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio		
	Total	No. días de lluvia	Max. 24 hrs	Total	No. Días de lluvia	Max. 24 hrs	Total	No. días de lluvia	Max. 24 hrs	Total	No. días de lluvia	Max. 24 hrs	Total	No. días de lluvia	Max. 24 hrs	Total	No. días de lluvia	Max. 24 hrs
1990	58.7	19	25.6	127.2	19	21.1	34	7	11.4	134.9	16	26.2	7	50.3	17.7	44.8	6	17.4
1991	97.7	11	34.3	41.3	6	21.2	161.9	20	30.9	64.2	14	16.1	16	142.8	37.1	37.2	10	21.6
1992	17.1	5	12.5	28.7	7	9.9	19.3	9	8.2	66.5	8	19.3	13	84.6	22.5	30.6	5	11.7
1993	102.7	11	41.1	128	13	33.7	197.6	19	45.8	198.6	19	25.2	20	93.9	23.8	11.2	6	3.4
1994	139.1	13	44.9	33	9	8.4	115.7	12	38.5	202.8	17	24.2	15	115.7	24.9	15.6	6	7.7
1995	27.5	8	6.3	63.8	4	35.5	68.7	12	20.8	164.1	19	43.6	15	185.2	74.5	132	12	65.8
1996	104.3	16	21.1	44.1	11	12.1	130.8	16	25.3	180.8	18	47.7	23	174.7	30.8	71.7	17	20.5
1997	214.1	26	37.4	23	9	8.6	88.5	12	16.2	88.3	13	19.4	11	53.6	9.5	133.1	10	50.2
1998	8.7	4	4.9	51	7	23.9	82.6	10	28.2	91.2	19	15.7	15	167	29.4	20.8	7	6.9
1999	21.9	6	12.6	86	4	3.4	163.9	17	66.5	123	19	24.3	24	191	32.2	196	26	36.2
2000	113.1	22	18.8	84.4	19	14.6	122.8	24	24.2	112.7	22	28.4	28	236	30.5	84.9	14	21.5
2001	21	7	7.1	0	0	0	112.6	16	32.3	31.2	7	14.5	19	214.9	29.3	167.4	27	32
2002	70.6	13	19.6	35.5	3	22.2	132	15	75	225.4	26	38.4	12	70.5	20	103.1	11	39.5
2003	38.2	8	11.2	59.4	14	18.1	134.8	11	43.5	166.5	19	33	11	62.9	18.3	73.7	16	15.7
	76.6			53.2			111.17			131.87						80.08		

**ANEXO I. Valores totales mensuales de precipitación (mm) de la estación pluviométrica del Peñol (Nariño) de julio a diciembre de 1990-2003**

AÑOS	MESES																	
	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio		
	Total	No. dias de lluvia	Max 24 horas	Total	No. dias de lluvia	Max 24 horas	Total	dias lluvia	Max 24 horas	Total	No. dias lluvia	Max 24 horas	Total	dias de lluvia	Max 24 horas	Total	dias lluvia	Max 24 horas
1990	20.1	6	10.3	29.1	3	27.6	14.7	3	7.7	199.7	19	29.3	28.2	8	9.5	99.1	10	32
1991	32.2	8	12.6	7.7	3	5.3	112.3	15	46.2	21.6	4	8.2	48.5	15	8.1	78.6	14	17.5
1992	11.6	4	9.4	19.3	4	14.9	137.4	12	33.7	86.1	11	26.2	104.2	16	27.2	112.9	15	20.3
1993	16.1	7	4.5	8.6	5	5.3	36..1	7	17.9	108.4	8	37.2	265.4	22	53.9	120	14	24.9
1994	13	3	5.6	2.9	1	2.9	24	5	10.7	116.1	14	25.2	106	19	27.5	86.7	14	23.4
1995	64.1	16	12.4	45.2	9	22.4	14.9	2	10.6	181	15	48.1	207.1	22	39.5	64.5	15	14.8
1996	47.9	5	32.7	18.8	5	10.2	40.9	6	16.6	108.6	22	19.6	93.9	13	31.8	133.7	16	27.9
1997	1.13	1.3	1.13	0	0	0	61.4	6	50.8	108.4	14	21.3	109.8	22	23.7	25.4	5	19.2
1998	24.4	10	5.6	28.2	7	12.3	54.5	11	20.3	80.6	16	19.2	150.2	25	14.6	61	16	17.8
1999	215.4	23	.31.6	260	23	28.7	96.8	16	25.3	142.5	21	26.1	67.7	16	10.2	133.3	22	68.9
2000	32.3	9	23.5	15.04	7	7.8	101.9	20	31.1	98.9	10	45.8	56.9	12	19.1	90.6	16	28.7
2001	58.8	15	11.2	70.9	8	36.6	50.7	15	9.1	97.4	11	8.3	99.7	15	28	20	10	5.9
2002	24.4	8	11.6	18.4	3	13.2	40.8	7	30.0	117.7	15	32.6	95.6	15	25.8	91	15	21.0
	43.13			40.27			62.9			112.4			113.18					

**ANEXO J. Valores totales de precipitación anual (mm) de la estación pluviométrica del Peñol (Nariño) enero a diciembre de 1990-2003**

	AÑOS													
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Total lluvia	840.8	866	718.3	1286.6	980.6	1216.3	1150.2	906.7	820.2	1621.6	1149.9	874.6	238.1	535.5
Nº días lluvia	113	136	109	151	128	149	168	127	147	217	203	150	31	79
Max 24 hora	32	46.2	33.7	53.9	44.9	74.5	47.7	50.8	29.4	68.9	45.8	36.6	75	43.5

### ANEXO K. Calculo del balance hidrico agricola a nivel decadal del maiz

ESTACION: *El Peñol-Apto Antonio Nariño* f.v.a.a 1.9 mm/c  
m

CULTIVO: *MAIZ* P.R 50 cm

CA: 95 mm

	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PRECIP. 80%	5.80	13.90	0.50	6.00	5.00	0.50	4.40	7.20	8.90	11.10	4.20	9.10	11.00	2.40	2.80	0.70	1.50	0.00
ETP mm/deca	28.30	26.20	32.50	29.70	31.60	21.00	29.60	27.10	29.80	28.00	29.30	27.40	24.80	32.30	29.90	29.70	29.90	31.20
KC	0.22	0.45	0.60	0.75	0.83	0.91	1.00	0.92	0.85	0.72	0.22	0.45	0.60	0.75	0.83	0.91	1.00	0.92
UC	6.23	11.79	19.50	22.28	26.23	19.11	29.60	24.93	25.33	20.16	6.45	12.33	14.88	24.23	24.82	27.03	29.90	28.70
PERD.ALMC.	0.43	0.00	19.00	13.02	14.07	9.58	10.43	5.39	4.06	1.85	0.42	0.58	0.68	3.65	2.84	2.61	2.03	1.44
ALMAC.	94.57	95.00	76.00	62.98	48.91	39.33	28.89	23.50	19.44	17.58	17.17	16.58	15.91	12.25	9.41	6.80	4.77	3.33
E.T.	6.23	11.79	19.50	19.02	19.07	10.08	14.83	12.59	12.96	12.95	4.62	9.68	11.68	6.05	5.64	3.31	3.53	1.44
DEFICIT	0.00	0.00	0.00	3.26	7.15	9.03	14.77	12.34	12.37	7.21	1.83	2.65	3.20	18.17	19.18	23.72	26.37	27.26
EXCESOS	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/ETP)	0.22	0.45	0.60	0.64	0.60	0.48	0.50	0.46	0.44	0.46	0.16	0.35	0.47	0.19	0.19	0.11	0.12	0.05

	JULIO			AGO			SEPTIEMBRE			OCTU			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PRECIP. 80%	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00	0.90	5.50	3.50	5.60	12.90	5.00	6.30	3.80	6.20
ETP mm/deca	35.70	38.00	40.20	41.60	42.50	48.70	35.20	37.70	29.50	33.80	33.60	33.90	30.60	30.00	25.20	27.80	26.30	29.20
KC	0.85	0.72	0.22	0.45	0.60	0.75	0.83	0.91	1.00	0.92	0.85	0.72	0.22	0.45	0.60	0.75	0.83	0.91
UC	30.35	27.36	8.84	18.72	25.50	36.53	29.22	34.31	29.50	31.10	28.56	24.41	6.73	13.50	15.12	20.85	21.83	26.57
PERD.ALMC.	1.06	0.65	0.15	0.29	0.32	0.33	0.16	0.13	0.04	0.06	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
ALMACENAM	2.27	1.62	1.47	1.18	0.86	0.53	0.37	0.23	0.19	0.13	0.10	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
E.T.	1.26	0.65	0.15	0.29	0.32	0.33	0.16	0.13	13.04	0.96	5.53	3.52	5.60	12.90	5.01	6.31	3.81	6.21
DEFICIT	29.09	26.71	8.69	18.43	25.18	36.19	29.05	34.17	16.46	30.13	23.03	20.89	1.13	0.60	10.11	14.54	18.02	20.36
EXCESOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/ETP)	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.44	0.03	0.16	0.10	0.18	0.43	0.20	0.23	0.14	0.21

**ESTIMACION DE CAUDALES:**

Meses mayor necesidad de riego: Junio ,Julio

Necesidad neta de riego: (NRn) 2.281 Mm/día

Necesidad bruta de riego: (NRb) 2.534 Mm/día

Porcentaje de reposicion: (%R) 30 %

Lamina neta de reposicion: (Ln) 28.5 Mm

Lami. Bruta repos(Lb): 31.67 Mm

Frecu.de Riego (F): 12.5 Días

**AREA DE RIEGO  
CONOCIDA:**

Area: 0.06 Has.

Jorn. Riego: 18 horas

Caudal/Ha(Q): 0.39 Lt/Seg.Ha.

Caudal Total:  
(Qt) 0.02 Lt/Seg.

## ANEXO L. Càlculo del balance agrìcola a nivel decadal de la habichuela

ESTACION: *Apto Antonio Nariño* f.v.a.a 1.9 mm/cm  
 CULTIVO: *Habichuela* P.R 25 cm  
 CA: 47.5 Mm

	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PRECIP. 75%	12.10	13.20	1.50	8.80	8.90	2.70	4.00	14.20	12.30	17.90	7.00	18.80	16.80	7.30	19.20	5.40	2.50	0.40
ETP mm/deca	29.80	29.80	29.80	28.40	28.40	28.40	31.10	31.10	31.10	28.90	28.90	28.90	30.20	30.20	30.20	32.50	32.50	32.50
KC	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60
UC	19.37	19.37	19.37	18.46	18.46	18.46	20.22	20.22	20.22	18.79	18.79	18.79	19.63	19.63	18.12	19.50	19.50	19.50
PERD.ALMC.	7.27	5.23	13.17	4.44	3.50	4.61	3.17	0.77	0.89	0.08	1.08	0.00	0.20	0.81	0.00	1.00	0.85	0.61
ALMAC.	40.23	35.00	21.84	17.39	13.89	9.28	6.11	5.34	4.45	4.37	3.28	3.30	3.10	2.30	3.38	2.37	1.52	0.91
E.T.	19.37	18.43	14.67	13.24	12.40	7.31	7.17	14.97	13.19	17.98	8.08	18.79	17.00	8.11	18.12	6.40	3.35	1.01
DEFICIT	0.00	0.94	4.70	5.22	6.06	11.15	13.05	5.24	7.03	0.80	10.70	0.00	2.63	11.52	0.00	13.10	16.15	18.49
EXCESOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/ETP)	0.65	0.62	0.49	0.47	0.44	0.26	0.23	0.48	0.42	0.62	0.28	0.65	0.56	0.27	0.60	0.20	0.10	0.03

	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PRECIP. 75%	0.70	0.50	0.00	0.50	0.00	0.20	0.60	0.70	11.10	8.20	6.50	27.40	14.00	28.30	23.90	12.50	23.30	23.00
ETP mm/deca	40.40	40.40	40.40	42.20	42.20	42.20	37.20	37.20	37.20	33.40	33.40	33.40	28.60	28.60	28.60	28.10	28.10	28.10
KC	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.30	0.40	0.40	0.65	0.65	0.75	0.95	0.95	1.05	0.90	0.95	0.95
UC	24.24	24.24	24.24	25.32	25.32	25.32	11.16	14.88	14.88	21.71	21.71	25.05	27.17	27.17	30.03	25.29	26.70	26.70
PERD.ALMC.	0.45	0.23	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.37	0.66	0.13	0.13
ALMACENAM.	0.46	0.23	0.11	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	2.35	1.70	2.83	2.47	1.80	1.67	1.54
E.T.	1.15	0.73	0.12	0.56	0.03	0.21	0.60	0.70	11.10	8.20	6.50	25.05	14.65	27.17	24.27	13.16	23.43	23.13
DEFICIT	23.09	23.51	24.12	24.76	25.29	25.11	10.56	14.18	3.78	13.51	15.21	0.00	12.52	0.00	5.76	12.13	3.27	3.56
EXCESOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/ETP)	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.30	0.25	0.19	0.75	0.51	0.95	0.85	0.47	0.83	0.82

Prof. Radicular (m): 0.25  
ETP media (mm/día): 3.21  
Capacidad de campo (%): 34.18  
Punto de marchites (%): 17.4  
Infiltrac.bás (cm/hora): 29.2

ESTIMACION DE CAUDALES:

Meses mayor necesidad de riego: Junio, julio, agosto  
Necesidad neta de riego: (NRn) 2.105 mm/día  
Necesidad bruta de riego: (NRb) 2.631 mm/día  
Porcentaje de reposicion: (%R) 30 %  
Lamina neta de reposicion: (Ln) 14.25 mm  
Lami. Bruta repos(Lb): 17.81 mm  
Frecu.de Riego (F): 6.8 días  
Tiempo de Riego(t):

AREA DE RIEGO CONOCIDA:

Area: 0.06 Has.  
Jorn. Riego: 18 horas  
Caudal/Ha(Q): 0.41 Lt/Seg.Ha.  
Caudal Total: (Qt) 0.02 Lt/Seg.

**ANEXO M. Cálculo del balance agrícola a nivel decadal del pimenton.**

**ESTACION:** *Apto Antonio Nariño*      **f.v.a.a**    1.9 mm/c

m

**CULTIVO:** *Pimentón*                      **P.R**        30 cm

**CA:**        57      mm

	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PRECIP. 75%	12.10	13.20	1.50	8.80	8.90	2.70	4.00	14.20	12.30	17.90	7.00	18.80	16.80	7.30	19.20	5.40	2.50	0.40
ETP	29.80	29.80	29.80	28.40	28.40	28.40	31.10	31.10	31.10	28.90	28.90	28.90	30.20	30.20	30.20	32.50	32.50	32.50
mm/deca																		
KC	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60
UC	19.37	19.37	19.37	18.46	18.46	18.46	20.22	20.22	20.22	18.79	18.79	18.79	19.63	19.63	19.63	19.50	19.50	19.50
PERD.ALMC.	7.27	5.38	13.90	5.16	4.24	5.82	4.33	1.15	1.35	0.13	1.71	0.00	0.33	1.35	0.04	1.20	1.09	0.86
ALMAC.	49.73	44.35	30.44	25.28	21.04	15.23	10.89	9.74	8.39	8.26	6.55	6.57	6.24	4.89	4.85	3.65	2.56	1.70
E.T.	19.37	18.58	15.40	13.96	13.14	8.52	8.33	15.35	13.65	18.03	8.71	18.79	17.13	8.65	19.24	6.60	3.59	1.26
DÉFICIT	0.00	0.79	3.97	4.50	5.32	9.94	11.88	4.87	6.56	0.75	10.08	0.00	2.50	10.98	0.39	12.90	15.91	18.24
EXCESOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/ETP)	0.65	0.62	0.52	0.49	0.46	0.30	0.27	0.49	0.44	0.62	0.30	0.65	0.57	0.29	0.64	0.20	0.11	0.04



	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PRECIP. 75%	0.70	0.50	0.00	0.50	0.00	0.20	0.60	0.70	11.10	8.20	6.50	27.40	14.00	28.30	23.90	12.50	23.30	23.00
ETP	40.40	40.40	40.40	42.20	42.20	42.20	37.20	37.20	37.20	33.40	33.40	33.40	28.60	28.60	28.60	28.10	28.10	28.10
mm/deca																		
KC	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
UC	24.24	24.24	24.24	25.32	25.32	25.32	22.32	22.32	22.32	20.04	20.04	20.04	17.16	17.16	17.16	16.86	16.86	16.86
PERD.ALMC.	0.70	0.42	0.25	0.15	0.08	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00
ALMACENA	1.00	0.58	0.34	0.19	0.11	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	7.37	6.96	18.10	24.84	22.94	29.38	35.52
M.																		
E.T.	1.40	0.92	0.25	0.65	0.08	0.25	0.62	0.71	11.10	8.20	6.50	20.04	14.41	17.16	17.16	14.40	16.86	16.86
DEFICIT	22.84	23.32	23.99	24.67	25.24	25.07	21.70	21.61	11.22	11.84	13.54	0.00	2.75	0.00	0.00	2.46	0.00	0.00
EXCESOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/ETP)	0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.30	0.25	0.19	0.60	0.50	0.60	0.60	0.51	0.60	0.60

Prof. Radicular (m): 0.3  
ETP media (mm/día): 3.21  
Capacidad de campo (%): 34.18  
Punto de marchites (%): 17.4  
Infiltrac.bás (cm/hora): 29.2

ESTIMACION DE CAUDALES:

Meses mayor necesidad de riego: Junio, julio, agosto, septiembre.  
Necesidad neta de riego: (NRn) 1.863 mm/día  
Necesidad bruta de riego: (NRb) 2.329 mm/día  
Porcentaje de reposición: (%R) 30 %  
Lamina neta de reposición: (Ln) 17.1 mm  
Lami. Bruta repos(Lb): 21.38 mm  
Frecu.de Riego (F): 9.2 días  
Tiempo de Riego(t):

AREA DE RIEGO CONOCIDA:

Area: 90 Has.  
Jorn. Riego: 18 horas  
Caudal/Ha(Q): 0.36 Lt/Seg.Ha.  
Caudal Total: 32.35 Lt/Seg.  
(Qt)

## ANEXO N. Cálculo del Balance Hídrico Agrícola a nivel decadal para el cultivo de arveja

Estacion: El Peñol-Apto Antonio Nariño

Fraccion volumetrica de agua aprovechable:

1.9 mm/cm

Cultivo: Arveja

Profundidad radicular:

18 cm

Capacidad de almacenamiento de agua:

34.2 mm

	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Precip. 80%	5.80	13.90	0.50	6.00	5.00	0.50	4.40	7.20	8.90	11.10	4.20	9.10	11.00	2.40	2.80	0.70	1.50	0.00
ETP mm/deca	28.30	26.20	32.50	29.70	31.60	21.00	29.60	27.10	29.80	28.00	29.30	27.40	24.80	32.30	29.90	29.70	29.90	31.20
Kc	0.20	0.40	0.55	0.70	0.82	0.94	1.05	0.88	0.70	0.50	0.30	0.20	0.40	0.55	0.70	0.82	0.94	1.05
Uc	5.66	10.48	17.88	20.79	25.91	19.74	31.08	23.85	20.86	14.00	8.79	5.48	9.92	17.77	20.93	24.35	28.11	32.76
Perd. Almac.	0.00	0.00	17.38	7.28	5.84	2.09	1.27	0.17	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	2.15	1.40	0.86	0.30	0.08
Almacenamiento	34.20	34.20	16.83	9.55	3.71	1.62	0.36	0.18	0.12	0.11	0.09	3.71	4.79	2.64	1.24	0.38	0.08	0.00
E.T.	5.66	10.48	17.88	13.28	10.84	2.59	5.67	7.37	8.96	11.11	4.21	5.48	9.92	4.55	4.20	1.56	1.80	0.08
Deficit	0.00	0.00	0.00	7.51	15.07	17.15	25.41	16.47	11.90	2.89	4.58	0.00	0.00	13.21	16.73	22.80	26.31	32.68
Excesos	0.14	3.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/UC)	1.00	1.00	1.00	0.64	0.42	0.13	0.18	0.31	0.43	0.79	0.48	1.00	1.00	0.26	0.20	0.06	0.06	0.00

	Julio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Precip. 80%	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00	0.90	5.50	3.50	5.60	12.90	5.00	6.30	3.80	6.20
ETP mm/deca	35.70	38.00	40.20	41.60	42.50	48.70	35.20	37.70	29.50	33.80	33.60	33.90	30.60	30.00	25.20	27.80	26.30	29.20
Kc	0.88	0.70	0.50	0.30	0.20	0.40	0.55	0.70	0.82	0.94	1.05	0.88	0.70	0.50	0.30	0.20	0.40	0.55
Uc	31.42	26.60	20.10	12.48	8.50	19.48	19.36	26.39	24.19	31.77	35.28	29.83	21.42	15.00	7.56	5.56	10.52	16.06
Perd. Almac.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.17
Almacenamiento	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.59	0.42
E.T.	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00	0.90	5.50	3.50	5.60	12.90	5.00	5.56	3.95	6.37
Deficit	31.21	26.60	20.10	12.48	8.50	19.48	19.36	26.39	11.19	30.87	29.78	26.33	15.82	2.10	2.56	0.00	6.57	9.69
Excesos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/UC)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.03	0.16	0.12	0.26	0.86	0.66	1.00	0.38	0.40

## ESTIMACIÓN DE CAUDAL

Meses de mayor necesidad de riego

Necesidad neta de riego (NRN)	1.262	mm/día
Necesidad bruta de riego (NRb)	1.403	mm/día
Porcentaje de reposición (%R)	30	%
Lamina neta de reposición (Ln)	10.26	mm
Lámina bruta reposición (Lb)	11.4	mm

**ANEXO O. Cálculo del balance hídrico agrícola a nivel decadal del zapallo.**

	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
ESTACION:	Apto Antonio Nariño-El Peñol			f.v.a.a			1.9 mm/cm												
CULTIVO:	Zapallo			P.R			40 cm												
CA:	76 mm																		
PRECIP. 75%	12.10	13.20	1.50	8.80	8.90	2.70	4.00	14.20	12.30	17.90	7.00	18.80	16.80	7.30	19.20	5.40	2.50	0.40	
ETP	29.80	29.80	29.80	28.40	28.40	28.40	31.10	31.10	31.10	28.90	28.90	28.90	30.20	30.20	30.20	32.50	32.50	32.50	
mm/deca																			
KC	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	
UC	19.37	19.37	19.37	18.46	18.46	18.46	20.22	20.22	20.22	18.79	18.79	18.79	19.63	19.63	19.63	19.50	19.50	19.50	
PERD.ALMC.	7.27	5.58	14.85	6.14	5.30	7.64	6.23	1.82	2.20	0.22	2.91	0.00	0.59	2.48	0.07	2.36	2.32	2.02	
ALMAC.	68.73	63.15	48.30	42.16	36.86	29.22	22.98	21.16	18.96	18.74	15.83	15.85	15.26	12.78	12.71	10.35	8.04	6.02	
E.T.	19.37	18.78	16.35	14.94	14.20	10.34	10.23	16.02	14.50	18.12	9.91	18.79	17.39	9.78	19.27	7.76	4.82	2.42	
DEFICIT	0.00	0.59	3.02	3.52	4.26	8.12	9.98	4.20	5.71	0.66	8.88	0.00	2.24	9.85	0.36	11.74	14.68	17.08	
EXCESOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
R(ET/ETP)	0.65	0.63	0.55	0.53	0.50	0.36	0.33	0.52	0.47	0.63	0.34	0.65	0.58	0.32	0.64	0.24	0.15	0.07	

	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PRECIP. 75%	0.70	0.50	0.00	0.50	0.00	0.20	0.60	0.70	11.10	8.20	6.50	27.40	14.00	28.30	23.90	12.50	23.30	23.00
ETP mm/deca	40.40	40.40	40.40	42.20	42.20	42.20	37.20	37.20	37.20	33.40	33.40	33.40	28.60	28.60	28.60	28.10	28.10	28.10
KC	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
UC	24.24	24.24	24.24	25.32	25.32	25.32	22.32	22.32	22.32	21.71	21.71	21.71	18.59	18.59	18.59	18.27	18.27	18.27
PERD.ALMC.	1.86	1.30	0.91	0.64	0.44	0.29	0.17	0.12	0.04	0.05	0.04	0.00	0.35	0.00	0.00	1.56	0.00	0.00
ALMACENA M.	4.15	2.86	1.94	1.31	0.87	0.58	0.42	0.30	0.25	0.21	0.17	5.86	5.50	15.21	20.52	18.97	24.00	28.74
E.T.	2.56	1.80	0.91	1.14	0.44	0.49	0.77	0.82	11.14	8.25	6.54	21.71	14.35	18.59	18.59	14.06	18.27	18.27
DEFICIT	21.68	22.44	23.33	24.18	24.88	24.83	21.55	21.50	11.18	13.46	15.17	0.00	4.24	0.00	0.00	4.21	0.00	0.00
EXCESOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R(ET/ETP)	0.06	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.30	0.25	0.20	0.65	0.50	0.65	0.65	0.50	0.65	0.65

Prof. Radicular (m):	0.4	ESTIMACION DE CAUDALES:	
ETP media (mm/día):	3.21	Meses mayor necesidad de riego:	Junio, julio, agosto, septiembre.
Capacidad de campo (%):	34.18	Necesidad neta de riego: (NRn)	1.992 mm/día
Punto de marchites (%):	17.4	Necesidad bruta de riego: (NRb)	2.49 mm/día
Infiltrac.bás (cm/hora):	29.2	Porcentaje de reposicion: (%R)	30 %
		Lamina neta de reposicion: (Ln)	22.8 mm
		Lami. bruta repos(Lb):	28.5 mm
		Frecu.de Riego (F):	11.4 días
		Tiempo de Riego(t):	
		AREA DE RIEGO CONOCIDA:	
		Area:	90 Has.
		Jorn. Riego:	18 horas
		Caudal/Ha(Q):	0.38 Lt/Seg.Ha.
		Caudal Total: (Qt)	34.59 Lt/Seg.

**ANEXO P. Valores de tensión usada en los cultivos estudiados con respecto a otros proyectos similares**

<b>Cultivo</b>	<b>Tensión del agua del suelo (Centibares)</b>	<b>Tensión del agua en el suelo según referencia</b>
Maíz	60 – 70	40-60 Doorembos y Kassam (1990)
Pimentón	40 – 50	35-40 Taylor (1965)
Zapallo	60 – 70	35-70 Vergara (1996)
Cebolla	45 – 65	35-70 Fedecafe (1995)
Arveja	50 – 60	55-65 Vergara (1996)
Habichuela	55 – 65	Legarda 30-45 (1972)

**ANEXO Q. Participantes de la socialización del proyecto a través de días de campo, seminario, charlas y talleres.**

FECHA	NUMERO	PARTICIPANTES	PROCEDENCIA
19-06-02	38	Estudiantes 4º sem. Ing. Agroindustrial	Universidad de Nariño
26-06-02	42	Estudiantes 5º sem. Ing. Agronómica	Universidad de Nariño
14-07-02	42	Agricultores Vereda La Toma	Municipio del Peñol
18-07-02	55	Agricultores Vereda Altamira	Municipio del Peñol
28-07-02	20	Estudiantes 4º sem. Ing. Forestal	UNAD
3-08-02	60	Profesores FACIA-Agricultores vereda San francisco	Municipio del Peñol
18-08-02	16	Estudiantes postgrado en ecología	Universidad de Nariño
5-09-02	42	Estudiantes 5º sem. En Ing. Agronómica	Universidad de Nariño
10-09-02	20	Técnicos UMATA	Varios municipios del departamento
13-09-02	40	Estudiantes grados 10 y 11 colegio gropecuario	Municipio del Tambo
15-02-03	60	Agricultores vereda Las Cochas	Municipio del Peñol
20-02-03	45	Agricultores	Municipio de Buesaco
25-02-03	65	Agricultores Vereda Carrizal	Municipio de Sotomayor
2-03-03	70	Agricultores vereda Papao	Municipio del Peñol
6-04-03	60	Agricultores vereda cafelina	Municipio del Peñol
10-09-03	32	Estudiantes 8º semestre Ing. Agroforestal	Universidad de Nariño
19-09-03	28	Agricultores vereda Alto Peñol	Municipio del Peñol
21-09-03	28	Agricultores	Municipio del tambo
23-09-03	42	Estudiantes 6º sem. Ing. Agronómica	Universidad de nariño
26-09-03	42	Agricultores	Municipio de Sotomayor
3-10-03	28	Estudiantes grados 10 y 11 colegio agropecuario	Municipio del Peñol
6-10-03	36	Estudiantes grados 10 y 11 de colegio	Municipio del Peñol
20-10-03	51	Agricultores vereda Torrecilla	Municipio del Peñol
29-10-03	46	Agricultores	Municipio de Policarpo
5-10-03	150	Estudiantes grados 1º a 5º de primaria Escuela Nueva	Municipio del Peñol
24-11-03	120	Socialización de resultados PRONATTA	Agricultores técnicos, estudiantes UMATTAS y profesores
<b>TOTAL</b>	<b>1.278</b>		