

**“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE SEIS GENOTIPOS DE
PAPA (*Solanum spp.*) CON TOLERANCIA AL
DÉFICIT HÍDRICO.”**

ROBINSON FABRICIO PEÑA MURILLO.

TESIS

**PRESENTANDO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO.**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES.

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA.

RIOBAMBA – ECUADOR.

2013

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE: El trabajo de investigación titulado: **“EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE SEIS GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum spp.*) CON TOLERANCIA AL DEFICIT HÍDRICO”** De responsabilidad del Señor Egresado ROBINSON FABRICIO PEÑA MURILLO ha sido prolijamente revisada quedando autorizada para su respectiva defensa.

TRIBUNAL DE TESIS.

Ing. David Caballero

DIRECTOR

Ing. Juan León Ruíz

MIEMBRO

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES.

ESCUELA INGENIERÍA AGRONÓMICA.

Riobamba – Diciembre.

2013

DEDICATORIA

A Dios por ser guía constante de mi vida y conductor de nuestros destinos, en memoria de mi abuelita Juanita por ser un ejemplo de trabajo y dedicación, a mis papás Luisa y Carlos por ser mi fuente eterna de apoyo, fomentando en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida, a mi hermana Erika por sus múltiples ayudas prestadas durante mis estudios, que espero sirva de ejemplo para que tenga perseverancia, dedicación, madurez en la vida, continúe por buen camino y logre concluir sus estudios exitosamente.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

Gracias.

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas a las que tengo que agradecer su trabajo, colaboración y dedicación, sin las cuales no hubiera sido posible la elaboración de esta tesis. La extensión de este apartado limita la lista explícita. La lista implícita es mucho más extensa, y todos saben que cuentan con mi más sincero agradecimiento.

Debo agradecer de manera especial y sincera a Juan León por su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de mi tesis, sino también en mi formación profesional.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a David Caballero por su importante aporte y participación activa en la tesis.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias en especial a Xavier Cuesta y Jorge Rivadeneira del Programa de Raíces y Tubérculos, que gracias a su orientación ha sido la clave del buen trabajo que se ha realizado, el cual no se puede concebir si su siempre oportuna participación.

Al Centro Experimental del Riego (CER) de la ESPOCH a cargo de Juan León también por haberme facilitado la apertura suficiente para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

Y por supuesto a mis amigos María José, Joanna, Álvaro, Fabricio, Juan, Rommel, Eloy, Vilma, Edgar, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que han brindado.

Muchas gracias a todos.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE GRÁFICOS.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	x

CAP.	CONTENIDO	Pág.
I.....	TITULO	1
II.....	INTRODUCCIÓN	1
III.....	REVISIÓN DE LITERATURA	4
IV.....	MATERIALES Y MÉTODOS	38
VI.....	CONCLUSIONES	121
VII.....	RECOMENDACIONES.....	122
VIII.....	RESUMEN	123
IX.....	ABSTRACT.....	124
X.....	BIBLIOGRAFÍA	125
XI.....	ANEXOS	137

LISTA DE CUADROS

Número	Descripción.	Pág.
1.....	Contenido de nutrientes según el análisis de suelo en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	41
2.....	Característica de la parcela experimental para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>), con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	42
3.....	Características de los seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>), duración (días), requerimientos hídricos y lámina de riego promedio de cada fase fenológica del manejo “Con Riego” y “Sin Riego” en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	64
4.....	Análisis de la varianza para para la evaluación de emergencia de los genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico a los 45 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	74
5.....	Análisis de la varianza para altura (cm) de planta de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico a los 45 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	76
6.....	Análisis de varianza para altura de planta de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico a los 75 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	78
7.....	Promedios y prueba de Tukey (5%) para altura de planta (cm) a los 75 días de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	79
8.....	Análisis de la varianza para altura de planta de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico a los 105 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	81
9.....	Promedios y prueba de Tukey (5%) para altura de planta (cm) a los 105 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	82
10.....	Análisis de la varianza para floración (días) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	86
11.....	Promedios y prueba de Tukey (5%) para floración (días) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	87
12.....	Análisis de la varianza para tuberización (días) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	89
13.....	Promedios y prueba de Tukey (5%) para inicio de tuberización (días) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	90

14.....	Análisis de la varianza para la evaluación senescencia (días) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	92
15.....	Promedios y prueba de Tukey (5%) para senescencia de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	93
16.....	Análisis de la varianza para la contenido de clorofila de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	97
17.....	Promedios y prueba de Tukey al 5% del contenido de clorofila (spad) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	98
18.....	Análisis de la varianza para la contenido relativo de agua de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	100
19.....	Promedios y prueba de Tukey al 5% del contenido relativo de agua (%) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	101
20.....	Análisis de la varianza para el porcentaje de materia seca de la planta completa de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	103
21.....	Análisis de la varianza para el número de tubérculos por planta de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	105
22.....	Promedios y prueba de Tukey al 5% del número de tubérculos por planta de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	106
23.....	Análisis de la varianza para el rendimiento por planta de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	108
24.....	Promedios y prueba de Tukey al 5% rendimiento por planta de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	109
25.....	Análisis de la varianza para el rendimiento de los genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) categoría comercial, semilla y no comercial de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i> .) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	111
26.....	Promedios y prueba de Tukey al 5% para rendimiento de papa en categoría comercial de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i> .) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	112
27.....	Análisis de la varianza para el rendimiento total de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	114

28.....	Promedios y prueba de Tukey al 5 % rendimiento total de papa en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	115
29.....	Análisis de la varianza para el porcentaje de materia seca de los tubérculos de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	117
30.....	Promedios y prueba de Tukey al 5% contenido de materia seca del tubérculo de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	118

LISTA DE TABLAS

Número	Descripción.	Pág.
1.....	Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos	8
2.....	Interpretación de las lecturas de los tensiómetros	9
3.....	Referencia de tensión de la humedad en el suelo marcada en tensiómetros.	10
4.....	Interpretación de lecturas de los bloques de yeso.....	10
5.....	Lectura del contador vs tensión de humedad del suelo y resistencia eléctrica.....	11
6.....	Coefficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localidades y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa	14
7.....	Valores de Kc del cultivo de papa en sus diferentes etapas de crecimiento.....	15
8.....	Características de un gotero integral	22
9.....	Esquema de análisis de varianza para la evaluación de genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	45
10.....	Escala para determinar la cobertura de suelo de los genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) sometidos al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	46
11.....	Escala para determinar el vigor de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	47
12.....	Escala para determinar los días a la senescencia para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	48
13.....	Escala usada para registrar plantas con síntomas de marchitez y el potencial de recuperación después de un severo estrés hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Número	Descripción.	Pág.
1.....	Temperatura y precipitación durante el ciclo de cultivo de los seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	56
2.....	Humedad relativa y velocidad del viento durante el ciclo de cultivo de los seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	57
3.....	Coefficiente de cultivo (Kc) de la variedad INIAP – Estela y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	58
4.....	Coefficiente de cultivo (Kc) de la variedad INIAP – Natividad y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	59
5.....	Coefficiente de cultivo (Kc) de la variedad “Superchola” y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	60
6.....	Coefficiente de cultivo (Kc) del clon “07 – 29 – 11” y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	61
7.....	Coefficiente de cultivo (Kc) del clon “98 – 02 – 06” y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	62
8.....	Coefficiente de cultivo (Kc) del clon “10 – 10 – 97” y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	63
9.....	Requerimientos hídricos totales (mm/ciclo) de los seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	69
10.....	Humedad del suelo del manejo “Con Riego” en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	70
11.....	Humedad del suelo y profundidad radicular del manejo “Con Riego” en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	71
12.....	Humedad del suelo del manejo “Sin Riego en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	72
13.....	Humedad del suelo y profundidad radicular del manejo “Sin Riego” en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	73
14.....	Promedios de emergencia (%) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) a los 45 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	75
15.....	Promedios de altura (cm) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) a los 45 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	77
16.....	Promedios de altura (cm) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) a los 75 días después de la siembra. (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	80

17.....	Promedios de altura (cm) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) a los 105 días de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	83
18.....	Promedios de cobertura del suelo (escala) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) a los 75 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	84
19.....	Promedios de vigor (escala) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) a los 75 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	85
20.....	Promedios de floración (días) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	88
21.....	Promedios de tuberización (días) de los genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	91
22.....	Promedios de senescencia (días) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	94
23.....	Promedios de potencial de recuperación (escala) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	95
24.....	Promedios contenido de clorofila (spad) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	99
25.....	Promedios contenido relativo de agua (%) de los seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	102
26.....	Promedios de materia seca (%) de los seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	104
27.....	Promedios de tubérculos por planta de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	107
28.....	Promedios de rendimiento por planta (Kg/planta) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	110
29.....	Promedios de rendimiento de papa comercial, semilla y no comercial (Kg/parcela neta) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	113
30.....	Promedios de rendimiento total (Kg/parcelas neta) de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	116
31.....	Promedios de materia seca (%) de los tubérculos de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.....	119

LISTA DE ANEXOS

Número	Descripción.	Pág.
1.....	Esquema de la distribución de los tratamientos en estudio para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp</i>) con tolerancia al déficit hídrico en Macají. Provincia de Chimborazo 2013.....	137
2.....	Costo del ensayo para para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>), con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo 2013.....	138
3.....	Cronograma de actividades	141
4.....	Análisis de suelo para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (<i>Solanum spp.</i>) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.	142

I. “EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE SEIS GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum spp.*) CON TOLERANCIA AL DÉFICIT HÍDRICO.”

II. INTRODUCCIÓN

Según la FAO (2008), la producción de alimentos de los países en desarrollo se lleva a cabo en un 60 % en tierras que dependen de lluvia, teniendo solo un 40 % restante regadío, constituyéndose el agua en requisito indispensable para alcanzar y preservar el desarrollo sostenible.

Se prevé que estos países aumentarán sus tierras de regadío pasando de los 248 millones de hectáreas actuales a 311 millones para el 2030, afirmando que el riego aumenta la producción entre un 100 y el 400 % (FAO, 2008).

Según Faostat para el 2012 se reportan 44245 ha. sembradas de papa(*Solanum spp.*) en el Ecuador, pero las condiciones de producción han contribuido a que el cultivo enfrente muchos problemas que ponen en peligro el bienestar económico de los productores y la seguridad alimentaria del país, incidiendo no solamente las plagas y enfermedades, sino también las relacionadas con problemas abióticos.

Stott *et al.*, (2004) mencionan que tanto los productores como los investigadores dan cuenta de un aumento del estrés hídrico, de cambios en la distribución e intensidad de las lluvias, de granizadas y heladas, fenómenos; extremos producto del cambio climático (InfoResources, 2008).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007), menciona que el cambio climático es un cambio en el estado promedio del clima, a lo largo del tiempo, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos debido a la variabilidad natural o consecuencia de la actividad humana.

Estudios realizados por Watson *et al.*, (1997), señalan que los principales efectos directos del cambio climático sobre los cultivos, serían principalmente la duración de los ciclos, alteraciones fisiológicas por exposición a temperaturas fuera del umbral permitido, deficiencias hídricas y respuestas a nuevas concentraciones de CO₂ atmosférico.

La planta al estar sometida a un desequilibrio hídrico, lo contrarresta con el cierre de los estomas, evitando así la pérdida de agua desde el interior de la célula del mesófilo y con ello la disminución del transporte y translocación de nutrientes, dando como resultado la reducción de la fotosíntesis y el crecimiento; pero si el factor estresante continua por un largo tiempo, llegará a un estado de agotamiento con la muerte de la planta (Hanson y Hitze, 1982; Kramer, 1983).

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (2006), reporta que los efectos del cambio climático ya se evidencia en el país, es el caso de la Provincia de Chimborazo donde las épocas definidas de lluvia han desaparecido, siendo menor la disponibilidad de agua y la escasa precipitación entre los años 2002 y 2003 afectaron a los cultivos, provocando pérdidas en el rendimiento entre el 20 y 30%.

Por lo mencionado, el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP a través del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos Rubro Papa (PNRT-Papa) y la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, Escuela de Ingeniería Agronómica, han iniciado actividades en campo para la selección de genotipos con tolerancia a la sequía en la sierra central ecuatoriana, tal es el caso de Bonilla en el año 2009, el cual se desarrolló en tres localidades (Tiazo Bajo, Pusniag y Santa Lucia) de la provincia de Chimborazo dando como resultado que genotipos: INIAP – PAN, Brenda (CIP), R2 (CIP), 97 – 1 – 10, 99 – 38 – 5, 99 – 78 – 5, 04 – 12 – 1, 99 – 66 – 4, 99 – 99 – 2, 04 – 24 – 1, 97 – 1 – 8, 99 – 32 – 1 fueron considerados como tolerantes a la sequía (Bonilla, 2009).

Además en el año 2012, se evaluaron dieciséis genotipos en dos localidades (Tunshi Alto y Macají ESPOCH) de la provincia de Chimborazo determinándose como tolerantes: INIAP – Estelay clones 10 – 10 – 97, 07 – 29 – 11 (Jaramillo, 2012).

A. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de desarrollar tecnologías de producción que se adapten a los efectos adversos del cambio climático obligan a identificar genotipos de papa (*Solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico para que los agricultores de zonas con reducida precipitación, puedan disponer de alimento, diversifiquen la producción y además obtengan ingresos por la venta del tubérculo, siendo el caso de las Zonas de la Provincia de Chimborazo donde las épocas de lluvias ya no son definidas y además sitios considerados como productores de papa ya no obtienen la rentabilidad deseada, dando lugar a que la calidad de vida de los agricultores disminuya, ocasionando un abandono de las tierras.

B. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Evaluar agronómicamente seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico en la provincia de Chimborazo.

2. Objetivos específicos

- a. Evaluar el comportamiento agronómico de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en condiciones de déficit hídrico.
- b. Cuantificar los requerimientos hídricos por estado fenológico.
- c. Seleccionar genotipos de papa (*Solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico.

C. HIPÓTESIS

1. Hipótesis nula.

No existe variación en la respuesta al déficit hídrico de los genotipos de papa (*Solanum spp.*) evaluados.

2. Hipótesis alternante.

Si existe variación en la respuesta al déficit hídrico de los genotipos de papa (*Solanum spp.*) evaluados.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. IMPORTANCIA DEL AGUA

O'meara (2012),realza la importancia del agua siendo este uno de los recursos naturales fundamentales para la vida vegetal y uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía.

Es fundamental la eficiente aplicación del agua debido a que es un recurso escaso que generalmente no alcanza para regar toda la superficie que desea el agricultor o para no generar problemas en los sectores o predios que se encuentran en posiciones más bajas (INIA, 2013).

INIA (2013) y Ekanayake (1994), comentan que la cantidad aprovechable de este elemento por el cultivo será variable y dependerá de los factores meteorológicos y del suelo.

Enfatiza Ekanayake (1994), que la vulnerabilidad de la papa ante el déficit hídrico ocurre durante su ciclo de crecimiento, dando como consecuencia bajo rendimiento y mala calidad del tubérculo, poniendo en manifiesto el importante papel que cumple este elemento.

B. REQUERIMIENTO HÍDRICO

Hargreaves y Merkle (2000), precisan que el requerimiento hídrico de un cultivo está determinado por el potencial de evaporación climático, de las características de las plantas y de los factores que influyen en el crecimiento de la planta.

FAO (2008), señala que algunas variedades moderadas de papa son sencibles a la falta de agua y necesitan una irrigación frecuente y superficial.

El cultivo de papa de 120 a 150 días consume de 500 a 700 mm de agua, y la producción disminuye si no se aporta con más del 50 por ciento del total de agua disponible en el suelo durante el crecimiento (FAO, 2008).

Dependiendo de las condiciones climáticas, suelo y otros factores la cantidad de agua requerida por la papa varía de 400 a 800 mm por cultivo (Ekanayake, 1994).

El cultivo de papa en pleno desarrollo, puede transpirar de 2 – 10 mm por día. Precipitaciones inferiores a 10 milímetros no son efectivas para el cultivo ya que estas quedan retenidas en las hojas del cultivo y se evaporan (Simpfendofer, 2000).

Pumisacho y Sherwood (2002), revelan que en los lugares donde se practica cultivo de secano, se encuentra una estrecha correlación entre la intensidad de la precipitación y el rendimiento final en tubérculos. La falta de agua se manifiesta por amarillamiento y marchitamiento de las hojas, menor velocidad de crecimiento y maduración precoz, con una consecuente reducción del rendimiento.

C. AGUA EN EL SUELO

Hurtado (2002), afirma que las plantas requieren un suministro constante de agua a través del suelo, siendo fundamental determinar:

¿Cómo se mueve el agua en el suelo?

¿Cuánta agua está disponible para las plantas?

¿Cuánta agua puede almacenar un suelo?

¿De qué manera es posible reponer el agua del suelo consumida por las plantas?

Los dos primeros factores están relacionados con la distribución del tamaño de las partículas minerales (textura) en relación a su característica de retener agua. El tercer factor, con la profundidad de la zona radicular, y el cuarto, con la tecnología disponible.

1. Clasificación del agua en el suelo

El suelo es un “reservorio” que contiene cierta cantidad de agua, de la cual sólo una parte está disponible para las plantas. Esta capacidad se encuentra limitada por el

agua retenida entre los niveles de humedad denominados capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) (Hurtado, 2002).

a. Saturación (S)

Fuente (2006), define el termino S como el grado en el cual todos sus poros están llenos de agua, si se permite que un suelo saturado drene libremente, el contenido de agua comienza a descender vaciándose primero los poros más grandes, que son ocupados por aire. El agua así eliminada se denomina agua libre o gravitacional; no es retenida por el suelo.

1) Capacidad de campo (CC)

Hurtado (2002), manifiesta que CC es la máxima cantidad de agua retenida por un suelo con buen drenaje, los poros pequeños (micro poros) retienen el agua contra la fuerza de gravedad, pero con una energía que es fácilmente superada por la fuerza de succión de las raíces. La capacidad de campo se alcanza cuando la tensión del agua en el suelo es de aproximadamente 0.3 bars (30 centibars ó 3 m de columna de agua) en suelos arcillosos o de 0.1 bars en suelos de textura media (Hidalgo, 2008).

2) Punto de marchites permanente (PMP)

Iglesias y Vásquez (2000) e Hidalgo (2008), explican que el PMP es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades de transpiración, manifestándose síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo.

Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 20 bars (Enciso, 2005).

Hurtado, (2002) manifiesta que la CC y PMP permiten establecerla cantidad de agua del suelo aprovechable para las plantas, la cual depende básicamente de dos factores:

- La capacidad de retención del agua por unidad de volumen del suelo.
- La profundidad de suelo que alcancen las raíces de las plantas.

2. Agua útil

Fuente (2006), comenta que agua útil es la cantidad de agua comprendida entre los valores de capacidad de campo (0.33 bares) y punto de marchitez permanente (15 bares) y comprende la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos.

3. Medición de agua en el suelo

Según Ekanayake (1994), la medición de agua en el suelo es importante dentro de un sistema suelo – planta – atmósfera, destacando varios métodos que son:

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

a. Contenido gravimétrico de agua en el suelo.

Enciso (2005), afirma que para determinar el contenido gravimétrico de agua en el suelo se debe tomar muestras de suelo a diferentes profundidades empleando un tubo de extracción de muestras de suelo. Por lo general se toman muestras de los siguientes perfiles: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45cm y 45-60cm. En algunos suelos puede ser deseable tomar muestras a profundidades de 90 cm, en función del grado de pérdidas por percolación profunda y escorrentía, y de las características del perfil del suelo. El contenido de agua del suelo (por peso) se calcula de la siguiente manera (Ekanayake, 1994):

$$\text{Contenido de agua del suelo (\%)} = \left[\frac{(PF - PS)}{PS} \right] \times 100$$

Tabla 1. Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos

HUMEDAD DEL SUELO			
TEXTURA	CC	PMP	HD
Arenoso	9 %	2%	7%
Franco arenoso	14%	4%	10%
Franco	34%	12%	22%
Arcilloso	38%	34%	14%

Fuente: Giardini, (2004). CC = Capacidad de campo, PMP = Punto de marchitez permanente, HD = Humedad disponible

b. Potencial mátrico del suelo (PMS)

Puede medirse empleando varios instrumentos, destacando:

1) Tensiómetros:

Fuente (2006), indica que los tensiómetros son recipientes porosos llenos de agua acoplados a un manómetro de válvula al vacío.

Ekanayake (1994), dice que el suelo ejerce una fuerza de succión contra el agua contenida en el recipiente. Mientras más seco esté el suelo, mayor será la fuerza. La fuerza de succión o potencial mátrico del suelo puede leerse directamente en el tensiómetro en unidades de presión (bares o pascales).

Los tensiómetros se colocan a diferentes profundidades en el perfil de suelo, preferible adyacentes unos con otros, en el caso del cultivo de papas se ha colocado a profundidades de 15, 30 y 45 cm, las lecturas de PMS pueden realizarse de manera continua a lo largo de toda la temporada (Ekanayake, 1994).

Tabla 2. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros

LECTURA Centibares	ESTADO	EXPLICACIÓN / ACCIÓN
0	Saturado	Estado de saturación para cualquier tipo de suelo, si la lectura persiste indica problemas de drenaje fuerte y aireación pobre.
5-10	Exceso	Exceso de humedad para el desarrollo de la planta, es indicador de que el drenaje continúa.
10-20	Capacidad de Campo	Indica capacidad de campo para la mayoría de los suelos, aportaciones extra de agua se perderán por percolación con el consiguiente lavado de nutrientes.
20-30	Rango de inicio del riego	Buen nivel de agua disponible y aireación en suelos de textura fina y media, no se requiere riego.
30-40		Indica el riego para suelos de arena fina, y para la mayoría de los suelos bajo régimen de riego por goteo.
40-60		Indica el inicio del riego para la mayoría de los suelos. Suelos francos inician entre 40-50 cbars.
70	Seco	Inicia el rango de estrés, pero es probable que aún no sufra daño el cultivo.
80		Lecturas mayores son posibles pero la columna de agua del aparato puede romper entre los 80-85 cbars, dependiendo de la altura del instrumento con respecto al nivel del mar.

Fuente: Fuente, (2006).

Tabla 3. Referencia de tensión de la humedad en el suelo marcada en tensiómetros.

TIPO DE SUELO	CONSUMO %	LECTURA TENSIOMETRO (Centibares)
Franco	20	40
	25	50
	35	60
	50	90 – 100
Franco Arenoso	20	30 – 35
	35	40 – 45
	40	50
	50	70 – 80
Arena Franca	25	20 – 25
	35	30 – 35
	50	50

Fuente: León (2012).

2) Bloques de Yeso (Modelo KS – D1)

Según DELMHORST (1999), el sistema de medición de la humedad del suelo consta en dos partes: los bloques de tierra yeso que son los sensores y el medidor de humedad.

Cuando un bloque está enterrado en el suelo, absorbe su humedad, hasta que se acerca al equilibrio con el contenido de humedad del suelo (DELMHORST, 1999).

Tabla 4. Interpretación de lecturas de los bloques de yeso

Tipo de suelo	No riego necesario	Riego para ser aplicado	Zona de peligro, insuficiente humedad del suelo
Fino	80 – 100 (92 - 10 cb)	60 – 80 (173 - 92 cb)	Bajo 60 (173 cb)
Medio	88 – 100 (65 - 10 cb)	70 – 88 (125 - 65 cb)	Bajo 70 (125 cb)
Grueso	90 – 100 (58 - 10 cb)	80 – 90 (92 - 58 cb)	Bajo 80 (92 cb)

Fuente: DELMHORST, (1999). cb = centibares

Tabla 5.Lectura del contador vs tensión de humedad del suelo y resistencia eléctrica

Lectura del contador KS-D1	Tensión de humedad del suelo (BARES)	Resistencia eléctrica (OHMS)
99,0	0,1	60
98,0	0,2	130
96,0	0,3	260
94,0	0,4	370
91,5	0,5	540
89,0	0,6	750
87,0	0,7	860
84,5	0,8	1100
80,5	0,9	1400
77,5	1,0	1700
63,0	1,5	3400
59,0	1,8	4000
53,0	2,0	5000
43,0	3,0	7200
37,0	4,0	9000
32,0	5,0	10700
28,0	6,0	12500
21,0	8,0	16540
15,0	10,0	21130
10,0	12,0	26270
4,0	15,0	35000

Fuente:DELMHORST, (1999).

4. Mediciones micrometeorológicas

La atmósfera constituye el último eslabón del sistema suelo – planta – atmósfera. En el caso de la determinación de las necesidades de evapotranspiración, se miden los siguientes parámetros climáticos: temperatura máxima y mínima, humedad relativa del aire, precipitación, velocidad y dirección del viento, radiación y evaporación (Ekanayake, 1994).

a. Temperatura:

Las temperaturas del aire y suelo se miden con varios tipos de termómetros como termógrafos, termómetros de líquido en vidrio, y termistores (Ekanayake, 1994).

1) Radiación

La radiación fotosintética activa (banda de 400 a 700 nm) se mide empleando un detector de radiación y se representa como un flujo radiante que incide sobre una unidad de área (W/m^2) (Ekanayake, 1994).

2) Vapor de Agua

Se mide como humedad relativa (proporción expresada en porcentaje entre la presión de vapor efectiva y la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire). Para la medición se emplean equipos como: sicrometros de bulbo seco y húmedo; higrómetros gravimétricos; termohidrógrafos; hidrómetros de aire y otros (Ekanayake, 1994).

3) Viento

La velocidad del viento (m/seg) se mide con varios tipos de anemómetros (de taza, de tubo Pitot, anemómetros de presión de tubo y de esfera) (Ekanayake, 1994).

4) Precipitación

Se mide diariamente con válvulas de lluvia (por ejemplo, de tipo balde oscilante) y la cantidad se registra en mm por unidad de tiempo (mm/d) (Ekanayake, 1994).

5) Evapotranspiración (ET)

Proceso mediante el cual se transfiere agua de las superficies de la planta y el suelo a la atmósfera en forma de vapor de agua y de agua líquida a través de los tejidos de la planta. Existen varios métodos para determinar la ET: el método de panevaporación y los métodos empíricos (Ekanayake, 1994).

a) Método de panevaporación:

Ekanayake (1994), define la evapotranspiración potencial (E_p) como la tasa máxima a la cual se eliminará el agua de las superficies del suelo y de las plantas, es decir la ET a la que la presión del vapor en las superficies evaporantes se encuentra en el punto de saturación.

La evapotranspiración potencial del cultivo (E_p) se puede medir empleando el tanque de evapotranspiración clase “A” en el que se anotan periódicamente las diferencias de nivel de agua. En la práctica, la E_p también puede medirse usando un recipiente con agua, abierto y plano, con paredes de cualquier altura y forma, al que se acopla una escala milimétrica vertical (Ekanayake, 1994).

b) Métodos Empíricos:

El método de Penman modificado define la ET como la evaporación a partir de una superficie extensa de un cultivo verde de poca altura, que da sombra total al suelo, ejerce poca o casi ninguna resistencia al flujo de agua y siempre cuenta con agua (Ekanayake, 1994).

5. Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto)

Hidalgo (2008), señala que E_{to} es un concepto establecido para indicar la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia.

La E_{to} depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente: temperatura máx. y mín., radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, etc.

La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Su fórmula es:

$$E_{to} = E_v * K_p$$

Dónde: K_p , puede ser calculado a partir de datos climáticos de la zona como humedad relativa y viento (FAO, 2006).

Tabla 6. Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localidades y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada			Caso B: Tanque situado en suelo desnudo				
		Baja < 40	Media 40 – 70	Alta > 70		Baja < 40	Media 40 – 70	Alta > 70
HR media								
Velocidad viento (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del cultivo a barlovento (m)			
Baja <2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
Moderada 2 – 5	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
Alta 5 – 8	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55
Muy alta >8	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1000	0,55	0,6	0,65	1000	0,35	0,4	0,45

Fuente: FAO, (2006).

6. Evapotranspiración del Cultivo (Etc)

Hurtado (2002), indica que la evapotranspiración o necesidad (consumo) de agua por los cultivos se refiere al agua usada por las plantas en la transpiración más la evaporada directamente desde la superficie del suelo.

Normalmente se mide en mm/día o mm/mes, y depende de la interacción entre factores climáticos, botánicos, edáficos y de manejo del cultivo.

La evapotranspiración es baja en los primeros estadios de la etapa de crecimiento de la planta; se incrementa a medida que la planta crece en altura y en área foliar, hasta

alcanzar un máximo en la etapa de fructificación y luego disminuye progresivamente hasta la etapa de cosecha.

Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo (E_{tc}) varía fundamentalmente según el estado fenológico del cultivo y el clima (FAO, 2006).

La evapotranspiración del cultivo se calcula como:

$$E_{tc} = E_{to} * K_c$$

7. Coeficiente de cultivo (K_c)

Es un valor que varía en el tiempo, creciendo con la planta hasta llegar a un máximo y luego disminuye, es decir depende de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas, por ello, son variables a lo largo del tiempo. Dependen también de las características del suelo y su humedad, así como de las prácticas agrícolas y del riego.

Los efectos combinados, tanto de la transpiración del cultivo, como de la evaporación del suelo se integran en este coeficiente único del cultivo. Así el coeficiente K_c incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo, constituyendo una excelente herramienta para la planificación del riego y la programación de calendarios básicos de riego en periodos mayores a un día (Beltri, 2008 y FAO, 2008).

Tabla 7. Valores de K_c del cultivo de papa en sus diferentes etapas de crecimiento

	ETAPAS DE CRECIMIENTO				
	Establecimiento Inicio	Desarrollo del Cultivo	Media Estación	Inicio Madurez	Madurez Fisiológica
Papa	0,40 – 0,50	0,70 – 0,10	1,00 – 1,20	0,95 – 1,00	0,65 – 0,65

Fuente: Fuente, (2006). Valores Adimensionales

8. Calendario de riego

Para Ekanayake, (1994), por lo general la papa debe regarse a $-0,35$ bares, o menos, de potencial tensiométrico del suelo para mantener un micro medio bien irrigado. Asimismo, se puede reducir el grado de estrés que ejerce el suelo sobre la planta mediante una irrigación adecuada y observando las plantas y humedad del suelo. Para un buen calendario de riego se debe tener en cuenta:

Quando regar, cuanto regar, durante cuánto tiempo regar.

También se debe tener en cuenta el tipo de irrigación, es decir por aspersión, surco (canal) o goteo. Los factores que afectan el establecimiento del calendario de riego son:

- Características físico químicas del suelo y disponibilidad de agua en el suelo.
- Flujo de agua del suelo hacia la planta en un continuo suelo – planta – atmosfera.

El propósito general del riego a corto plazo es mantener el potencial de agua de la planta a niveles que induzcan el crecimiento positivo.

El riego se debe hacer antes de llegar al límite superior de marchitez foliar o de la planta. Al nivel inferior de estrés, el cultivo resulta dañado de manera permanente.

a. Indicadores de estrés:

Las decisiones sobre el calendario de riego se basan en las características del agua o de las plantas (Ekanayake, 1994).

1) Indicadores del suelo:

Quando no se dispone de equipo se puede recurrir a la sensación física o textura del suelo para decidir cuándo regar. Con la mano se hace una bola de la tierra en la zona radicular efectiva y debajo de ella, dependiendo de la formación o fragilidad de la bola, se podrá decidir si procede aplicar o no riego.

2) Indicadores de plantas:

Los niveles de estrés de las plantas se pueden evaluar visiblemente a partir del marchitamiento, el enrollamiento y el color de las hojas

b. Sistemas de irrigación:

El método de irrigación más adecuado para cada lugar varía según las propiedades del suelo, la topografía, el nivel de la tecnificación del cultivo, el sistema de aprovisionamiento del agua, y las necesidades del cultivo y del sistema agrícola.

El diseño de experimentos para determinar el efecto del estrés por sequía en la papa y la correspondiente necesidad de agua depende del método de irrigación (Ekanayake, 1994). En la **Figura 1** se describe el proceso

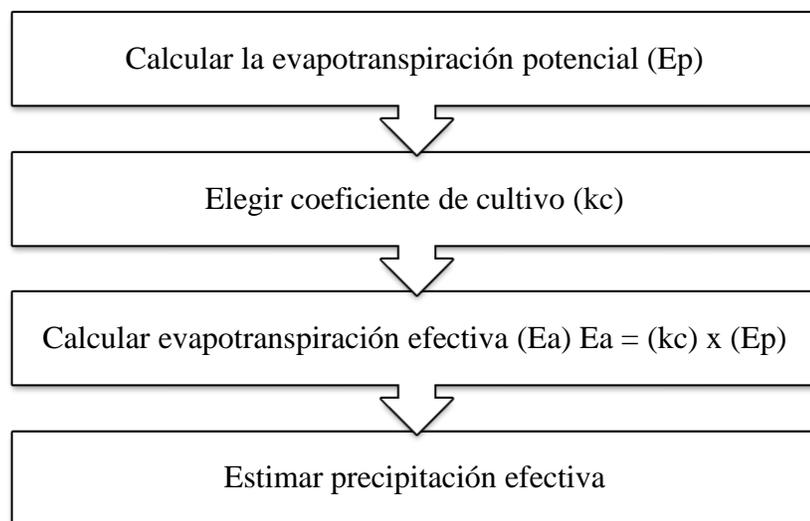


Figura 1. Flujograma de requerimientos de agua de riego

c. Agua útil (AU)

Según León (2012), el cálculo del agua útil se basará en la siguiente ecuación:

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z$$

Dónde: AU = agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm), CC = Capacidad de campo, PMP = Punto de marchitez permanente, Da = Densidad aparente del suelo (gr/cm^3), Z = profundidad radicular (mm).

d. Frecuencia de riego (Fr)

Callejas (2002), manifiesta que la frecuencia de riego permite estimar el número de días transcurridos entre dos riegos consecutivos y corresponde al período en que el

cultivo agota la lámina neta. Para estimar la frecuencia de riego es necesario conocer la lámina neta y la evapotranspiración real del cultivo (ETc). La frecuencia de riego se puede obtener de la siguiente expresión (León, 2012):

$$Fr = \frac{Ln}{Etc}$$

Dónde: Fr = frecuencia de riego (días), Ln = lámina neta (mm), Etc = evapotranspiración del cultivo (mm/día).

9. Necesidad de riego

a. Lámina de riego

Según Callejas (2002), la lámina de riego es el espesor de la capa de agua con que una superficie de tierra, supuestamente a nivel, quedaría cubierta por la aportación de un riego

1) Lámina neta de riego (ln).

La lámina neta de riego corresponde a la humedad de déficit. Es la cantidad de agua que debe quedar en la zona de raíces de las plantas, para llevar el suelo a capacidad de campo después de un riego, y que a su vez, corresponderá a la cantidad de agua que puede consumir el cultivo entre dos riegos consecutivos. Para determinar la lámina neta de riego, es necesario conocer la humedad aprovechable del suelo, el umbral de riego y la profundidad de raíces que se van a mojar (Callejas, 2002). La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$Ln = UR (\%) \times AU$$

Dónde: UR = Umbral de riego (50%), AU = agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm).

El umbral depende de la sensibilidad del cultivo a la reducción de agua disponible en el suelo, factores climáticos y factores económicos. Para cultivos delicados y valor económico importante como hortalizas y flores los valores se ubican entre 0,3 y 0,4

(30 % - 40 %). En cultivos menos delicados los valores se reducen al 50 % (León, 2012).

2) Lámina bruta de riego (Lb).

La lámina de riego a aplicar se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Etc * Fr}{Ef}$$

Dónde: Lb= Lámina bruta de riego (mm), Etc = evapotranspiración del cultivo (mm/día), Fr = frecuencia de riego (días), Ef = Eficiencia de aplicación de agua (León, 2012).

3) Volumen de riego

El volumen de riego a aplicar se determina como:

$$V = Lb * \text{área}$$

V= Volumen de riego a aplicar (litros), Lb= Lámina bruta de riego (mm), Área cultivada (metros²)(León, 2012).

10. La profundidad de la raíz

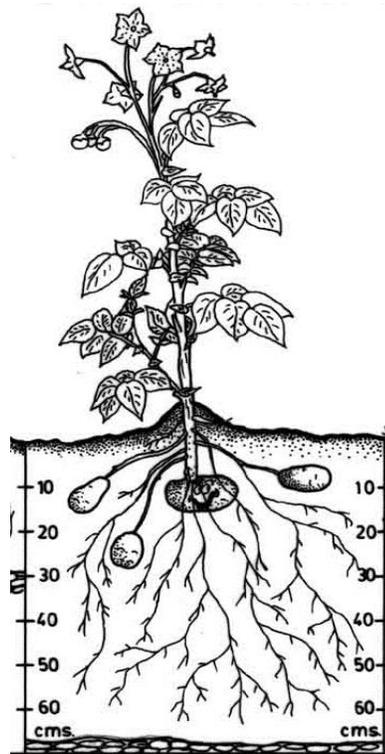


Figura 2. Profundidad radicular promedio del cultivo de papa (*Solanum spp*)

La profundidad de raíz determinará la cantidad de agua que la planta puede disponer del suelo (**Figura 2**). Las condiciones del suelo (por ejemplo, capas compactadas, nivel freático superficial, suelo seco) pueden limitar la profundidad de la raíz. En general las hortalizas tienen un sistema radicular relativamente superficial y por lo tanto tienen menos capacidad para extraer el agua almacenada en el suelo. Los cultivos que tienen sistemas radiculares superficiales y menores niveles de déficit permitidos requieren de riegos más frecuentes (Enciso, 2005).

La profundidad de las raíces para el cultivo de papa es de 1,0 – 2,0 pies (Allen *et al.*, 1996).

11. Déficit permitido en el manejo del riego (DPM)

Enciso (2005), explica que el déficit permitido en el manejo de riego es el contenido de agua en el suelo al cual no se debe permitir bajar o llegar al punto de marchitez permanente para evitar el estrés de la planta por falta de agua, y por lo tanto, evitar la

reducción en la producción. La diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el DPM debe ser la lámina de riego por aplicar. El contenido de agua que queda debajo de este límite es la cantidad de agua que queda en el suelo. El déficit permitido de manejo del riego (DPM, %) para el cultivo de papa es del 65 % (Allen *et al.*, 1996).

Otro criterio que se utiliza frecuentemente para determinar el momento oportuno para aplicar el riego es *la tensión de la humedad del suelo*. Este método es más utilizado para programar el riego en los sistemas por goteo, los cuales permiten aplicar láminas pequeñas y muy precisas. La tensión de la humedad del suelo se puede medir con un sensor, tal como un tensiómetro. La tensión de la humedad del suelo a la que se aplica el riego variará dependiendo del tipo de suelo y a la profundidad que se coloque el sensor de humedad. La calibración y la experiencia que se tenga del sitio predeterminado optimizan la utilización de este método en la programación de la irrigación (Enciso, 2005).

Las tensiones de humedad recomendadas para papa es de 30 – 50 centibares (Hanson y Hitze, 1982).

D. RIEGO POR GOTEO

Romero (2005), expresa que es un método de riego localizado donde el agua es aplicada en forma de gotas que humedecen el área cercana a la planta, es decir, en el área de mayor concentración de las raíces, este sistema consta de filtros, reguladores de presión tubos conductores, laterales para bajar la presión y emisores, comúnmente denominados “goteros” (Hurtado, 2002).

La descarga de los emisores fluctúa en el rango de 2 a 4 litros por hora por gotero. Este método, garantiza una mínima pérdida de agua por evaporación o filtración, y es válido para casi todo tipo de cultivos, es así que su nivel de eficiencia alcanza un 90% - 95 % (Wil, 2012). He aquí un ejemplo de las características de un gotero con sus requerimientos para su funcionamiento **Tabla 8.**

Tabla 8. Características de un gotero integral

Espaciamiento entre gotero	0,15 m
Caudal	1,6l/h
Presión Mínima	0,4Bares
Presión Máxima	1,5 - 3 Bares
Separación entre laterales	0,8m

Fuente: METZERPLAS, (2013).

1. Ventajas

- a. Permite un ahorro considerable de agua, debido a la reducción de la evapotranspiración y de las pérdidas de agua en las conducciones y durante la aplicación.
- b. Uniformidad de riego, todas las plantas crecen uniformemente, ya que reciben volúmenes iguales de agua.
- c. Posibilidad de medir y controlar la cantidad de agua aportada.
- d. Es posible mantener el nivel de humedad en el suelo más o menos constante y elevado, sin que lleguen a producirse encharcamientos que provoquen la asfixia de la raíz o faciliten el desarrollo de enfermedades. Facilita el control de malas hierbas, ya que éstas se localizan tan sólo en el área húmeda (Romero, 2005).

2. Desventajas

- a. Taponamiento de los goteros
- b. Riesgo de salinización del suelo

E. SEQUÍA

La sequía es un periodo sin lluvia que por su duración daña al cultivo y reduce significativamente los rendimientos económicos. La sequía inicia cuando se agota el agua disponible del suelo en la zona de la raíz. Además la sequía puede ser permanente, periódica o aleatoria, y puede ocurrir al inicio, al final o en la mitad de la estación. La sequía también puede ser acumulativa o específica y breve (Ekanayake, 1994).

1. Resistencia a la Sequía

Ekanayake (1994), señala que un genotipo es resistente a la sequía cuando produce un cultivo económico dentro de los límites de su potencial de producción a pesar de la disponibilidad limitada de agua.

a. Adaptaciones a la sequía

La adaptación de las plantas al estrés causado por sequía se compone de cuatro mecanismos: escape, tolerancia, evitación y recuperación, ver **Figura 3**:

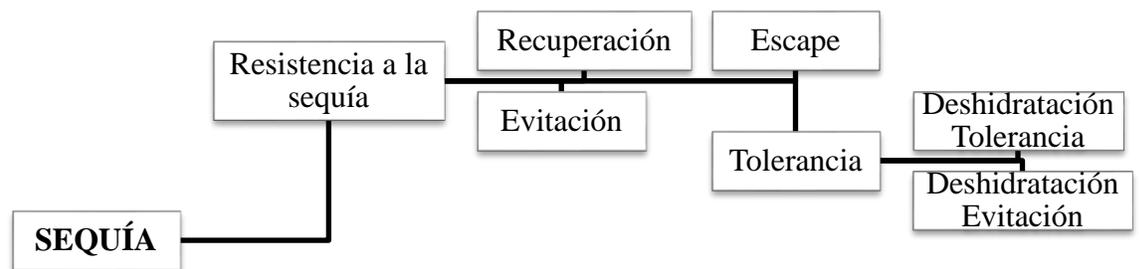


Figura 3. Esquema de adaptación de las plantas a la sequía.

1) Escape

Los mecanismos de escape, permiten a la planta completar las etapas de crecimiento sensibles a la sequía durante periodos de humedad adecuada o completar el ciclo vital antes del inicio de la sequía (Ekanayake, 1994).

2) Evitación

La evitación es la capacidad de soportar la sequía o evitar el estrés, manteniendo un elevado potencial de agua en la planta mediante niveles elevados de absorción, gracias a un sistema radicular más extenso y mejor distribuido, al tiempo que se reduce la pérdida de agua mediante el control estomal (Ekanayake, 1994).

3) Tolerancia

Según Ekanayake, (1994) la tolerancia es la capacidad para sobrevivir a un estrés interno gracias a la tolerancia, a la deshidratación o a mecanismos de evitación, es decir seguir realizando sus procesos fisiológicos durante periodos prolongados de sequía en los que soportan altos grados de deshidratación en sus tejidos (Ledent, 2003).

Rosielle y Hamblin (1981), definen la tolerancia al estrés (TOL) como las diferencias en rendimiento en condiciones de estrés (Ys) y no-estrés Yp y la productividad media (MP) como el rendimiento promedio de Ys y Yp.

a) Deshidratación evitación

La evitación de la deshidratación se realiza regulando la actividad a nivel celular de la tolerancia o pérdida de turgencia, mediante el ajuste osmótico (acumulación de metabolitos) o mediante la reducción de la pérdida de agua gracias al control estomal, enrollado de las hojas y reducción del área foliar productiva (Ekanayake, 1994).

b) Deshidratación tolerancia

La tolerancia a la deshidratación se logra a nivel de la actividad celular por ajuste osmótico y por resistencia a la degradación de membranas y a la desnaturalización de las proteínas (Ekanayake, 1994).

4) Recuperación

La recuperación es la capacidad para continuar con los procesos de crecimiento luego de la sequía, gracias al riego o lluvia (Ekanayake, 1994).

La disponibilidad de agua en el suelo para el crecimiento de la planta depende del contenido de humedad del suelo, de las características de retención de humedad del suelo, de la conductividad hidráulica del suelo, y de la zona o profundidad de enraizamiento. La tasa de absorción de agua por las raíces depende de la magnitud de la diferencia de potencial de agua entre la raíz y el suelo, de las resistencias entre la raíz y el suelo, del número de raíces, y de la actividad radicular. El agua se mueve en

la planta a través del xilema, a lo largo de una gradiente de potencia determinada por la demanda de la transpiración. A su vez, la transpiración depende del déficit de saturación en el aire y de la disponibilidad de agua en el suelo. La acción estomal es el principal mecanismo mediante el cual la planta controla la tasa de transpiración (Ekanayake, 1994).

F. DÉFICIT HÍDRICO

Chimenti (2005), resalta al déficit hídrico como la reducción de agua disponible en un suelo para el aprovechamiento de las plantas, afectando así el contenido hídrico de las mismas.

La reducción del contenido de agua en los tejidos vegetales origina alteraciones “estrés hídrico”, en los procesos metabólicos de las plantas como disminución en su crecimiento y desarrollo.

La magnitud del efecto negativo y los procesos metabólicos involucrados dependen de la especie, momento del ciclo ontogénico (la sensibilidad puede variar a lo largo del ciclo ontogénico) y de la intensidad y duración del estrés hídrico (Chimenti, 2005).

G. ESTRÉS

CULTURAL (2004) y Ledent (2003), señalan al estrés como un conjunto de síntomas que revelan la alteración del funcionamiento normal del organismo vegetal, este se evalúa en función de la supervivencia, acumulación de biomasa, rendimiento, fotosíntesis u otros parámetros relacionados con los anteriores.

Chimenti, (2005), sostiene que los términos déficit hídrico y estrés hídrico se usan por lo general indistintamente pero, definen diferentes situaciones. A medida que la cantidad de agua disponible en un suelo para las plantas se reduce (deficit hídrico), se afecta el contenido hídrico de las plantas. Estas reducciones en el contenido de agua en los tejidos vegetales provoca alteraciones en los procesos metabólicos, originado efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas (estrés hídrico) (Shaxson y Barber, 2005).

1. Estrés Hídrico

La mayor parte del agua absorbida por las raíces de la planta es evaporada por las hojas en el proceso de transpiración, que está relacionada con la temperatura del ambiente. Cuando la intensidad de transpiración es superior a la absorción del agua radicular, se produce un déficit de agua en el interior de la planta (OCEANO, 2002).

En el estrés hídrico el primer efecto es la pérdida de turgencia, la que afecta a la elongación del tallo, la expresión foliar, la apertura estomática y finalmente la disminución de la tasa de crecimiento (Hale y Orcutt, 1987).

Allenet *al.*, (2006), afirman que el contenido de agua del suelo es determinante en el ingreso o la disminución del flujo dentro de los vegetales, al existir mayor cantidad de agua en el suelo presenta una mayor energía en el potencial y por ende una mayor extracción por parte de las raíces, cuando los valores en el volumen de agua en el suelo disminuye la energía potencial baja, provocando que las moléculas de agua existentes queden retenidas por el potencial mátrico del suelo y sus fuerzas capilares, provocando la disminución en el ingreso dentro de las plantas.

Martinet *al.*, (2005), concluyen que para determinar matemáticamente el estrés hídrico se debe plantear la siguiente ecuación:

$$K_s = \frac{Etc_{aj}}{Etc}$$

En donde el K_s es la determinación del estrés hídrico, Etc_{aj} representa a la evaporación del cultivo en condiciones de estrés y Etc la evaporación normal del cultivo en condiciones óptimas. Para el cálculo del estrés hídrico se debe realizar mediante el balance hídrico diario sobre la capa de suelo en donde se encuentran las raíces, con la finalidad de conocer las propiedades hídricas del suelo.

2. Tolerancia al estrés hídrico.

Según Hans y Shevelera (1995), las plantas tienen diferentes estrategias para adaptarse a la sequía, disminución del potencial hídrico, etc., estas estrategias permiten a las plantas ser más competitivas las mismas que variarán según la especie y la etapa fenológica. Por lo general las plantas silvestres presentan una mayor tolerancia al estrés hídrico y mejor adaptación a condiciones climáticas extremas y se asegura que proteínas desempeñan un papel activo en la respuesta al estrés.

La tolerancia a la sequía soportando un bajo potencial hídrico es una característica inherente a la planta la cual, a pesar de tener un bajo potencial hídrico, mantiene turgencia y activo los procesos de crecimiento, desarrollo y producción debido a la acumulación activa de solutos acompañada de una mayor elasticidad de las membranas (May y Milthorpe, 1962).

Mororby *et al.*, (1975), determinaron que el efecto primario de un período de sequía sobre las plantas de papa era la reducción de la fotosíntesis, disminuyendo la absorción de CO₂ debido al incremento en la resistencia foliar para el ingreso de carbono, esta disminución de la fotosíntesis y el incremento de la resistencia estomática fue debido a la disminución del potencial de agua en las hojas; la gran sensibilidad de las plantas a déficits hídricos moderados, se debía a la poca capacidad de recuperación de las plantas, luego de finalizado el período de estrés (Ackerson, 1997).

El cultivo de papa presenta etapas críticas de necesidad de agua siendo estos el período de emergencia retrasándola o inhibiéndola y durante la tuberización siendo aquí donde se comienzan a engrosar los tubérculos por el transporte de los fotoasimilados desde las hojas hacia los estolones y en si viéndose un efecto negativo en el rendimiento, ya que estas etapas corresponden a las fases de crecimiento activo o división celular ocasionando grandes cambios en algún componente de la producción (Martínez y Moreno, 1992; Van Loon, 1981; King y Stark, 2000).

Al verse sometida a este estrés la planta emplea diversos mecanismos de defensa reduciendo el agua traspirada, incrementando la resistencia estomal siendo este un mecanismo fisiológico por el cual la planta limita la pérdida de agua, manteniendo la velocidad de absorción del agua, o mediante el control estomático. La tolerancia a la sequía soportando un bajo potencial hídrico es una característica inherente a la planta la cual, a pesar de tener un bajo potencial hídrico, mantiene turgencia y activo los procesos de crecimiento, desarrollo y producción debido a la acumulación activa de solutos acompañada de una mayor elasticidad de las membranas (May y Milthorpe, 1962).

Jacobsen y Mujica (1997), determinan tres mecanismos de defensa de las plantas frente al déficit de humedad: evasión, tolerancia y resistencia. Los mecanismos de evasión le permiten eludir los efectos de la sequía debido a las características propias de una especie o cultivar, tales como la maduración más temprana, mayor exploración de agua por la extensión rápida de sus raíces que le permiten escapar de las épocas secas. Los mecanismos de tolerancia le permiten a la planta soportar el déficit de agua en los niveles avanzados de deshidratación, conservando su facultad de recuperación debido a los cambios en el comportamiento temporal de la planta ya sea por una menor pérdida de agua por los estomas o aumentando la capacidad de absorción de la humedad del suelo y el ambiente. Los mecanismos de resistencia de la planta le permiten soportar el déficit de humedad debido a los mecanismos controlados por los genes involucrados directamente en el proceso de la síntesis de las proteínas y almidones o por genes acondicionadores que dan a la planta características especiales de resistencia a la escasez de agua, estas características pueden transmitirse a sus descendientes. La resistencia genética está en función de su composición genética y a la interacción con la sequía. Por lo tanto, existen genes cuyos efectos se manifiestan con la sequía (Jacobsen y Mujica, 1994).

Umaederus *et al.*, (1983), afirman que la papa es una especie tetraploide altamente heterocigótico y un gran número de características pueden ser combinadas y seleccionadas. Sin embargo, estos genes no han podido ser identificados individualmente por tener una expresión cuantitativa que dificulta la selección

Las alteraciones del estrés hídrico es nivel postranscripcional que afecta los mARN y la translocación, lo que hace suponer la existencia de una secuencia de interacciones que funcionarían en forma asociada a nivel de la expresión de los genes (Mc-CUE y Hanson, 1990) reportan que los mecanismos de adaptación de ciertas plantas a la escasez del agua incluyen la síntesis de ciertos metabolitos como: los aminoácidos, aminas cuaternarias, azúcares solubles, polides, poliaminas, compuestos de sulfonio, fructanos y pigmentos. Además el ácido abscísico cumple un rol importante en la expansión de los genes que regulan la síntesis de las distintas proteínas que aparecen bajo situaciones de estrés (Gómez *et al.*, 1998).

3. Parámetros Fisiológicos Bajo estrés hídrico

Kalazich (1993), sostiene que el crecimiento y desarrollo de la planta es vital la presencia de agua, siendo este el reactivo principal para la formación de azúcares por el proceso fotosintético, el medio de transporte de minerales desde el suelo para la turgencia de células y en sí de la planta.

Cuando el contenido de agua es menor las células de la planta se encogen y las membranas plasmática se engrosa pues se comprime y cubre una superficie menor, las paredes celulares se relajan, y la presión osmótica disminuye (Ledent, 2002).

Es así que al estar el vegetal sometido a un factor estresante el organismo crea una reacción de alarma, en el caso de un desequilibrio hídrico la planta lo contrarresta con el cierre de los estomas, evitando así la pérdida de agua desde el interior de la célula del mesófilo y con ello la disminución del transporte y translocación de nutrientes desde la raíz, tallos, yemas que circulan a través del xilema disminuyendo la fotosíntesis y el crecimiento; si este factor estresante continúa por un largo tiempo, la planta llegará a un estado de agotamiento con su muerte (Hanson y Hitze, 1982. Kramer, 1983).

Según Levitt (1967), el estrés por déficit hídrico en términos biológicos puede serconceptualizado de dos tipos: elástico y plástico. El tipo elástico es la disminución de la fotosíntesis como consecuencia del cierre temporal de los estomas de las hojas

ocasionadas por la baja disponibilidad hídrica, situación que tiende a revertirse cuando se normaliza el suministro de agua, en este estado los estomas recuperan la función de intercambiar los gases, promoviendo la turgencia de las células con la consiguiente normalización de la actividad fotosintética. Si por lo contrario la función de los estomas no recupera su normalidad, se dice que la deformación es de tipo plástico, llegando a la abscisión de las hojas.

La presión de turgencia de la planta se traducirá en la disminución del crecimiento de las células, dando así que los órganos del vegetal se vean afectados, es decir la reducción de la síntesis de la pared celular es correlativo a la síntesis de proteínas, lo que implica la disminución de la enzima nitrato reductasa con el aumento del ácido abscísico que actuará en la apertura – cierre de los estomas, por lo que la planta tendrá dificultad para captar el CO₂, disminuyendo el proceso fotosintético. La eficiencia fotosintética viene limitada por dos mecanismos: El incremento del cerrado de los estomas e incremento de la resistencia mesofílica (Beekman y Bouma, 1986).

Así, las plantas con resistencia al estrés hídrico han desarrollado hojas con una cutícula relativamente impermeable en la epidermis y válvulas operadas con turgencia. La epidermis con sus estomas no solo reduce la tasa de CO₂ y vapor de agua, sino que crea un medio para controlar la asimilación y la transpiración a través de los poros estomáticos. De esta forma los estomas desempeñan un papel crucial en el control del equilibrio entre la pérdida de agua y la producción de biomasa (Bodlaender, 1998).

Según Gómez *et al.*, (1998) y Covarrubias (2007), al presentarse déficit hídrico el ácido abscísico (ABA) actúa generando reacciones en las plantas como la activación o desactivación de proteínas, funcionamiento de la bomba sodio potasio en la célula vegetal, el cierre estomático por la entrada de calcio a las células guardianes que provoca el cierre de las mismas, expansión de los genes que regulan la síntesis de las distintas proteínas.

Según Mccue y Hanson (1990), la disminución del crecimiento incluye respuestas metabólicas por la falta de síntesis de metabolitos por parte de la planta los mismos

que contiene nitrógeno como las proteínas, aminoácidos, compuestos cuaternarios y prolinas, y compuestos hidroxilo como azúcares, polioles y oligosacáridos.

Para el caso de prolinas su aumento se debe a tensiones ambientales sobre todo en sequía, actuando estos compuestos orgánicos como osmo regulador y permiten el ajuste osmótico dentro de la planta, otra de las características que se le atribuye es la estabilización sub estructural en las membranas y proteínas (Delauney *et al.*, 1993).

Los procesos de estabilización que se lleva a cabo en la planta es la destrucción de radicales y presenta un efecto tampón en las reacciones de óxido reducción en el metabolismo de las células que se encuentran bajo estrés (Kaviet *et al.*, 2005).

Yoshiba *et al.*, (1997) señalan que las prolinas sirven como marcadores de sensibilidad de sequía y es un indicador de los daños causados por la sequía en lugar de un factor de tolerancia.

Los resultados de trabajos realizados en el cultivo de papa los resultados arrojados dan a conocer que no existe ninguna relación entre las cantidades de prolina existentes en las hojas y la pérdida de materia seca en el tubérculo debido a la sequía (Levy, 1986 y Pérez y Martínez 1994), por otra parte Balarinha (1983), señala que la cantidad de prolina que se encuentre en la planta va a depender de las características de la variedad y la especie, ya que la acumulación de prolina es tan solo un signo de la planta bajo estrés que un mecanismo de tolerancia a la sequía.

Las variaciones genotípicas con la combinación de ambientes con altas temperaturas y déficit severo de agua incrementan la pérdida del rendimiento de las variedades de papa, es así que con altas temperaturas se acelera el desarrollo vegetativo y retrasan los periodos de maduración, teniendo el caso de que variedades tubericen, pero con rendimiento bajo (Gómez *et al.*, 1998).

La escasez de agua produce reducción en el rendimiento, limitación en el desarrollo del cultivo y la aceleración del envejecimiento.

King y Stark, (2000), dicen que la tuberización se considera como una de las etapas más importantes en el ciclo biológico de la papa, un déficit de agua durante esta etapa tiene el mayor efecto negativo sobre el rendimiento, en el caso de que exista fluctuaciones de agua, los tubérculos se verán afectados en cuanto a su forma y tamaño (Nicholas y Ruf, 1967).

La tuberización tardía puede ser descartada como la causa de la reducción en el tamaño del tubérculo y el número de tubérculos, ya que estudios señalan que la reducción del tamaño no fue restringida para materiales tardíos ni para precoces (Schafliiter y Gutiérrez, 2007).

Van Loon (1981), manifiesta que el contenido de materia seca en los tubérculos no es afectado cuando hay condiciones severas de estrés hídrico, plantas moderadamente estresadas y sin estrés, contenían la misma cantidad de materia seca.

4. Efecto del estrés por sequía

El perjuicio que causa la sequía en la papa se ha descrito como consecuencia de: 1) reducción del follaje productivo (escasa emergencia, escasa expansión foliar); 2) reducción de la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar; y 3) reducción del periodo vegetativo o senectud precoz (bajo índice de área foliar). El estrés por sequía en cualquier etapa de crecimiento puede reducir el rendimiento de tubérculos de papa. La emergencia, la iniciación y el desarrollo de tubérculos son, sin embargo, las etapas de mayor vulnerabilidad. La disminución en el rendimiento se debe al escaso número de tubérculos bien logrados y a la mala distribución de su tamaño (Ekanayake, 1994).

La sequía también afecta la calidad de los tubérculos, pues produce grietas durante el crecimiento, tubérculos alargados o ahusados, debido a la maduración alternada con recrecimiento de la cobertura foliar y la expansión celular cíclica de los tubérculos. Asimismo, una sequía transitoria causa mayor número de tubérculos deformes que una sequía continuada (Ekanayake, 1994).

H. MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA SEQUIA

1. Antecedentes

El mejoramiento genético de las plantas aplica numerosos métodos para aprovechar al máximo la variación natural, o bien, para producirla y seleccionar las plantas con las mejores características, es así que el germoplasma vegetal es uno de los recursos renovables más importante de América latina (Leff, 2003).

Estrada (2000), manifiesta desde hace ya 70 años que el fitomejoramiento es de alta relevancia por ello, se empezaron a coleccionar parientes silvestres de varios cultivos, los mismos que han sido depositado en bancos de germoplasma para posteriormente evaluar sus características especiales y usarlas en programas de mejoramientos genéticos por medio de cruzamientos, el uso de biotecnología y la selección de genotipos superiores.

El ambiente está determinado por una serie de condiciones variables para diferentes años en un mismo lugar y para diferentes lugares en un mismo año. Por lo tanto, es necesario repetir las pruebas de adaptación tantas veces como sea posible, a fin de apreciar las reacciones del cultivo ante el ambiente (Estrada, 2000).

Cuesta (2008), señala que la creación de nuevas variedades de papa se da con la finalidad de obtener individuos que presenten características superiores que los progenitores y las variedades ya existentes, por medio de cruzamientos entre individuos con características complementarias de resistencia a enfermedades, rendimientos elevados, buen aspecto de los tubérculos, caracteres de almacenamiento, resistencia a golpes en el transporte y manipuleo, criterios de calidad favorables, materia seca, azúcares reductores, entre otros.

2. Métodos de mejoramiento

a. Selección clonal

Es un método simple que en corto plazo (4-5 años) podemos obtener un genotipo con características superiores que puede ser cultivar mejorado. Consiste en sembrar

clones de papa (material genéticamente uniforme), en varias localidades y años (al menos 3), con el objetivo de seleccionar aquellos genotipos que presenten las mejores características de resistencia a enfermedades, calidad, agronómicas, generalmente realizada participativamente con grupos de evaluadores de clones (Cuesta, 2005 y 2008).

1) Selección por pedigrí

Es el método comúnmente utilizado, consiste en que después de realizar el cruzamiento, la semilla botánica de la generación F2 es sembrada espaciadamente para facilitar la selección. Luego se aplica selección de familias y posteriormente dentro de las familias las mejores plantas son escogidas (Cuesta, 2008).

2) Cruzamientos (Hibridación)

Es el método más antiguo utilizado y que continúa empleándose con mucho éxito. El cual se basa en la correcta selección de progenitores para el desarrollo de progenies y posterior selección de individuos dentro de progenies durante varios ciclos en Estación Experimental y campos de agricultores (Cuesta, 2005 y 2008).

3) Retrocruzas

El objetivo es introducir un carácter en un cultivar de alto valor comercial/económico/agronómico. Al progenitor bien adaptado al cual se le está agregando un carácter se le denomina progenitor recurrente. El progenitor donante del carácter no interviene en las cruza regresivas (Cuesta, 2008).

4) Uso de la Biotecnología:

Acerca del uso de la biotecnología, Cuesta (2008) señala los siguientes aspectos:

- Fusión de protoplastos: Se produce la fusión de las membranas de dos o más células dando lugar a un híbrido somático.

- Doble haploides: Es un método eficiente para producir plantas homocigóticas a partir de plantas heterocigóticas. El material de inicio es inducido a producir DH a partir de células haploides.
- Inducción de mutaciones: Generalmente es utilizada para introducir un carácter en un cultivar de alto valor comercial, económico o agronómico, a través de la inducción artificial para generar cambios en el genoma del cultivo de interés por el uso de radiación ionizante con el Co 60, radiaciones no ionizantes como los rayo ultravioleta (UV), choques térmicos o agentes químico mutagénicos.
- Transformación: Es llevada a cabo añadiendo un gene o genes específicos a una planta, o silenciando un gene, para producir el genotipo deseado. Las plantas resultantes de este proceso se denominan plantas transgénicas. A través de este método se obtiene la planta con el carácter deseado más rápido que usando el mejoramiento clásico.
- Selección asistida por marcadores moleculares (MAS); utiliza marcadores previamente desarrollados asociados a caracteres de interés y debidamente validados en distintos fondos genéticos y ambiente.

5) Mejoramiento participativo:

Los agricultores participan activamente en el proceso de selección desde etapas tempranas del esquema de mejoramiento que pueden ir desde la selección de progenitores, pero comúnmente es más generalizada en las etapas de pruebas regionales en cuatro etapas del cultivo, siembra, floración, cosecha y degustación (Cuesta, 2008).

3. Clones resistentes al estrés hídrico

En investigaciones de los efectos de la sequía en el desarrollo y rendimiento de dos cultivares en Sudáfrica, resultó que las variedades de papa difieren en su habilidad para soportar la sequía, las plantas que tienen una utilidad eficaz del agua presentan resistencia a la sequedad y por consiguiente tienen un rendimiento de biomasa, pero el rendimiento del tubérculo es limitado (Rossoun y Waghmarae 1995).

Además manifiestan que el crecimiento rápido de las plantas en sus primeras fases con un abastecimiento óptimo de agua incide en la resistencia de la sequedad ya que estos vegetales desarrollan mecanismos de protección contra este fenómeno.

En 1983 y 1984 se realizó un ensayo en relación a la respuesta y componentes del rendimiento de 8 genotipos de papa sometidos al estrés hídrico. Los resultados revelaron que los 8 genotipos tienen diferencias marcadas en cuanto a la tolerancia al estrés hídrico. Así, en cuatro variedades de papa, la sequía tuvo más influencia en el proceso del inicio de la tuberización. Mientras, que el número de tallos por semilla no fue afectado. Los resultados para las cuatro variedades restantes indicaron que el desarrollo de los tallos juega un papel importante para la respuesta al estrés hídrico. (Lynch y Tai, 1989).

En el Ecuador se ha realizado varios ensayos a partir del año 2000 en localidades con déficit de precipitación ubicadas entre los 2800 y 3400 m de altitud. En Chimborazo se evaluaron 12 clones promisorios del Programa de Mejoramiento más 4 variedades mejoradas (I-Estela, I-Fripapa, I Natividad, Superchola en tres localidades (Tunshi y Macají). En esta misma provincia se evaluaron 33 clones promisorios del Programa de mejoramiento más 6 variedades mejoradas (INIAP – Estela, INIAP – Fripapa, INIAP – Cecilia, INIAP – Pan, Superchola, Brenda) en tres localidades (Tiazo, Pusniag y Santa Lucía de Chuquipoglio). En las Provincias de Cotopaxi (Colegio Agropecuario Simón Rodríguez) y Tungurahua (Instituto Agropecuario Luis A. Martínez), se evaluaron 37 clones y cinco variedades mejoradas (INIAP – Estela, INIAP – Fripapa, INIAP – Cecilia, Superchola y Brenda). Se registró información del porcentaje de emergencia, altura de planta, vigor, cobertura, senescencia, materia seca del tubérculo, rendimiento y sus componentes. En invernadero se estableció un ensayo en la provincia de Pichincha, se evaluaron 20 variedades nativas, 7 mejoradas y 23 clones promisorios; se evaluaron dos niveles, uno con estrés hídrico y otro con riego; las variables del ensayo fueron potencial de recuperación, contenido relativo de agua, rendimiento, materia seca y eficiencia de uso del agua. (Cuesta, 2008).

I. GENOTIPO.

Según Gardner (2002), en la genética hay dos términos que son útiles y es el fenotipo que se refiere a la expresión visible de las características y el genotipo se refiere a las características genéticas (genes); su valor fenotípico (P) se divide en componentes atribuibles a las influencia del genotipo (G) y del ambiente (A). $P = G + A$ y el genotipo a la constitución genética real es decir arreglo de los genes que posee un individuo.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Material Biológico

Tubérculos semilla de variedades mejoradas (3) y clones promisorios (3).

2. Materiales y equipos de campo

Fertilizantes, fungicidas, insecticidas, herramientas de labranza, bomba de mochila, balanza, flexómetro, cámara fotográfica, GPS, estacas, piola, letreros, etiquetas, mallas, fundas, medidor de clorofila, tensiómetros, bloques de yeso, estación meteorológica, botellas.

3. De oficina

Libro de campo, computador, marcadores, calculadora.

B. METODOLOGÍA

Para evaluar los genotipos de papa (*Solanum spp.*) con características de tolerancia al déficit hídrico, se realizaron dos manejos: el uno en condiciones favorables para el desarrollo de cultivo “Con Riego” y el segundo con un aporte hídrico reducido en el estado fenológico de floración “Sin Riego”; instalándose en dichos métodos un sistema de riego por goteo para evaluar la capacidad de recuperación de las plantas después del déficit hídrico.

Además la aportación de agua fue mínima permitiendo a los genotipos de papa (*Solanum spp.*) cumplir su ciclo fenológico, para ello se realizó un calendario de riego, con los siguientes parámetros de evaluación:

1. Medición de agua en el suelo

a. Contenido gravimétrico de agua en el suelo “Porcentaje de humedad”.

El porcentaje de humedad se determinó tomando una muestra representativa de cada manejo (Con Riego y Sin Riego) a una profundidad de 0 - 15, 15 - 30 y 30 - 45 cm., en forma diaria y luego aplicando la fórmula (Ekanayake, 1994 y Enciso, 2005):

$$\text{Humedad del Suelo}(\%) = \frac{P.S.H. - P.S.S.}{P.S.S} * 100$$

Dónde:

P.S.H. = Peso suelo húmedo, pesado inmediatamente tomada la muestra de suelo.

P.S.S. = Peso suelo seco, muestra de suelo pesada después de colocarla en la estufa (105°C) durante 24 horas.

2. Potencial mátrico del suelo

a. Tensiómetros

Los tensiómetros se colocaron en el centro de los dos manejos (Con riego y Sin riego), en el lomo del surco, a una profundidad de 15, 30, 45 y 60 cm, la lectura se la realizó en la mañana ya que el movimiento de agua en el suelo y hacia la planta es insignificante existiendo un estado de equilibrio, y la interpretación de las lecturas de acuerdo a la **Tabla 2**(Ekanayake, 1994 y Fuente, 2006).

b. Bloques de yeso

Los bloques de yeso (sensores) se colocaron a una profundidad de 15, 30 y 45 cm cuyas lecturas se hicieron con el medidor de humedad y la interpretación de las lecturas de acuerdo a la **Tabla 4**(DELMHORST, 1999).

3. Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto)

La Eto es una cantidad que depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente se la determinó con la siguiente fórmula:

$$Eto = Ev * Kp$$

Dónde:

Eto = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Ev = Evaporación (mm)

Kp = Datos climáticos: humedad relativa (HR %), velocidad del viento (m/s), barlovento.

La evaporación se la registró en forma diaria con la ayuda del tanque de evaporación clase A y tanque casero.

En el Caso de Kp los datos climáticos como la Humedad relativa (HR) lo determinamos con la estación meteorológica portátil, la velocidad del viento con el anemómetro, estos valores lo interpolamos en la **Tabla 6** obteniendo el valor de Kp (León y Trezza, 1998).

4. Evapotranspiración del cultivo (Etc)

Para el cálculo de la Etc se basó en la siguiente ecuación:

$$Etc = Kc * Eto$$

Dónde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Eto = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo (adimensional)

El Kc lo determinamos mediante la fórmula de Hargraves que es $0,01335 + 0,04099 \times (\text{Etapa del cultivo}) - 0,0004 \times (\text{Etapa del cultivo})^2$ para lo cual se necesitó conocer la duración del ciclo de cultivo de papa desde la siembra a cosecha, cuyo valor fue tomando como referencia utilizando los datos de Jaramillo, (2012).

Para la determinación de la precipitación se utilizó el pluviómetro y un pluviómetro casero, ayudado de una probeta para la medición respectiva (León y Trezza, 1998).

C. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EXPERIMENTAL

1. Ubicación

La presente investigación se realizó en el Campus Macají, de la localidad Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, sus características son las siguientes:

Ubicación geográfica:

Latitud:	1°39'18,82" S
Longitud:	78°40'39.99" O
Altitud:	2.821 m.s.n.m.

Condiciones climáticas:

Temperatura:	13,5 °C
Precipitación:	350 mm/año
Humedad relativa:	59,6 %

Fuente: Peña, (2013).

2. Características del suelo.

Los resultados del análisis físico – químico de suelo se presentan en el **Cuadro 2**.

Cuadro 1. Contenido de nutrientes según el análisis de suelo en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

NUTRIENTE	UNIDAD	VALOR	INTERPRETACIÓN
Nitrógeno	Ppm	29,00	Bajo
Fósforo	ppm	31,00	Alto
Potasio	meq/100ml	0,28	Medio

Calcio	meq/100ml	8,40	Alto
Magnesio	meq/100ml	4,00	Alto
Materia orgánica	%	1,20	Bajo
pH		7,70	Ligeramente alcalino
Textura			Franco Arenoso

Fuente: INIAP, (2013).

3. Clasificación Ecológica.

Según Holdrige (1982), la localidad se encuentra en el rango de estepa espinosa Montano Bajo (eeMB).

D. ESPECIFICACIONES DEL EXPERIMENTO

1. Diseño experimental

Se utilizó el diseño de parcela dividida en donde la parcela grande fue el factor riego (Con riego y Sin riego) y las parcelas pequeñas fueron los genotipos, el ensayo tuvo tres repeticiones.

2. Especificación de la parcela experimental.

Las características de las parcelas experimentales se detallan en el **Cuadro 2**, las mismas que se distribuyeron al azar en cada repetición y su disposición en el campo se presenta en el **ANEXO 1**.

Cuadro 2. Característica de la parcela experimental para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*), con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

CARACTERISTICAS	
Número de unidades experimentales	36
Numero de tratamientos	12
Numero de repeticiones	3

Área total de experimento	492 m ²
Largo del ensayo	24 m
Ancho del ensayo	18 m
Distancia entre repeticiones	0,5 m
Número de caminos	5
Características de la parcela experimental.	
Número de tubérculos / parcela	40
Número de surcos.	4
Ancho de la parcela	3 m
Largo de la parcela	4 m
Distancia entre surcos.	1 m
Distancia entre plantas.	0,3 m
Número de plantas evaluadas.	16
Área neta de parcela.	4,8 m ²
Área total de la parcela	12 m ²
Forma de parcela	Rectangular

3. Factores en estudio

a. Factor A (Riego)

CR: Con Riego

SR: Sin Riego

b. Factor B (Variedades y clones promisorios de papa (*Solanum spp.*))

Seis genotipos (clones y variedades) de papa (*Solanum spp.*) del PNRT – INIAP,

GENOTIPO	NOMBRE
G1	Estela (Variedad testigo tolerante)
G2	Natividad (Variedad testigo)
G3	Superchola (Variedad testigo susceptible)

G4	*10 – 10 – 97 (<i>Bolona x (CHS625 x S. pausissectum)</i>)
G5	* 07 – 29 – 11 (<i>ASO861 x HSO213</i>)
G6	* 98 – 02 – 06(<i>INIAP Gabriela x INIAP Margarita</i>)

* Codificación del PNRT – papa (Los dos primeros dígitos representan el año cuando se seleccionó el clon, los siguientes dígitos representan la familia y el último representa el número del segregante).

4. Tratamientos

Los tratamientos resultaron de la combinación de los factores en estudio:

TRATAMIENTOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
T1	CRG1	Con Riego + INIAP Estela
T2	CRG2	Con Riego + INIAP Natividad
T3	CRG3	Con Riego + Superchola
T4	CRG4	Con Riego + 10 – 10 – 97
T5	CRG5	Con Riego + 07 – 29 – 11
T6	CRG6	Con Riego + 98 – 02 – 06
T7	SRG1	Sin Riego + INIAP Estela
T8	SRG2	Sin Riego + INIAP Natividad
T9	SRG3	Sin Riego + Superchola
T10	SRG4	Sin Riego + 10 – 10 – 97
T11	SRG5	Sin Riego + 07 – 29 – 11

T12	SRG6	Sin Riego + 98 – 02 – 06
-----	------	--------------------------

5. Esquema del análisis estadístico.

Tabla 9. Esquema de análisis de varianza para la evaluación de genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

FUENTES DE VARIACIÓN	FÓRMULA	GRADOS DE LIBERTAD
Repeticiones	$r - 1$	2
A (Riego)	$a - 1$	1
Error A	$(a - 1) * (r - 1)$	2
B (Genotipos)	$b - 1$	5
Interacción AxB	$(a - 1) * (b - 1)$	5
Error B	$a(b - 1) * (r - 1)$	20
Total	$(a * b * r) - 1$	35

6. Análisis Funcional.

- a. Para los factores e interacciones con significancia estadística se utilizó la prueba de significación de Tukey al 5%.

E. VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN.

1. Porcentaje de emergencia.

Se contabilizó el número de plantas emergidas y se relacionó con el número de tubérculos sembrados en la parcela y se expresó en porcentaje.

2. Altura de planta.

La altura se midió a partir del cuello hasta el ápice del tallo en seis plantas tomadas al azar de la parcela neta, a los 45, 75, 105 días después de la siembra.

3. Cobertura del suelo.

Se realizó la estimación visual de las plantas de la parcela neta de cada uno de los tratamientos a los 75 días después de la siembra, para lo cual se utilizó la escala 1 a 3, citado en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Escala para determinar la cobertura de suelo de los genotipos de papa (*Solanum spp.*) sometidos al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

VALOR	CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Regular	El follaje no cubre entre plantas ni entre surcos.
2	Bueno	El follaje cubre entre plantas.
3	Muy Bueno	El follaje cubre plantas y surcos.

Fuente: CUESTA, (2008).

4. Vigor de la planta.

El vigor se evaluó a los 75 días después de la siembra, considerando aspectos generales de las plantas como: sanidad, cobertura de suelo, altura y frondosidad de planta. Para calificar esta variable se utilizó la escala de 1 a 3 (**Tabla 11**).

Tabla 11. Escala para determinar el vigor de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

VALOR	CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Poco vigor	La planta presenta poca frondosidad y no cubre el surco.
2	Medio	La planta presenta media frondosidad y cubre la mitad del surco.
3	Vigorosa	La planta presenta frondosidad y cubre el surco.

Fuente: CUESTA, (2008).

5. **Tuberización.**

Se contabilizó los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela neta, presentaron estolones con hinchamiento en su extremo. Los valores se expresaron en días después de la siembra (dds).

6. **Floración.**

Se contabilizó los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela neta presentaron flores abiertas. Los valores se expresaron en días después de la siembra (dds).

7. **Senescencia.**

Se contó el número de días transcurridos desde la siembra hasta cuando el 50% de las plantas de la parcela neta presentaron el 50% de follaje café. Para la medición de esta variable se utilizó la escala presentada en la **Tabla 12**, los valores se expresaron en días después de la siembra (dds).

Tabla 12. Escala para determinar los días a la senescencia para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

VALOR	DESCRIPCIÓN.
1	Plantas verdes.
2	Hojas superiores con los primeros signos de amarillamiento.
3	Hojas amarillentas.
4	25% de tejido foliar café.
5	50% de tejido foliar café.
6	Más del 75% del tejido foliar café.
7	Plantas muertas.

Fuente: CUESTA (2008).

8. Potencial de recuperación.

Al momento en que los genotipos iniciaron el período de floración se evaluó el potencial de recuperación (**Tabla 13**) es decir en “condiciones normales”, luego se cortó el suministro de agua y se evaluó la marchitez de la planta a partir del día 20 de déficit hídrico, inmediatamente existió la restitución de agua a los genotipos y se evaluó su recuperación 24 horas después del riego.

Tabla 13. Escala usada para registrar plantas con síntomas de marchitez y el potencial de recuperación después de un severo estrés hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Registro de marchitamiento y recuperación	Porcentaje estimado de área foliar turgente	Descripción de los síntomas
9	> 95	Todas las hojas turgentes.
8	80	
7	70	Hojas inferiores marchitas
6	60	
5	50	Medio inferior de la planta marchita.
4	40	
3	30	Hojas altas todavía turgentes
2	20	
1	5	Planta completamente marchita
0	0	Hojas señalan necrosis

Fuente: Beekmay Bouma,(1986).

9. Contenido de clorofila.

Se midió el contenido de clorofila de las hojas con la ayuda de un medidor MINOLTA SPAD-502, cuando empezó la floración en condiciones normales, luego en condiciones de déficit hídrico y posterior al riego para determinar la recuperación de los genotipos y la cantidad de clorofila de cada tratamiento.

10. Contenido relativo de agua (WRC).

El contenido relativo de agua (WRC) se determinó cuando empezó la floración en condiciones normales, luego en condiciones de déficit hídrico y posterior al riego. Para su evaluación se tomó una muestra (hoja) al azar de cada planta y se determinó el peso fresco, luego se sometió a una inmersión prolongada (aproximadamente de 12 horas) en agua destilada, y se obtuvo el peso turgente. Se colocó la muestra al horno por 48 horas a 65°C hasta alcanzar un peso constante y se determinó el peso seco, finalmente se aplicó la fórmula señalada a continuación (Smart y Bingham, 1974):

$$WRC(\%) = \frac{Pf - Ps}{PT - Ps} * 100$$

Dónde:

Pf = *Peso fresco de la muestra de hojas.*

PT = *peso turgente de la muestra de la hoja.*

PS = *Peso seco de la muestra de hojas.*

11. Materia seca

Se extrajo una planta completa representativa por tratamiento para registrar el peso seco de cada órgano, hojas, tallos, tubérculos y raíz.

El proceso de preparación para el pesado en fresco se realizó de forma rápida y bajo sombra para evitar la pérdida de peso del material vegetal (Peso fresco), luego se separó por órgano, hojas, tallos, tubérculos y raíz, registrando su peso fresco total (PFT) de hoja, tallo y tubérculo, por separado.

Posterior se colocó en bolsas de papel y se etiquetó, colocándolas en la estufa a 100 °C durante 24 horas o hasta obtener peso constante, obtenido el peso seco de la muestra (PSM).

Para estimar el peso seco total de cada órgano (PST), se usó la fórmula (Bonierbale *et al.*, 2010):

$$PST = \frac{(PFT * PSM)}{PFM}$$

Dónde:

PST = Peso seco total

PFT = Peso fresco total

PSM = Peso seco de la muestra

PFM = Peso fresco de la muestra

Finalmente para conocer el porcentaje de materia seca (Bonierbale *et al.*, 2010), se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Materia Seca} = \frac{\text{Peso materia seca}}{\text{Peso materia húmeda}} \times 100$$

12. Rendimientos y sus componentes.

a. Plantas cosechadas.

Se contabilizó el número de plantas cosechadas dentro de la parcela neta.

1) Número de tubérculos por planta.

Se tomó 6 plantas de la parcela neta al azar, de las cuales se contabilizó el número de tubérculos por planta y se realizó un promedio como dato final.

2) Rendimiento por planta.

El rendimiento se calculó en base al peso total de los tubérculos a la cosecha de la parcela neta, dividida para el número de plantas cosechadas, el promedio se expresó en Kg/planta.

3) Rendimiento por tamaño del tubérculo.

Para la determinación del rendimiento por tamaño del tubérculo se clasificó los tubérculos cosechados de la parcela total en tres categorías: papa comercial de primera (peso mayor a 60 g), papa para “semilla” de segunda (peso entre 30 a 60 g.) y papa de desecho (peso menor a 30 g). Los resultados se expresarán en Kg/categoría.

4) Rendimiento total.

Se determinó cosechando la parcela neta de las tres repeticiones, la misma que se sumó y se sacó un promedio, el resultado se expresó en kg/parcela.

5) Porcentaje de materia seca del tubérculo.

Para la determinación de la materia seca se realizó con la metodología propuesta por Bonierbaleet *al.*, (2010), la misma que señala picar 5 tubérculos (un total de 500 g aproximadamente) en cubos pequeños de 1 o 2 cm, mezclar bien y tomar submuestras de 200 g cada una que correspondan a todas las partes de los tubérculos, y registrar los datos como peso fresco de la muestra; colocamos la muestra en una bolsa de papel o un recipiente abierto y ponemos en una estufa a 80°C por 72 horas controlando el peso de las muestras a intervalos regulares hasta que tengan peso constante y se registra. Se aplicó la siguiente fórmula para conocer el porcentaje de materia seca:

$$\% \text{ Materia Seca} = \frac{\text{Peso materia seca}}{\text{Peso materia húmeda}} \times 100$$

13. Selección de los genotipos.

La selección de genotipos se la realizó por medio de la tabulación y análisis de datos tomados en las unidades experimentales, teniendo en consideración la capacidad de recuperación de los genotipos luego de someterlos a estrés hídrico, el contenido de clorofila y rendimiento. Comparando los genotipos del ensayo con déficit hídrico, con el ensayo que presenta condiciones favorables de humedad.

F. MANEJO AGRONÓMICO DEL ENSAYO.

Las labores se realizaron de acuerdo a las sugerencias del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos, rubro papa del INIAP.

1. Labores pre – culturales

a. Análisis de suelo.

Las muestras de suelo se tomó en zig – zag y a una profundidad de 0-20cm en cada lote del ensayo las mismas que se remitieron al laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP para su análisis físico – químico (ANEXO 4).

b. Preparación del suelo.

La preparación del suelo se lo llevó a cabo con la ayuda de un tractor realizando un pase de arado y dos de rastra a una profundidad de 0,4 m, y el surcado se lo realizó a una distancia aproximada de un 1 metro.

c. Siembra.

La siembra se realizó utilizando semilla del programa de mejoramiento de papa del INIAP colocando un tubérculo a una distancia de 0,3 m y una profundidad de 0,1 – 0,12 m.

d. Trampeo.

1) Trampa para gusano blanco (*Premnotrypes vorax*)

Se colocó trampas antes de la siembra para monitorear la población de insectos adultos de gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) de la papa, mismas que se realizó con follaje fresco de papa, al que se aplicó un insecticida “profenofos” (Curacrón) y cubierto con un cartón, esta metodología se la realizó por 2 veces (Gallegos *et al.*, 1997).

2) Trampas cromáticas

Se instalaron botellas de color amarillo a las que se abrió orificios en su parte media y se los llenó con agua y aceite con la propósito de que los insectos plaga al verse atraídos estos no puedan salir y así disminuir su población (Suquilanda, 2011).

e. Prevención de heladas

Se colocaron botellas hasta las $\frac{3}{4}$ con agua, luego se las ubicó en cada tratamiento en el lomo de los surcos enterradas las $\frac{3}{4}$ partes; el agua dentro de las botellas mantienen una temperatura promedio de 3°C , que acumularon calor en las horas del día, para suavizar la baja temperatura en el ambiente (Aguirre, 1996).

f. Fertilización

1) Edáfica

Se realizó en base del análisis de suelo, la cantidad de fertilizante se dividió en dos partes: la primera se colocó a la siembra aplicando un fertilizante 13N – 32P – 11K – 3Mg – 4S (fertipapa siembra), un total de 0,72 Kg/unidad experimental al fondo de surco y la segunda se incorporó al aporque 15N - 17P - 19K - 3Mg - 4S - 0,3B (fertipapa aporque) colocando 0,8 Kg/unidad experimental.

2) Foliar

Se realizó aplicaciones foliares:

- Nutrit-ha que es compuesto a base de 3%N-2%P-2%K-2%Mg + microelementos quelatizados en ácidos orgánicos. Dosis de 10 cc/lit
- Bioplus compuesto a base de ácidos húmicos, tritofano + microelementos. Dosis de 10 cc/lit.

2. Labores culturales

a. Control de malezas.

El control de malezas se realizó aproximadamente a los 30 días después de la siembra, aplicándose un herbicida selectivo “Metribuzina” (Abax 480) en dosis de 426 cc/ha.

b. Aporque.

Con la finalidad de eliminar malezas, aflojar el suelo y estimular la tuberización de los genotipos se realizó esta labor.

c. Control de plagas y enfermedades.

Para el control de plagas no se realizó ninguna aplicación ya que con el trampeo no se encontró ningún insecto plaga que afecte al cultivo.

Las enfermedades presentes fueron “*Phytophthora infestans*” misma que para su control se realizó aplicaciones de:

Ingrediente Activo	Nombre Comercial	Dosis/ha
Propineb + Cimoxanil	Fitoraz 76 PM	1,5 Kg
Dimetomorf + Mancozeb	Coraza	1,8 Kg
Fosetirl - Al	Fosetil Aluminio 80 Wp	3 Kg

También hubo la presencia de Cenicilla “*Oidium sp*” misma que se realizó una aplicación de Myclobutanil (Letal) a una dosis de 76,3 g/ha

d. Cosecha.

Se la realizó en forma manual cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. CONDICIONES CLIMÁTICAS

1. Temperatura y precipitación

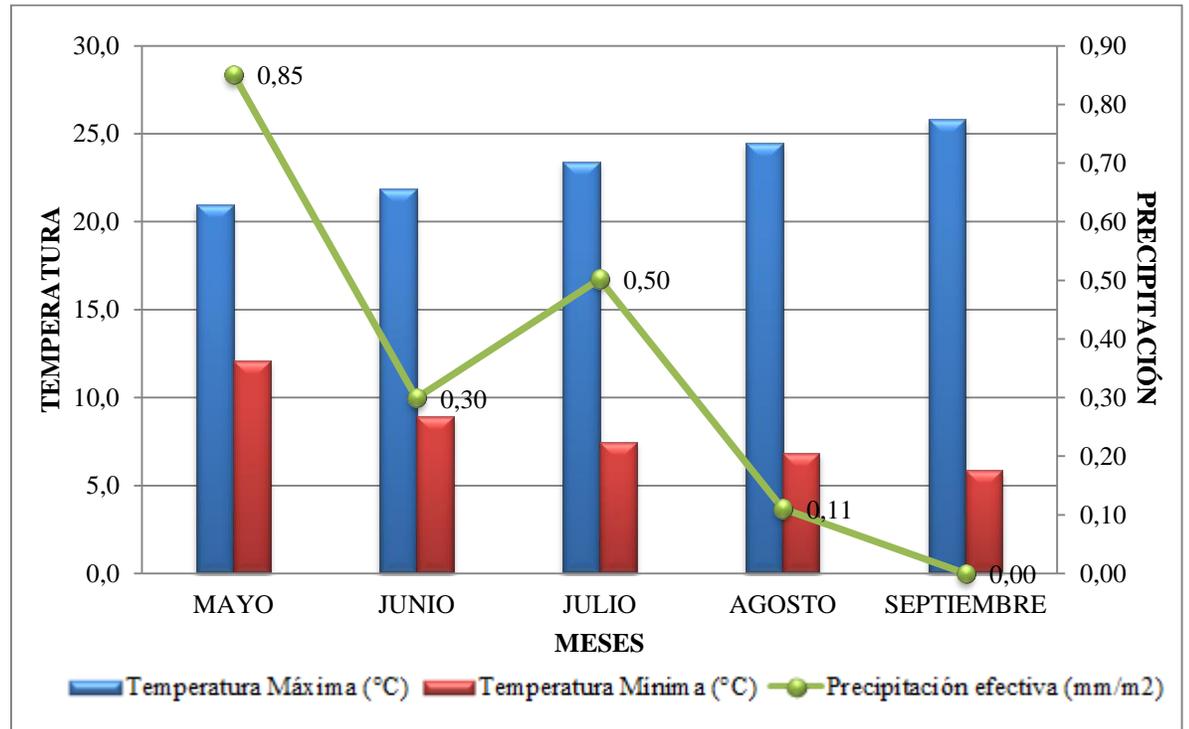


Gráfico 1. Temperatura y precipitación durante el ciclo de cultivo de los seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

En el gráfico se presentan valores promedio máximos y mínimos de temperatura durante los meses de Mayo a Septiembre del 2013. Se aprecia que la temperatura máxima se fue incrementando gradualmente desde 21 °C en Mayo hasta 26,4 °C en Septiembre. En cambio la temperatura mínima fue desendiendo gradualmente a partir de Mayo a un promedio de 12,1 °C hasta llegar a Septiembre donde se registró un valor de 5,9 °C. La FAO (2008), señala que cultivo de la papa no tolera las temperaturas mínimas bajo los 10°C y máximas a 30°C mismas que inhiben el desarrollo del tubérculo, mientras que la mejor producción ocurre donde la temperatura diaria se mantiene en promedio de 18 °C a 20 °C.

Para el caso de la precipitación en términos generales también se redujo en Mayo, mes en el cual se registró un valor de 0,85 mm, bajó a 0,3 mm en Junio, luego 0,5 mm en Julio, 0,11 mm en Agosto y finalmente desciende a 0 mm en Septiembre. Según Simpfendofer (2000), el cultivo de papa en pleno desarrollo las precipitaciones inferiores a 10 milímetros no son efectivas para el cultivo ya que estas quedan retenidas en las hojas y se evaporan.

2. Humedad relativa y velocidad del viento

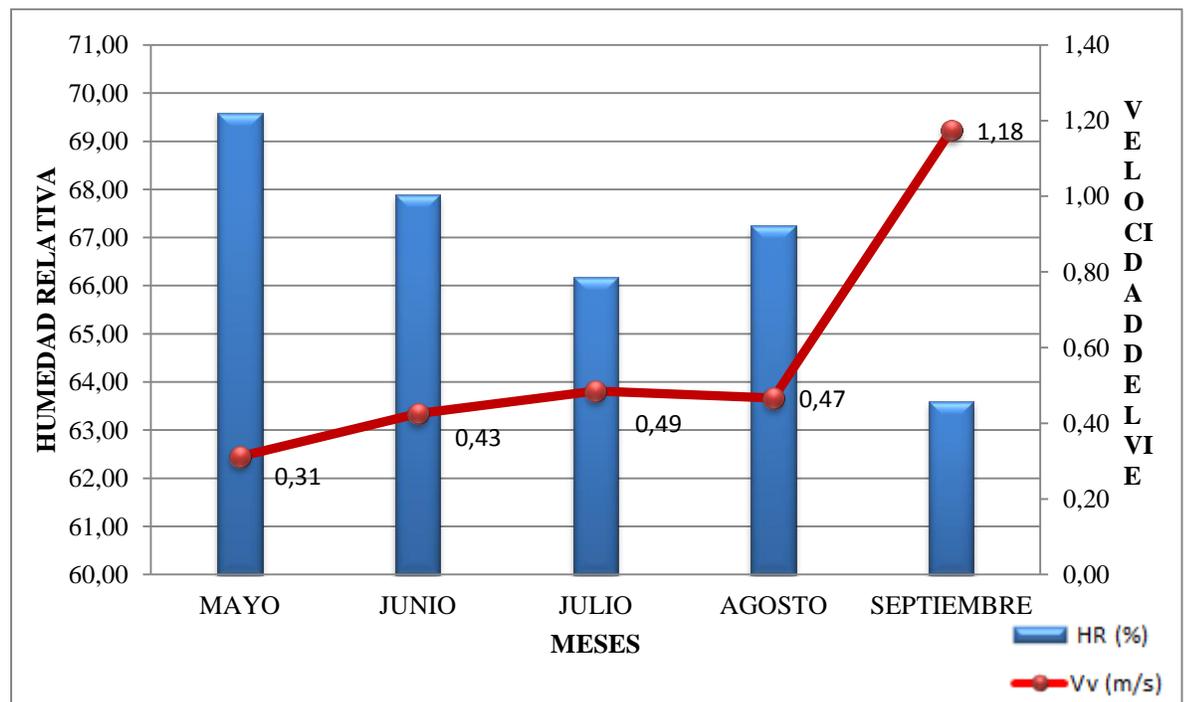


Gráfico 2. Humedad relativa y velocidad del viento durante el ciclo de cultivo de los seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Como podemos observar en el **Gráfico 2**, los valores mensuales promedio del viento se encuentran entre 0,31 a 1,18 m/s, considerándola como “no perjudicial” para el desarrollo de los genotipos de papa (*Solanum spp*) ya que si su influencia fuera mayor según Casierra y Aguilar (2008), puede generar incrementos en las tasas de transpiración, lesiones necróticas (hojas y tallos), generar deshidratación y “estrés hídrico” en las plantas, lo que determina reducciones en la fotosíntesis por cierre estomático y bajas tasas de translocación de asimilados repercutiendo en el rendimiento. El caso de la

humedad relativa promedio fue reduciéndose de 69,6 % en Mayo a 63,6 % en Septiembre, con un ligero incremento en Agosto (67,26 %), que no representó ningún efecto negativo para el desarrollo de plagas y enfermedades.

B. COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) DE LOS GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum spp.*) Y SUS REQUERIMIENTOS HIDRICOS.

1. INIAP – Estela

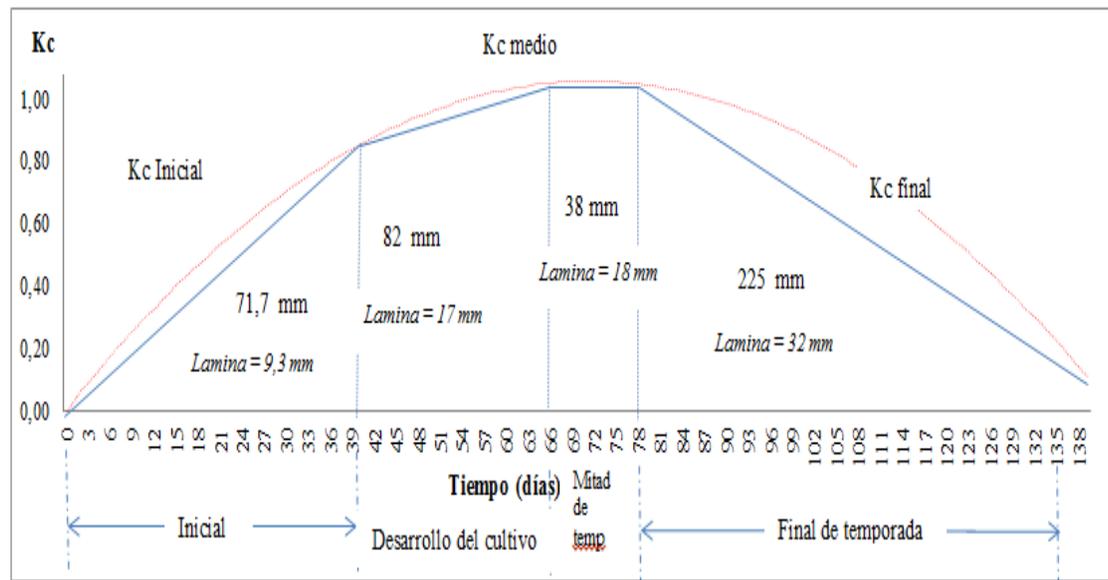


Gráfico 3. Coeficiente de cultivo (K_c) de la variedad INIAP – Estela y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

2. INIAP - Natividad

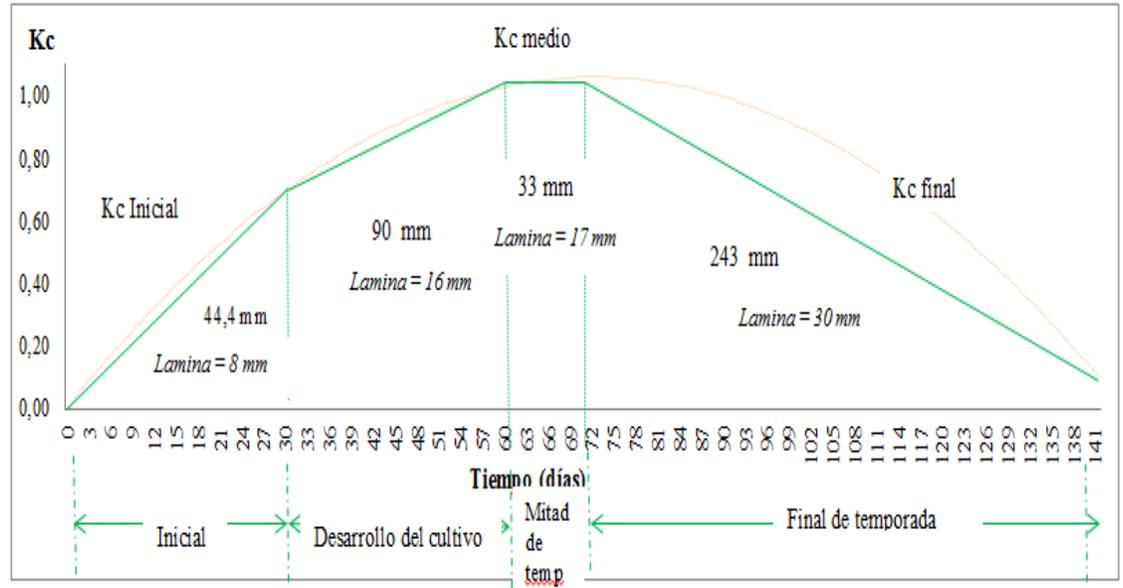


Gráfico 4. Coeficiente de cultivo (Kc) de la variedad INIAP – Natividad y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

3. Superchola

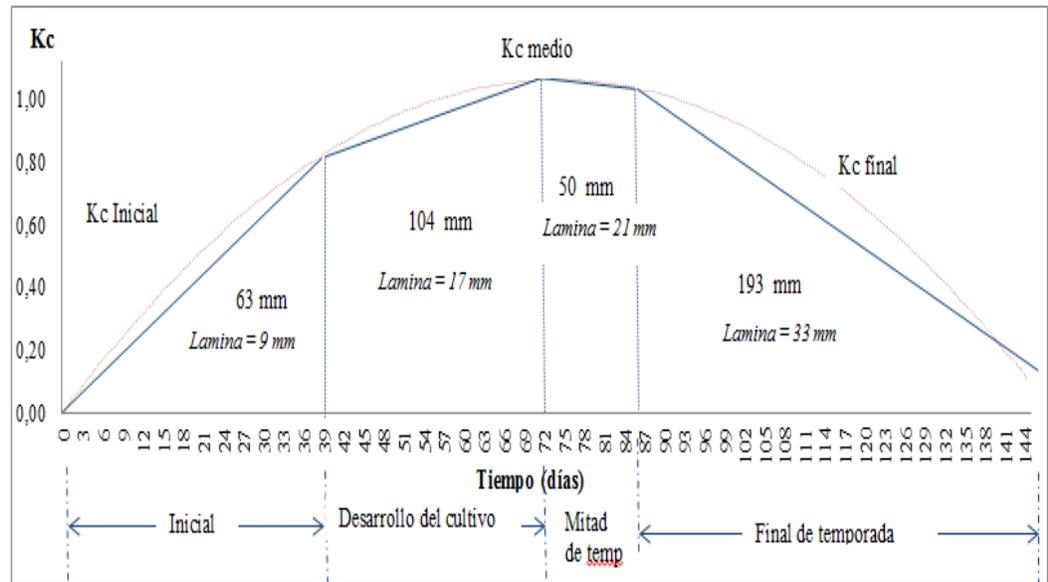


Gráfico 5. Coeficiente de cultivo (Kc) de la variedad "Superchola" y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

4. Clon 07 – 29 – 11

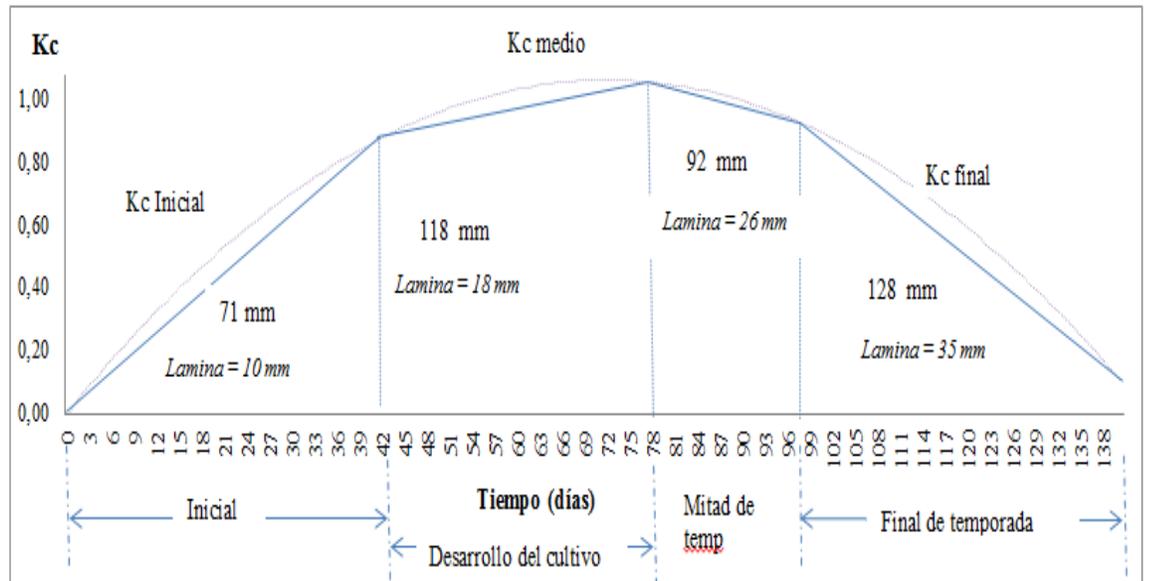


Gráfico 6. Coeficiente de cultivo (Kc) del clon "07 – 29 – 11" y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

5. Clon 98 – 02 – 06

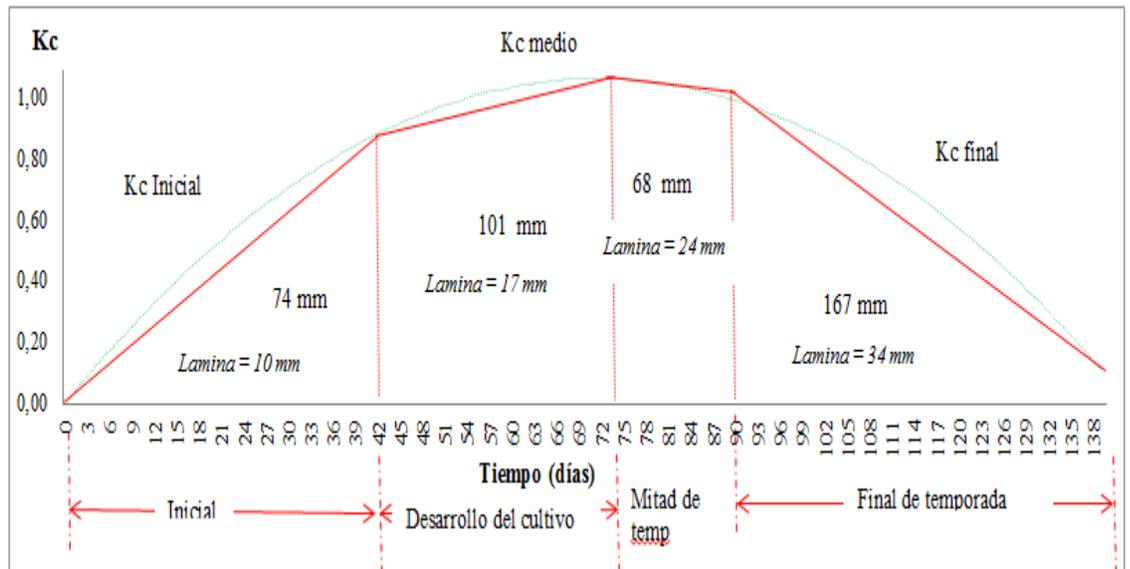


Gráfico 7. Coeficiente de cultivo (Kc) del clon “98 – 02 – 06” y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

6. Clon 10 – 10 – 97

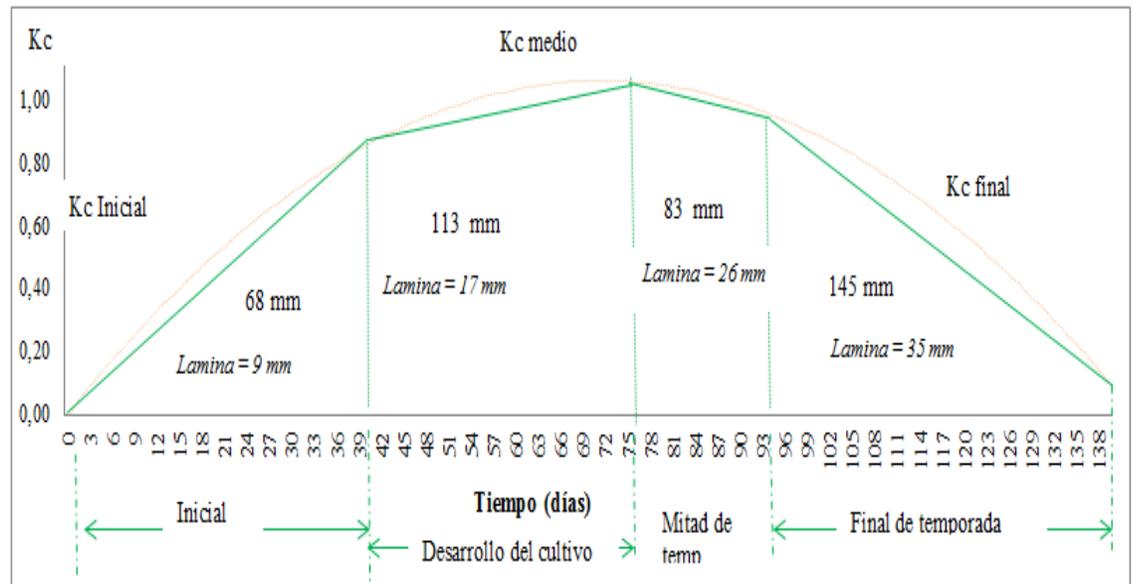


Gráfico 8. Coeficiente de cultivo (Kc) del clon "10 – 10 – 97" y sus requerimientos hídricos por estado fenológico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Cuadro 3. Características de los seis genotipos de papa (*Solanum spp*), duración (días), requerimientos hídricos y lámina de riego promedio de cada fase fenológica del manejo “Con Riego” y “Sin Riego” en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

GENOTIPO	CARACTERÍSTICAS	FASE							
		Inicial		Desarrollo		Intermedia		Final	
	Tipo de manejo	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR
ESTELA	Duración de la fase (días)	39	39	26	25	12	13	62	61
	Requerimiento hídrico (mm/m ²)	71,7	72	82	66	38	35	225	158
	Lámina de riego (mm)	9	10	17	14	18	15	32	24
NATIVIDAD	Tipo de manejo	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR
	Duración de la fase (días)	30	30	31	31	10	9	70	68
	Requerimiento hídrico (mm/m ²)	44,4	48	90	78	33	23	243	174
	Lámina de riego (mm)	8	9	16	14	17	16	30	22
SUPERCHOLA	Tipo de manejo	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR
	Duración de la fase (días)	38	38	33	32	14	14	59	56
	Requerimiento hídrico (mm/m ²)	63	68	104	85	50	28	193	143
	Lámina de riego (mm)	9	10	17	14	21	11	33	26
07 – 29 – 11	Tipo de manejo	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR
	Duración de la fase (días)	41	41	37	37	19	21	43	39
	Requerimiento hídrico (mm/m ²)	71	77	118	97	92	55	128	102
	Lámina de riego (mm)	10	10	18	15	26	16	35	28
98 – 02 – 06	Tipo de manejo	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR
	Duración de la fase (días)	42	42	32	33	16	16	49	47
	Requerimiento hídrico (mm/m ²)	74	79	101	85	68	29	167	138
	Lámina de riego (mm)	10	10	17	14	24	10	34	28
10 – 10 – 97	Tipo de manejo	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR
	Duración de la fase (días)	40	40	36	36	18	18	45	42
	Requerimiento hídrico	68	74	113	93	83	47	145	118

	(mm/m ²)								
	Lámina de riego (mm)	9	10	17	14	26	14	35	28

Fuente: Peña, (2013).

CR = Con Riego, SR = Sin Riego

Como podemos observar en el **Cuadro 3** la variedad INIAP – Estela en el manejo “Con Riego” la fase inicial tuvo una duración de 39 días, un requerimiento hídrico de 1,84 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 9 mm/día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 26 días, un requerimiento hídrico de 3,15 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 17 mm/día; en la fase intermedia tuvo una duración de 12 días, un requerimiento hídrico de 3,17 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 18 mm/día y en la fase final tuvo una duración de 62 días, un requerimiento hídrico de 3,63 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 32 mm/día, en resumen la duración del ciclo fue de 139 días, requerimiento hídrico de 416,7 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 19 mm (19 litros/ m²).

En el manejo “Sin Riego” la fase inicial tuvo una duración de 39 días, un requerimiento hídrico de 1,85 mm/m²/día y una lámina de riego promedio de 10 mm/día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 25 días, un requerimiento hídrico de 2,64 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 14 mm/día; en la fase intermedia tuvo una duración de 13 días, un requerimiento hídrico de 2,7 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 15 mm/día y en la fase final tuvo una duración de 61 días, un requerimiento hídrico de 2,59 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 24 mm/día, en resumen la duración del ciclo fue de 138 días, requerimiento hídrico de 331 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 15 mm (15 litros/ m²).

La variedad INIAP – Natividad en el manejo “Con Riego” la fase inicial tuvo una duración de 30 días, un requerimiento hídrico de 1,48 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 8 mm; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 31 días, un requerimiento hídrico de 2,9 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 16 mm/día; en la fase intermedia tuvo una duración de 10 días, un requerimiento hídrico de 3,3 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 17 mm/día y en la fase final tuvo una duración de 70 días, un requerimiento hídrico de 3,47 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 30 mm/día, en resumen la duración del ciclo fue de 141 días, requerimiento

hídrico de 410,4 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 17,75 mm (17,75 litros/ m²).

En el manejo “Sin Riego” la fase inicial tuvo una duración de 30 días, un requerimiento hídrico de 1,6 m³/ m²/día y una lámina de riego promedio de 9 mm; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 31 días, un requerimiento hídrico de 2,52 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 14 mm/día; en la fase intermedia tuvo una duración de 9 días, un requerimiento hídrico de 2,56 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 16 mm/día y en la fase final tuvo una duración de 68 días, un requerimiento hídrico de 2,56mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 22 mm/día, en resumen la duración del ciclo fue de 138 días, requerimiento hídrico de 323 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 15,25 mm (15,25 litros/ m²).

La variedad Superchola en el manejo “Con Riego” la fase inicial tuvo una duración de 38 días, un requerimiento hídrico de 1,66 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 9 mm/día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 33 días, un requerimiento hídrico de 3,15 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 17 mm/día; en la fase intermedia tuvo una duración de 14 días, un requerimiento hídrico de 3,57 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 21 mm /día y en la fase final tuvo una duración de 59 días, un requerimiento hídrico de 5,84mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 33 mm, en resumen la duración del ciclo fue de 144 días, requerimiento hídrico de 410 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 20 mm (20 litros/ m²).

En el manejo “Sin Riego” la fase inicial tuvo una duración de 38 días, un requerimiento hídrico de 1,79 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 10 mm; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 32 días, un requerimiento hídrico de 2,65 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 14 mm; en la fase intermedia tuvo una duración de 14 días, un requerimiento hídrico de 2mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 11 mm y en la fase final tuvo una duración de 56 días, un requerimiento hídrico de 2,55 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 26 mm, en resumen la duración del ciclo fue de 140 días, requerimiento hídrico de 324 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 15,25 mm (15,25 litros/ m²).

El clon 07 – 29 – 11 del manejo “Con Riego” la fase inicial tuvo una duración de 41 días, un requerimiento hídrico de 1,73 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 10 mm /día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 37 días, un requerimiento hídrico de 3,19 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 18 mm /día; en la fase intermedia tuvo una duración de 19 días, un requerimiento hídrico de 4,84 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 26 mm /día y en la fase final tuvo una duración de 43 días, un requerimiento hídrico de 2,98 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 35 mm /día, en resumen la duración del ciclo fue de 140 días, requerimiento hídrico de 409 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 22,25 mm (22,25 litros/ m²).

En el manejo “Sin Riego” la fase inicial tuvo una duración de 41 días, un requerimiento hídrico de 1,88 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 10 mm /día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 37 días, un requerimiento hídrico de 2,62 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 15 mm /día; en la fase intermedia tuvo una duración de 21 días, un requerimiento hídrico de 2,61 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 16 mm /día y en la fase final tuvo una duración de 39 días, un requerimiento hídrico de 2,62 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 28 mm /día, en resumen la duración del ciclo fue de 138 días, requerimiento hídrico de 331 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 17,25 mm (17,25 litros/ m²).

El clon 98 – 02 – 06 en el manejo “Con Riego” la fase inicial tuvo una duración de 42 días, un requerimiento hídrico de 1,76 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 10 mm /día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 32 días, un requerimiento hídrico de 3,16 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 17 mm /día; en la fase intermedia tuvo una duración de 16 días, un requerimiento hídrico de 4,25 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 24 mm /día y en la fase final tuvo una duración de 49 días, un requerimiento hídrico de 3,41 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 34 mm /día, en resumen la duración del ciclo fue de 139 días, requerimiento hídrico de 410 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 21,25 mm (21,25 litros/ m²).

En el manejo “Sin Riego” la fase inicial tuvo una duración de 42 días, un requerimiento hídrico de 1,88 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 10 mm /día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 33 días, un requerimiento hídrico de 2,56 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 14 mm /día; en la fase intermedia tuvo una duración de 16 días, un requerimiento hídrico de 1,81 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 10 mm /día y en la fase final tuvo una duración de 47 días, un requerimiento hídrico de 2,94 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 28 mm /día, en resumen la duración del ciclo fue de 138 días, requerimiento hídrico de 331 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 15,5 mm (15,5 litros/ m²).

El clon 10 – 10 – 97 en el manejo “Con Riego” la fase inicial tuvo una duración de 40 días, un requerimiento hídrico de 1,7 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 9 mm /día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 36 días, un requerimiento hídrico de 3,14 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 17 mm /día; en la fase intermedia tuvo una duración de 18 días, un requerimiento hídrico de 4,61 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 26 mm /día y en la fase final tuvo una duración de 45 días, un requerimiento hídrico de 3,22 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 35 mm /día, en resumen la duración del ciclo fue de 139 días, requerimiento hídrico de 409 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 21,75 mm (21,75 litros/ m²).

En el manejo “Sin Riego” la fase inicial tuvo una duración de 40 días, un requerimiento hídrico de 1,85 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 10 mm /día; en la fase de desarrollo tuvo una duración de 36 días, un requerimiento hídrico de 2,58 mm/m²/día y una lámina de riego promedio de 14 mm /día; en la fase intermedia tuvo una duración de 18 días, un requerimiento hídrico de 2,61 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 14 mm /día y en la fase final tuvo una duración de 42 días, un requerimiento hídrico de 2,81 mm/ m²/día y una lámina de riego promedio de 28 mm /día, en resumen la duración del ciclo fue de 136 días, requerimiento hídrico de 332 mm/ m²/ciclo fenológico y una lámina de riego promedio de 16,5 mm (16,5 litros/ m²).

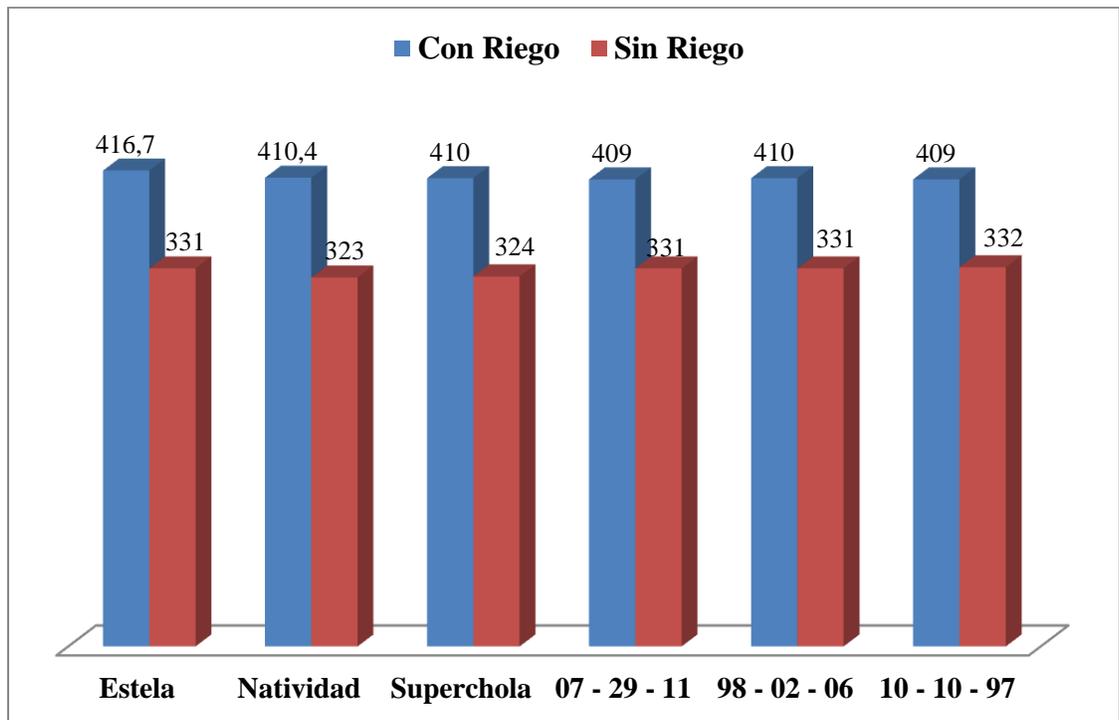


Gráfico 9. Requerimientos hídricos totales (mm/ciclo) de los seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Durante el periodo de crecimiento de los genotipos de papa (*Solanum spp*) de los tipos de manejos presentó cambios en función del grado de crecimiento vegetativo la cobertura del suelo, es decir es un valor que se modificó en el tiempo, creciendo con la planta hasta llegar a un máximo y luego disminuyó, influyendo no solo las características agronómicas de cada genotipo, sino también el factor medioambiental, características del suelo, las prácticas agrícolas y del riego aplicado (Beltri, 2008 y FAO, 2008).

Por lo tanto tomando en consideración lo antes mencionado el genotipo con mayor requerimiento hídrico durante todo el ciclo de cultivo (**Gráfico 9**) fue INIAP – Estela con 416,7 mm/ciclo valor que se encuentra por debajo rango indicado por la FAO (2008), que es de 500 a 700 mm es decir, un requerimiento hidrico menor.

Al respecto Ekanayake, (1994), señala que las condiciones climáticas, suelo y otros factores son variables de una localidad a otra por lo que la cantidad de agua requerida

por la papa está en un rango de 400 a 800 mm entrando todos los genotipos en estudio dentro de este rango.

C. HUMEDAD DEL SUELO

1. Manejo “Con Riego”

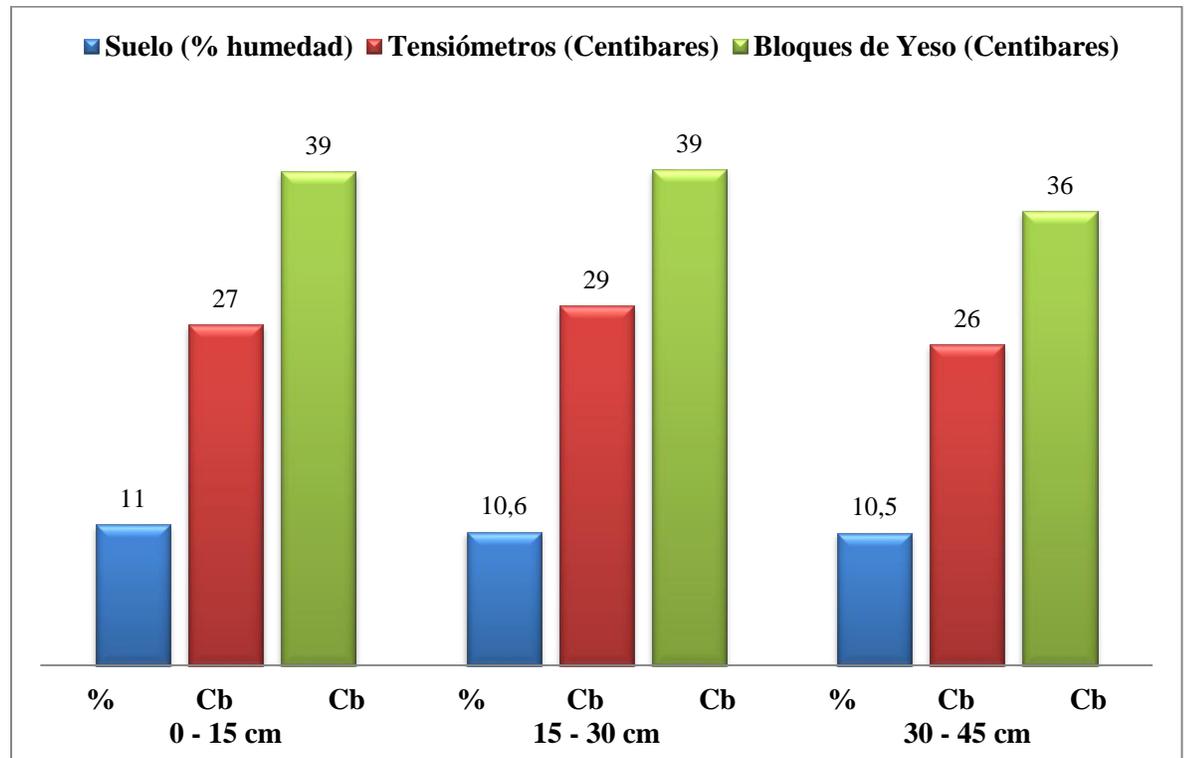


Gráfico 10. Humedad del suelo del manejo “Con Riego” en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Si observamos el **Gráfico 10** la humedad del suelo (Franco arenoso), a profundidades de 0 – 15 cm, 15 – 30 cm y 30 – 45 cm con el método gravímetro fue de 11 %, 10,6 % y 10,5% respectivamente que según Giardini (2004), en la **Tabla 1**, estos valores se encuentran entre 10% a 14 % es decir se mantuvo entre humedad disponible y capacidad de campo evitando llegar a punto de marchitez permanente.

Con los tensiómetros a 15, 30 y 45 cm fueron de 27, 29 y 26 centibares respectivamente, valores que están dentro de un rango de “buen nivel de agua disponible y aireación

”siendo corroborado por Fuente (2006) y León (2012), en la **Tabla 2** y **Tabla 3** respectivamente.

El caso de los bloques de yeso a 15, 30 y 45 cm los valores fueron de 39, 39 y 36 centibares respectivamente que según DELMHORTS (1999), en la **Tabla 4** los niveles de humedad se encuentran dentro de los rangos (10 – 51 centibares) es decir hubo “humedad adecuada” para el desarrollo del cultivo.

Si hacemos una interacción, al tener la humedad del suelo de 10,5 a 11 % en las tres profundidades tenemos valores entre 26 a 39 centibares, logrando con la aplicación de riego en el momento exacto y con la cantidad apropiada, que incida en la emergencia, crecimiento desarrollo y sobretodo un buen rendimiento de los genotipos de papa.

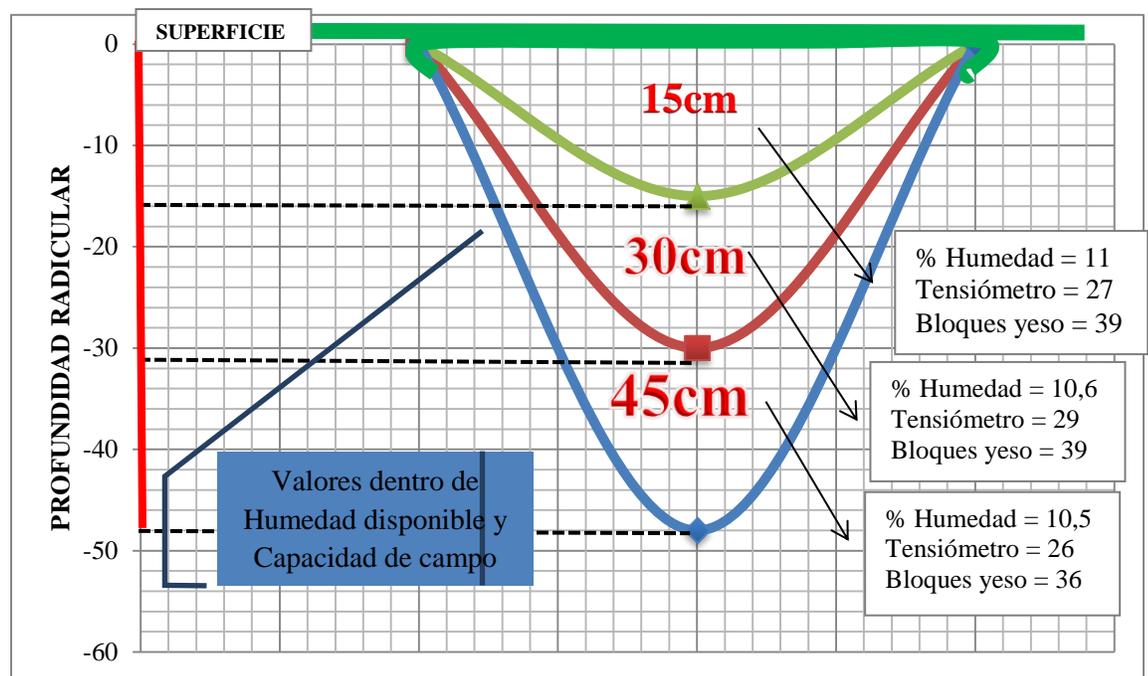


Gráfico 11. Humedad del suelo y profundidad radicular del manejo “Con Riego” en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

El **Gráfico 11** permite observar la disponibilidad de humedad a diferentes profundidades (15, 30 y 45 cm) misma que se mantuvo entre humedad disponible y capacidad de campo, permitiendo que a medida que el sistema radicular de los genotipos crecía toda el agua de la capas del suelo sea disponible, para compensar las pérdidas debido a la

evapotranspiración. Por lo tanto con la disponibilidad de humedad aprovechable se afirma lo expuesto por Kleinkopf y Westermann (1981) y (León, 2012) las raíces son órganos que se desarrollan en función de la cantidad de agua y suelo (franco arenoso); prolongándose su desarrollo durante toda la etapa de cultivo de papa, alcanzando un crecimiento radicular promedio de 48 cm.

2. Manejo “Sin Riego”

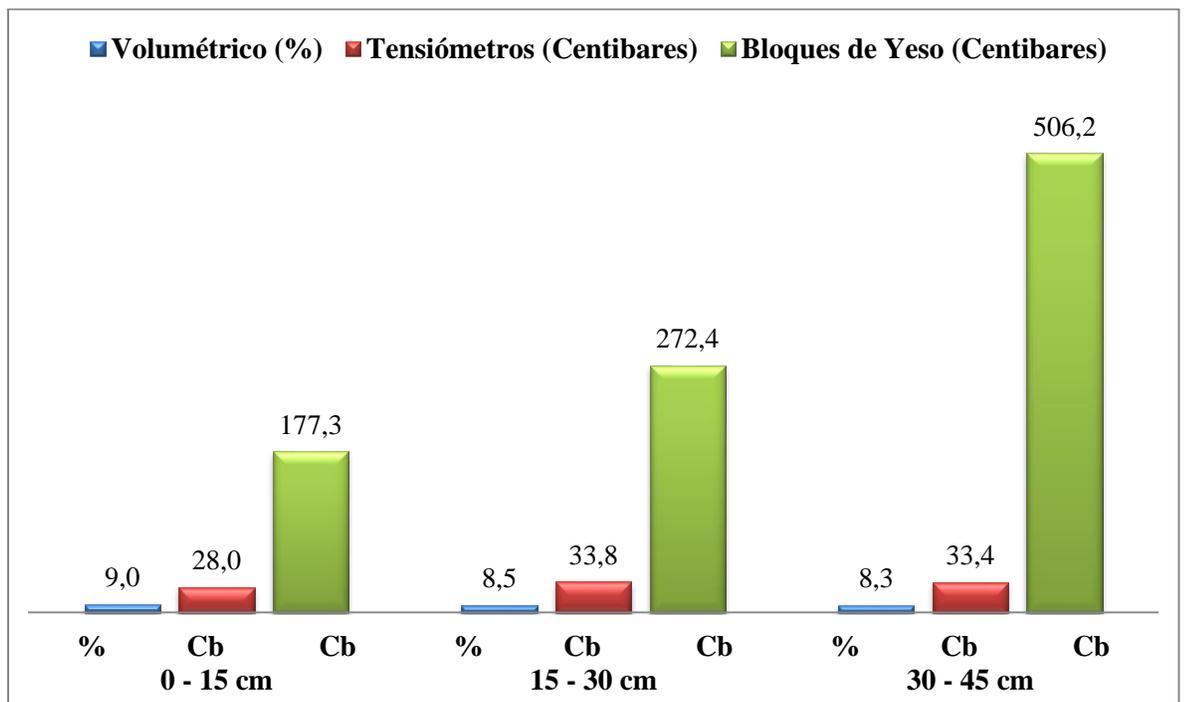


Gráfico 12. Humedad del suelo del manejo “Sin Riego en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

El **Gráfico 12** muestra que la humedad del suelo a profundidades de 0 – 15 cm, 15 – 30 cm y 30 – 45 cm con el método gravímetro fueron de 9, 8,5 y 8,3 % respectivamente que según Giardini (2004), en la **Tabla 1** estos valores no se encuentran dentro de una humedad adecuada por el contrario se acercan a los valores de punto de marchites permanente, que si se mantiene impide el desarrollo normal del cultivo.

El potencial mátrico del suelo con los tensiómetros se mantuvieron dentro de un rango de 28 a 33,4 centibares, que se los considera como un rango de buen nivel de agua

disponible y aireación, pero propenso a sea necesario el suministro de riego mencionado por Fuente (2006) y León (2012), en la **Tabla 2** y **Tabla 3** respectivamente.

Los bloques de yeso los niveles de humedad a 15, 30 y 45 cm fueron de 177,3, 272,4 y 506,2 centibares que según DELMHORTS (1999), en la **Tabla 4** están fuera del rango (10 – 51 centibares), manifestando que es indispensable un riego inmediato.

La humedad del suelo en este método es baja, debido a que en la etapa de floración se suspendió el riego por un periodo de 20 días dando como resultado los valores promedios antes señalados.

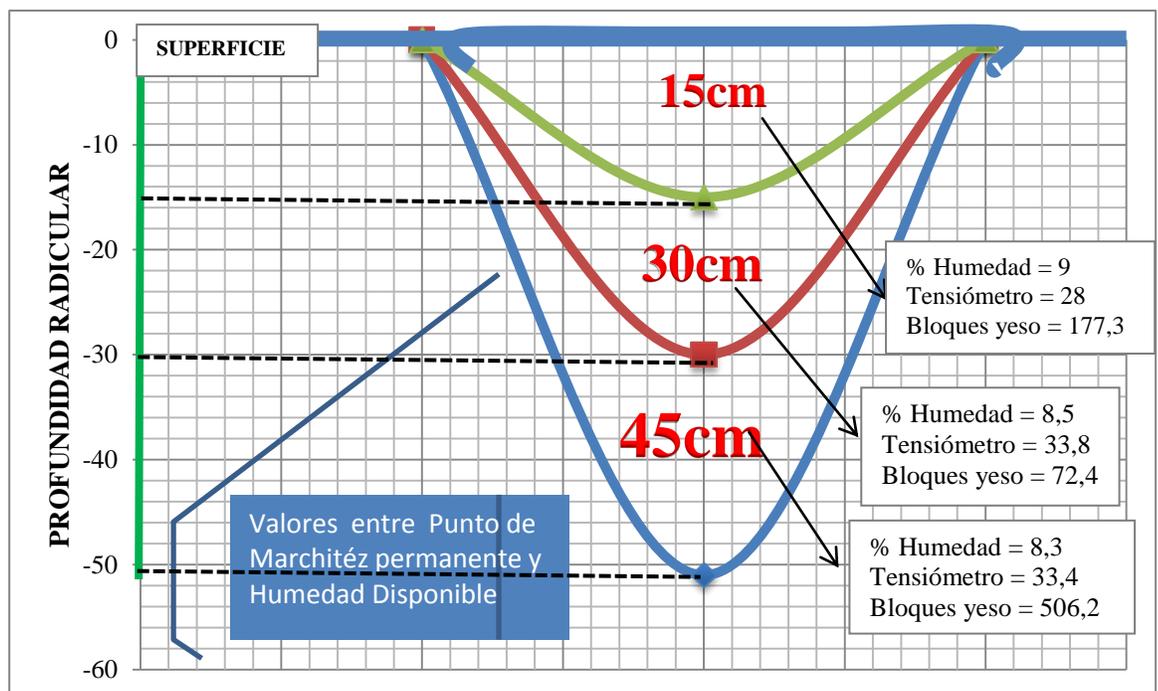


Gráfico 13. Humedad del suelo y profundidad radicular del manejo “Sin Riego” en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

La disponibilidad de humedad aprovechable en las diferentes profundidades fue variable y bajo del rango óptimo, por lo que se debe controlar regularmente el nivel de humedad del suelo para determinar cuándo regar y qué cantidad de agua se debe aplicar, ya la papa es vulnerable ante el déficit hídrico durante su ciclo de crecimiento, dando como consecuencia bajo rendimiento y mala calidad del tubérculo, poniendo en manifiesto el importante papel que cumple este elemento, enfatiza Ekanayake (1994).

La deficiencia hídrica estimuló mayor desarrollo radicular (52 cm) que en el manejo “Con Riego” siendo muy importante ya que el sistema radicular de la papa se caracteriza por tener raíces superficiales y muy susceptibles al déficit hídrico es decir hubo redirección de fotosintatos hacia los tubérculos y raíces a costo de crecimiento en hojas y estolones manifestado por Rojas, (2007).

D. EMERGENCIA

El análisis de varianza para el porcentaje de emergencia de los genotipos con tolerancia al déficit hídrico a los 45 días después de la siembra (**Cuadro 4**), no expresa diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación, debido a que la dotación de agua fue similar para todos los tratamientos y se utilizó semilla de buena calidad. El promedio general fue 95,56 % y el coeficiente de variación 4,45 %.

Cuadro 4. Análisis de la varianza para para la evaluación de emergencia de los genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico a los 45 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	2,78ns
GENOTIPOS	5	22,78ns
REPETICIONES	2	9,03ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	21,11ns
ERROR	22	18,12
Promedio (%)		95,56
CV (%)		4,45

∴ns = (p > 0.05)

Las diferencias numéricas observadas entre los genotipos (**Gráfico 14**) se deben exclusivamente a las características de la semilla de cada uno de los genotipos variando entre 91,7 al 100 %

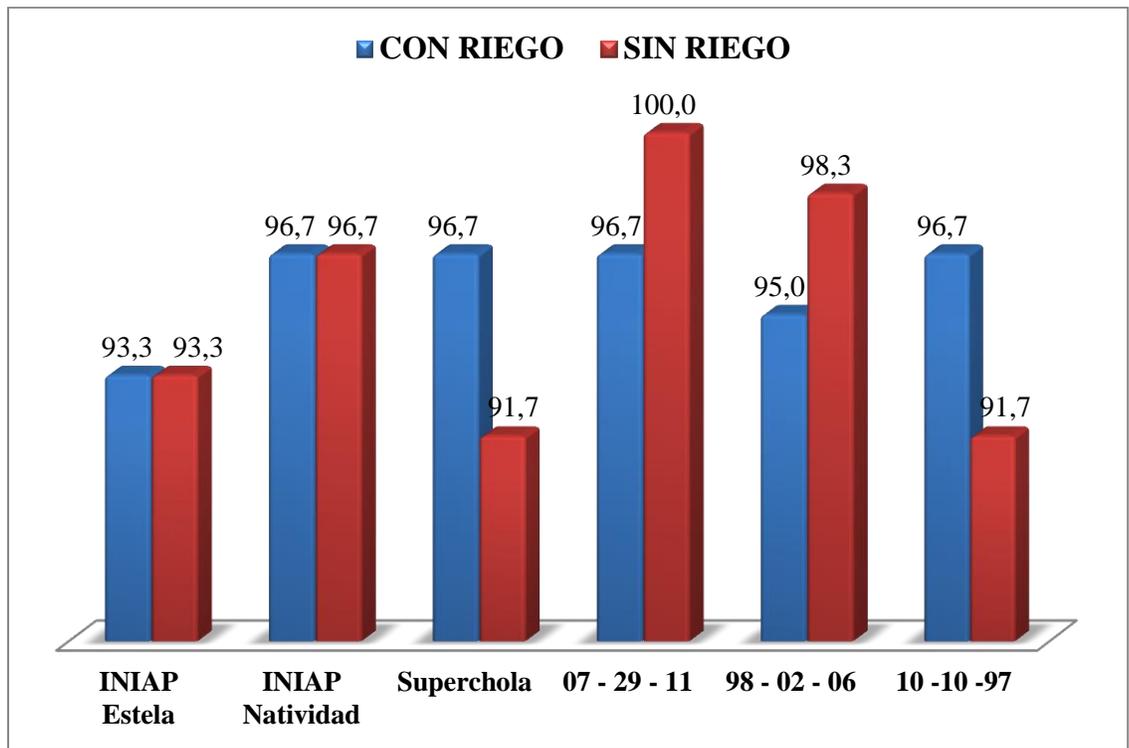


Gráfico 14. Promedios de emergencia (%) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) a los 45 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

E. ALTURA DE PLANTA

1. Altura de planta a los 45 días

El análisis de varianza de los genotipos evaluados para la altura de planta a los 45 días después de la siembra (**Cuadro 5**), señala diferencias altamente significativas pararepeticiones. El promedio general fue 29,9 cm y el coeficiente de variación 16,94 %.

Cuadro 5. Análisis de la varianza para altura (cm) de planta de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico a los 45 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	6,50ns
GENOTIPOS	5	55,59 ns
REPETICIONES	2	261,90 **
RIEGO*GENOTIPOS	5	6,66ns
ERROR	22	25,80
Promedio (cm)		29,99
CV (%)		16,94

∴ns = (p>0.05), ** = (p<0.01)

Las diferencias de altura observadas en el **Gráfico 15** no fueron influenciadas por el riego ya que a los dos métodos hasta ese momento se los manejó por igual; enfatizando lo indicado por Kurg (1997), Streck *et al.*, (2006), quienes señalan que la conformación genética de cada genotipo de papa y el ambiente conducen a un buen crecimiento y desarrollo.

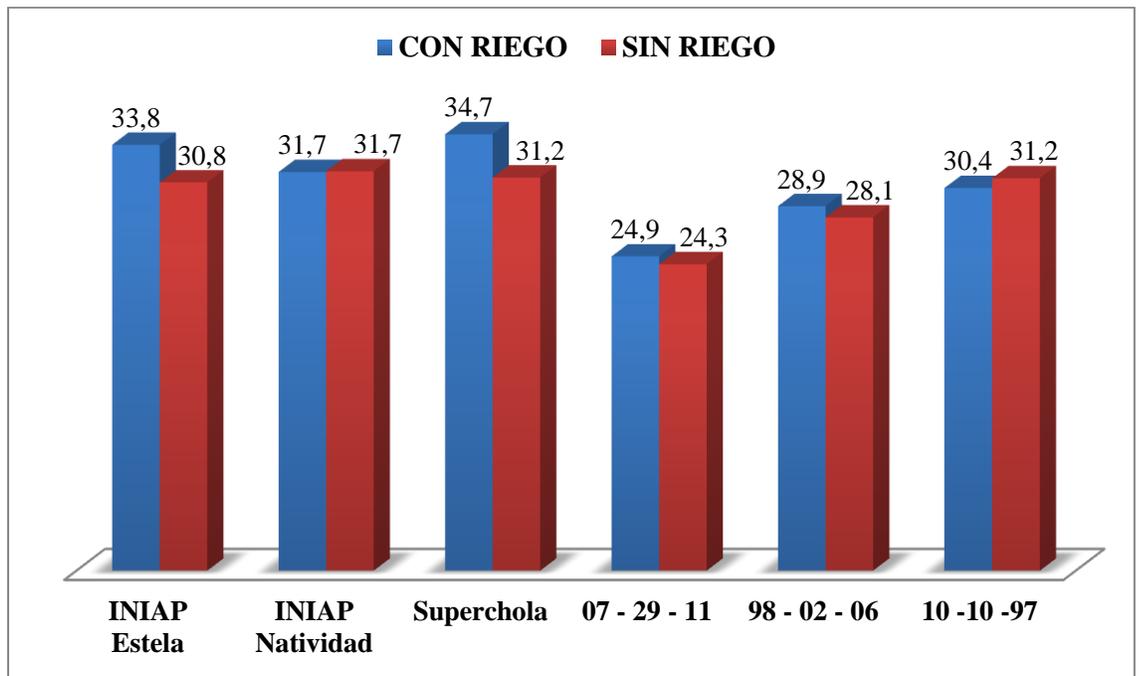


Gráfico 15. Promedios de altura (cm) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) a los 45 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

2. Altura de planta a los 75 días.

El análisis de varianza de los genotipos evaluados para la altura de planta a los 75 días después de la siembra (**Cuadro 6**), señala diferencias altamente significativas para genotipos; significativas para el riego y repeticiones. El promedio general fue de 68,55 cm y el coeficiente de variación 4,6 %.

Cuadro 6. Análisis de varianza para altura de planta de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico a los 75 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	49,94 *
GENOTIPOS	5	80,19 **
REPETICIONES	2	35,49 *
RIEGO*GENOTIPOS	5	4,19 ns
ERROR	22	9,94
Promedio (cm)		68,55
CV (%)		4,6

ns = (p>0.05), * = (p<0.05), ** = (p<0.01)

En esta etapa los genotipos empezaban a sentir el déficit hídrico, acentuando lo señalado por Dogliotti *et al.*, (2011), quienes consideran que el crecimiento del follaje es resultado de dos procesos combinados: ramificación y aparición de hojas, expansión o crecimiento de las hojas. También queda de manifiesto la diferencia establecida por las características genéticas, al existir cultivos más altos y otros con menor estatura.

Por tanto si observamos en el **Cuadro 7** la prueba de Tukey al 5% establece la existencia de tres rangos donde la variedad Superchola en el manejo “Con Riego” presenta una altura de 74,87 cm ocupando el rango “a”, a diferencia de los genotipos 07 – 29 – 11 con una altura de 65,03 cm en el manejo “Con Riego”, 98 – 02 – 06 con una altura de 64,83 cm, 07 – 29 – 11 con una altura de 64,33 cm y 10 – 10 – 97 con una altura de 62,70 cm en el manejo “Sin Riego” presentaron el menor crecimiento ubicándose en el rango “b”, mientras que el resto de los genotipos se encontraron con valores intermedios (**Gráfico 16**).

Cuadro 7. Promedios y prueba de Tukey (5%) para altura de planta (cm) a los 75 días de la siembra(dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (cm)
CR	Superchola	74,87 a
CR	INIAP Natividad	71,77 ab
CR	INIAP Estela	71,77 ab
SR	INIAP Natividad	71,33 ab
SR	Superchola	70,90 ab
SR	INIAP Estela	70,13 ab
CR	98 - 02 - 06	67,90 ab
CR	10 -10 -97	67,03 ab
CR	07 - 29 - 11	65,03 b
SR	98 - 02 - 06	64,83 b
SR	07 - 29 - 11	64,33 b
SR	10 -10 -97	62,70 b

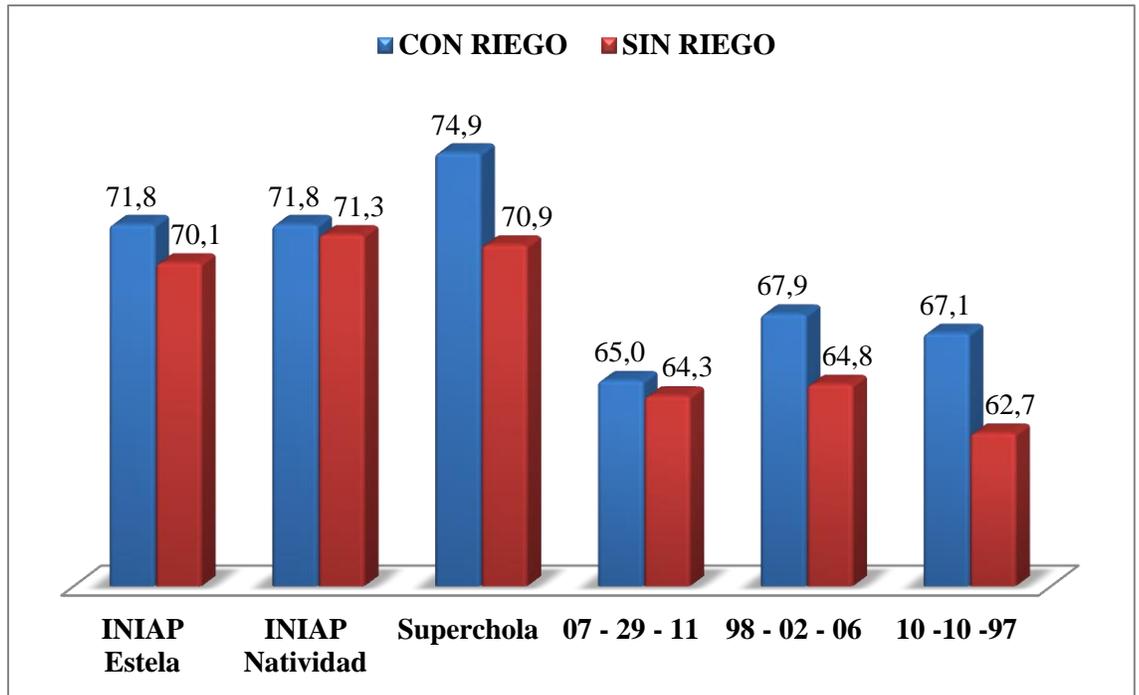


Gráfico 16. Promedios de altura (cm) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) a los 75 días después de la siembra. (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

3. Altura de planta a los 105 días.

El análisis de varianza de los genotipos evaluados para la altura de planta a los 105 días después de la siembra (**Cuadro 8**), señala diferencias altamente significativas para el riego, genotipos y repeticiones, mientras que las diferencias son significativas para la interacción riego por genotipos. El promedio general fue de 73,33 cm y el coeficiente de variación 5,55 %.

Cuadro 8. Análisis de la varianza para altura de planta de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico a los 105 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	284,48 **
GENOTIPOS	5	154,97 **
REPETICIONES	2	67,21**
RIEGO*GENOTIPOS	5	6,15*
ERROR	22	16,56
Promedio (cm)		73,33
CV (%)		5,55

∴* = (p<0.05), ** = (p<0.01)

Con los resultados mostrados de la prueba de Tukey al 5% (**Cuadro 9**) se puede apreciar la existencia de siete rangos; donde la variedad Superchola en el manejo “Con Riego” presenta la mayor altura con 84,13 cm por lo que se ubica en el rango “a” en cambio el clon 10 – 10 – 97 “Sin Riego” presentó el menor crecimiento, con una altura de 63,73 cm consecuencia de lo cual se lo ubicó en el último rango “d”. Todos los genotipos presentaron una mayor altura de planta a los tratamientos “Con Riego” respecto a aquellos que no se proporcionó riego “Sin Riego” (**Gráfico 17**). Al respecto Jaleel *et al.*, (2008) y Farooq *et al.*, (2008) explican que esto se ve reflejado en impedir la división celular dando como resultado la reducción del crecimiento al afectar a diversos procesos fisiológicos y bioquímicos, tales como fotosíntesis, respiración, translocación, absorción de iones, carbohidratos y el metabolismo de los nutrientes.

Cuadro 9. Promedios y prueba de Tukey (5%) para altura de planta (cm) a los 105 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (cm)
CR	Superchola	84,13 a
CR	INIAP Natividad	80,10ab
SR	Superchola	76,27 abc
CR	INIAP Estela	75,57 abcd
SR	INIAP Natividad	75,10 abcd
CR	07 - 29 - 11	74,30 abcd
CR	98 - 02 - 06	73,87 abcd
SR	INIAP Estela	73,03 abcd
CR	10 -10 -97	68,87 bcd
SR	98 - 02 - 06	68,57 bcd
SR	07 - 29 - 11	66,40 cd
SR	10 -10 -97	63,73 d

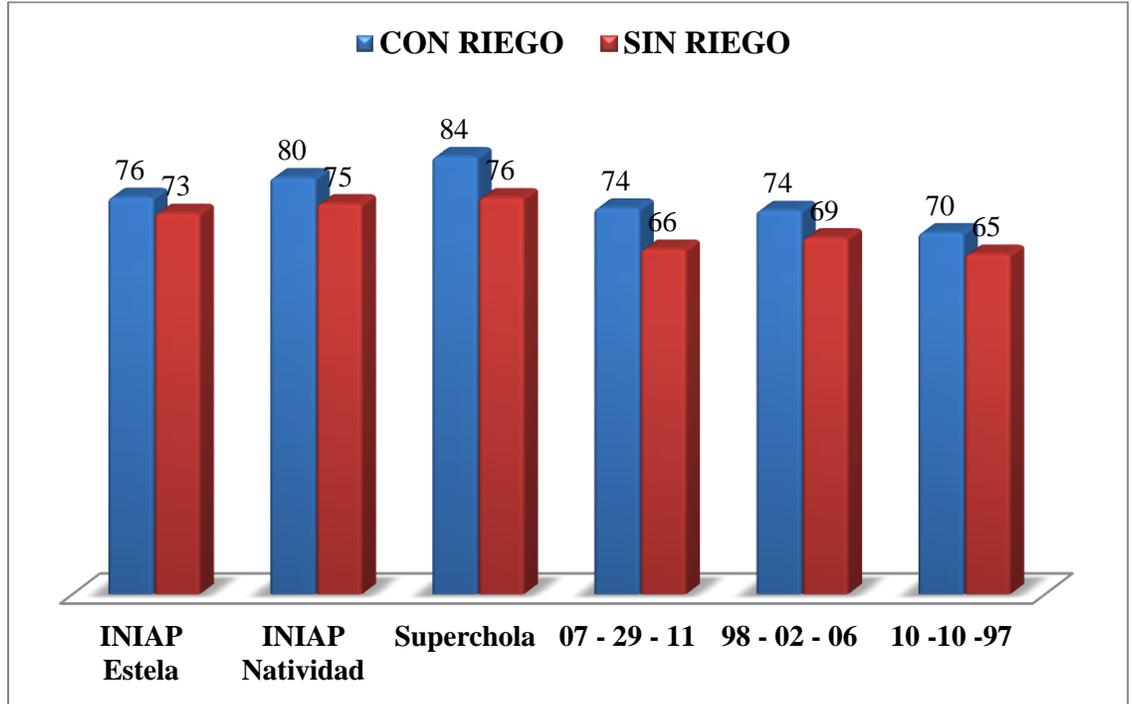


Gráfico 17. Promedios de altura (cm) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) a los 105 días de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

F. COBERTURA DEL SUELO

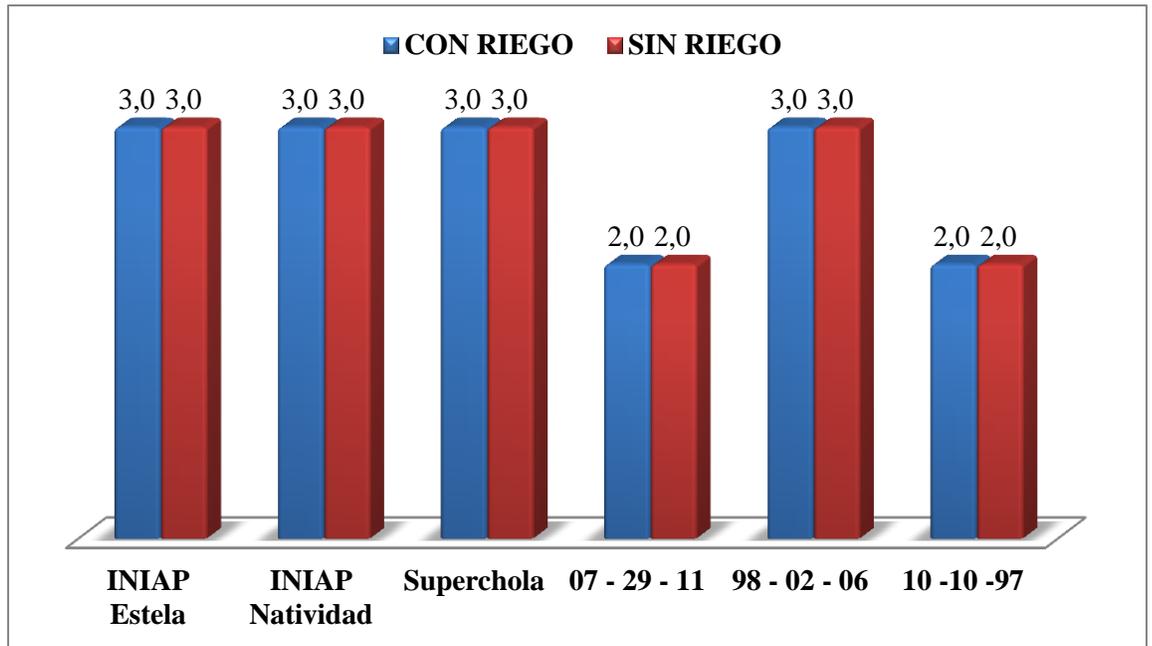


Gráfico 18. Promedios de cobertura del suelo (escala) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) a los 75 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Si observamos el **Gráfico 18** las variedades INIAP – Estela, INIAP – Natividad, Superchola y el clon 98 – 02 – 06 presentan la mayor cobertura del suelo con valores de 3 tanto en el manejo “Con Riego” y “Sin Riego”, y los tratamientos 07 – 29 - 11 y 10 – 10 – 97 una cobertura buena con valor de 2; lo cual permite manifestar que el estrés hídrico no afecta la cobertura de ninguno de los seis genotipos, lo cual concuerda con lo manifestado por Cortbaoui (1998), quien afirma que la cobertura depende del material genético ya que cada uno tiene comportamientos diferentes, de la densidad de cultivo y como también de las condiciones ambientales del sitio.

G. VIGOR DE LA PLANTA

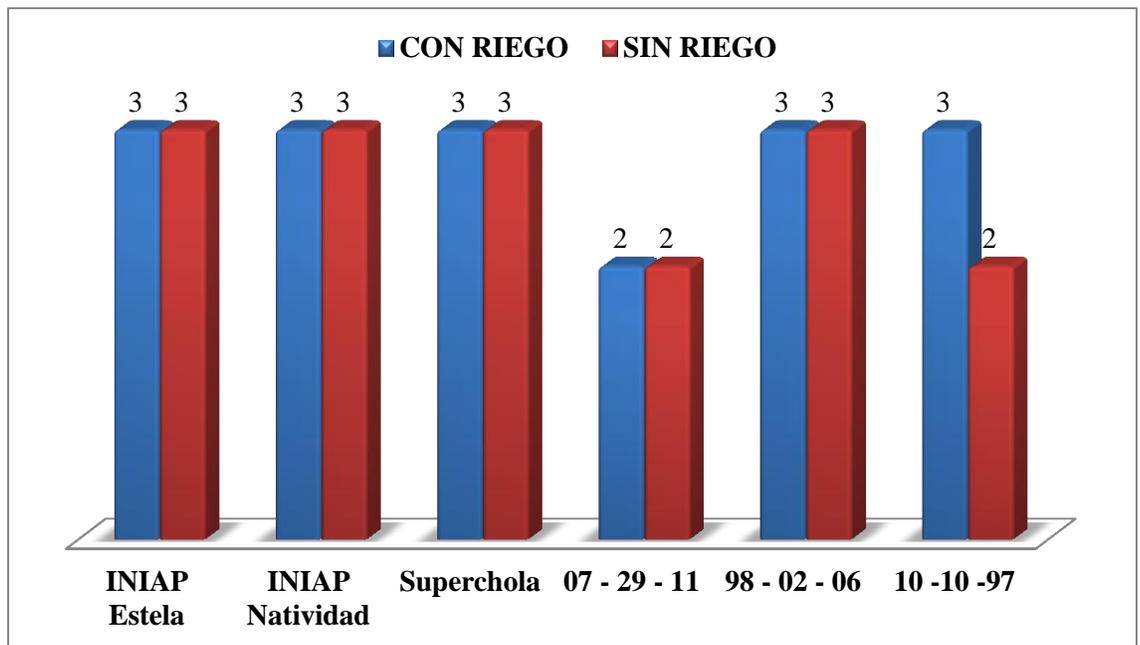


Gráfico 19. Promedios de vigor (escala) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) a los 75 días después de la siembra (dds) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

De acuerdo al **Gráfico 19** las variedades INIAP –Estela, INIAP –Natividad, Superchola y el clon 98 – 02 – 06 tanto del manejo “Con Riego” y “Sin Riego”, presentaron el mayor vigor con una calificación de “vigorosa”, es decir los genotipos mostraron frondosidad y cubrieron el surco.

Por otra parte el clon 07 – 29 – 11 en los dos métodos tuvo una calificación de “medio” es decir presentó media frondosidad y cubrió la mitad del surco.

Por último el clon 10 – 10 – 97 “Con Riego” se diferencia del manejo “Sin Riego”, notándose en este último una disminución del vigor por la deficiencia de agua. En consecuencia la deficiencia de riego no afectó a los tratamientos en estudio excepto el cultivar 10 – 10 – 97 quien fue reducido de un grado 3 (vigorosa) a un grado 2 (medio).

H. FLORACIÓN

El análisis de varianza para días a la floración (**Cuadro 10**), señala diferencias altamente significativas para genotipos. El promedio general fue de 70 días y el coeficiente de variación $8,9^{-8}$ %.

Cuadro 10. Análisis de la varianza para floración (días) de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	6,25 ns
GENOTIPOS	5	288,85 **
REPETICIONES	2	0 ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	0,85ns
ERROR	22	0
Promedio (días)		70
CV (%)		$8,9^{-8}$

∴ ns = (p > 0.05), ** = (p < 0.01)

En el **Cuadro 11** se aprecia que los tratamientos “Con Riego” se demoran entre 1 a 2 días más que los tratamientos “Sin Riego” en alcanzar la floración (**Gráfico 20**), es así que al estar sometido un genotipo al déficit hídrico CIP (2010), afirma que el mismo puede acelerar o retrasar la floración, esto depende también de la duración y fuerza de la sequía, así como de la constitución genética de la planta (Darwish *et al.*, 2006).

Cuadro 11. Promedios y prueba de Tukey (5%) para floración (días) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (días)
CR	INIAP Natividad	60,00 a
SR	INIAP Natividad	61,00 b
CR	INIAP Estela	64,00 c
SR	INIAP Estela	65,00 d
CR	Superchola	68,00 e
SR	Superchola	70,00 f
CR	98 - 02 - 06	74,00 g
SR	98 - 02 - 06	75,00 h
CR	10 -10 -97	76,00 i
SR	10 -10 -97	76,00 i
SR	07 - 29 - 11	78,00 j
CR	07 - 29 - 11	78,00 j

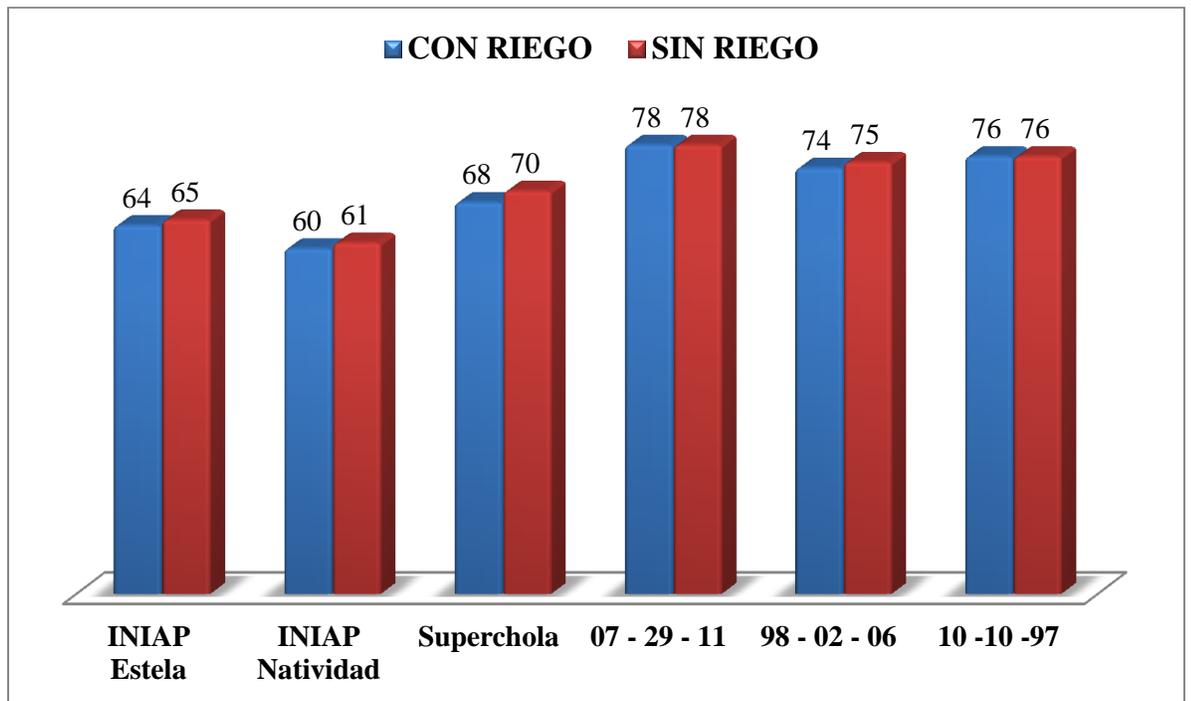


Gráfico 20. Promedios de floración (días) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

I. INICIO DE TUBERIZACIÓN

El análisis de varianza de los genotipos evaluados para inicio de la tuberización (**Cuadro 12**), señala diferencias altamente significativas para genotipos. El promedio general fue de 85 días y el coeficiente de variación 1⁻⁷ %.

Cuadro 12. Análisis de la varianza para tuberización (días) de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	0,25 ns
GENOTIPOS	5	661,25 **
REPETICIONES	2	0 ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	2,05 ns
ERROR	22	0
Promedio (días)		85
CV (%)		1 ⁻⁷

ns = (p > 0.05), ** = (p < 0.01)

En el **Cuadro 13** se observa que la variedad INIAP – Natividad (Sin Riego), inició la tuberización a los 70 días y se ubicó en el rango “a” con el menor valor, mientras que el clon 07 – 29– 11 (Con Riego) llegó a tuberización a los 97 días y se ubicó en el rango “j”(mayor valor) lo cual es consistente con lo descrito por Haverkort y MacKerron, (2000), Sermet *et al.*, (2005); Darwish *et al.*, (2006) y Vreugdenhil *et al.*, (2007), quienes señalan que durante la etapa de expansión del follaje, el déficit hídrico reduce la eficiencia fotosintética, el crecimiento del follaje, favoreciendo la partición de asimilados hacia el crecimiento de los tubérculos, sobre todo cuando ya existen tubérculos iniciados en la planta.

Cuadro 13. Promedios y prueba de Tukey (5%) para inicio de tuberización (días) de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (días)
SR	INIAP Natividad	70,00 a
CR	INIAP Natividad	71,00 b
CR	INIAP Estela	77,00 c
SR	INIAP Estela	77,00 c
SR	Superchola	84,00 d
CR	Superchola	85,00 e
SR	98 - 02 - 06	90,00 f
CR	98 - 02 - 06	91,00 g
CR	110 - 10 - 97	94,00 h
SR	110 - 10 - 97	94,00 h
SR	07 - 29 - 11	96,00 i
CR	07 - 29 - 11	97,00 j

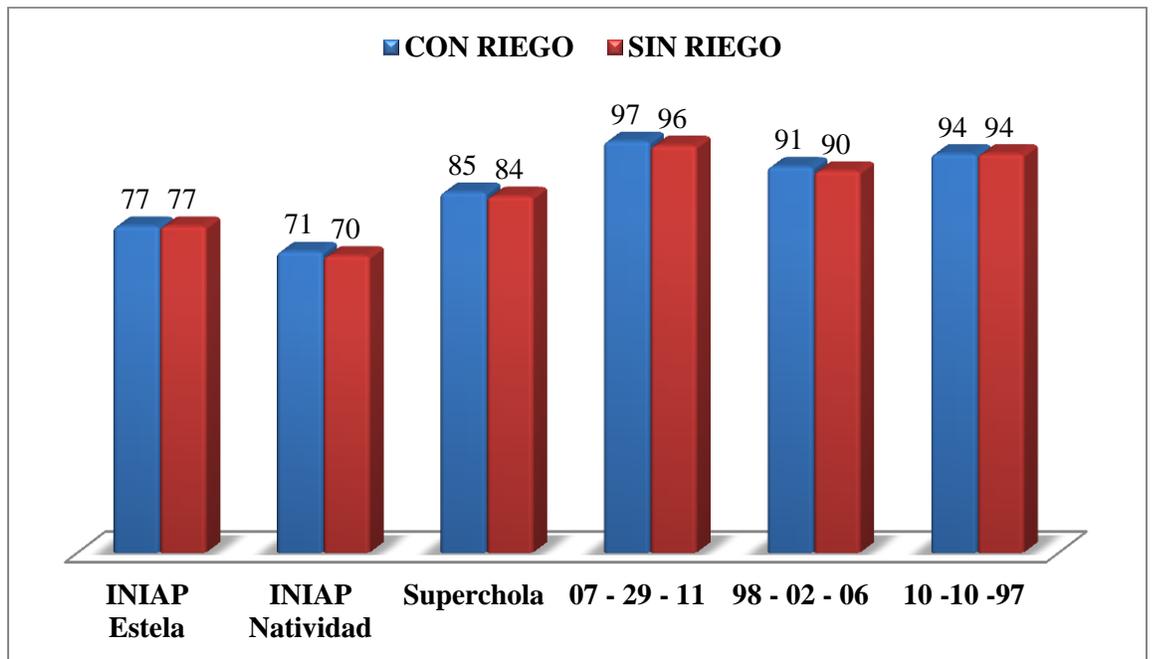


Gráfico 21. Promedios de tuberización (días) de los genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

J. SENESCENCIA

El análisis de varianza para días a la senescencia los genotipos de papa con tolerancia al déficit hídrico (**Cuadro 14**), establece diferencias altamente significativas para riego, genotipos, y significativas para repeticiones. El promedio general fue de 139 días y el coeficiente de variación 1,07 %.

Cuadro 14. Análisis de la varianza para la evaluación senescencia (días) de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	58,78 **
GENOTIPOS	5	12,38 **
REPETICIONES	2	12,44 *
RIEGO*GENOTIPOS	5	2,71 ns
ERROR	22	2,23
Promedio (días)		139
CV (%)		1,07

∴ ns = (p > 0.05), * = (p < 0.05), ** = (p < 0.01)

En el **Cuadro 15** se observa que el genotipo más precoz fue el clon 10 – 10 – 97 (Sin Riego) con 136 días el cual se ubicó en el rango “a” y el genotipo más tardío fue la variedad Superchola (Con Riego) la cual se ubicó en el rango “c”, los demás genotipos presentaron valores intermedios.

Los tratamientos “Sin Riego” aceleraron su ciclo vital en promedio de 138 días respecto a los tratamientos “Con Riego” con 140 días (**Gráfico 22**). Efecto descrito por Karafyllidis *et al.*, (1996), Fulai *et al.*, (2006), Bao Zhong *et al.*, (2002), Darwish *et al.*, (2006) y Rojas, (2007), quienes señalan que el déficit hídrico ocasiona el acortamiento del crecimiento del follaje (madurez temprana del cultivo), con lo cual se reduce el ciclo de vida del cultivo pero si se mantienen condiciones de humedad adecuada alarga el ciclo del cultivo.

Cuadro 15. Promedios y prueba de Tukey (5%) para senescencia de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (días)
SR	10 -10 -97	136 a
SR	INIAP Estela	137 ab
SR	INIAP Natividad	138 ab
SR	07 - 29 - 11	138 ab
SR	98 - 02 - 06	138 ab
CR	98 - 02 - 06	139 ab
CR	INIAP Estela	139 ab
CR	10 -10 -97	139 ab
SR	Superchola	140 abc
CR	07 - 29 - 11	140 abc
CR	INIAP Natividad	141 bc
CR	Superchola	144 c

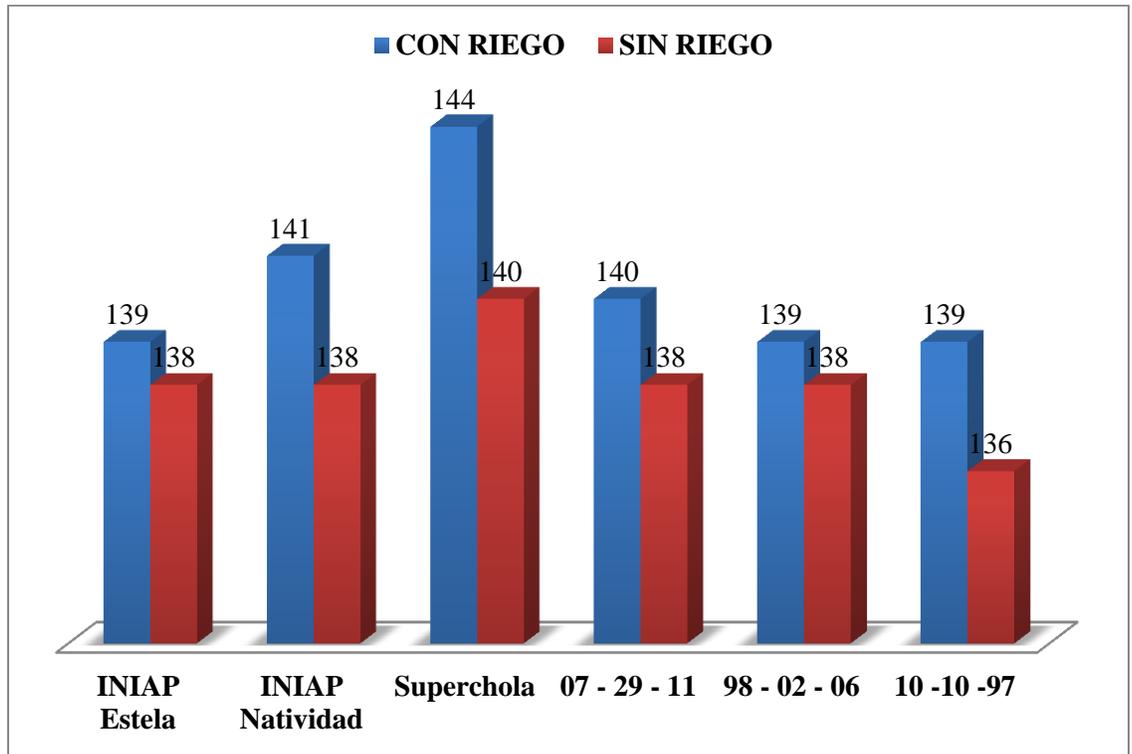


Gráfico 22. Promedios de senescencia (días) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

K. POTENCIAL DE RECUPERACIÓN

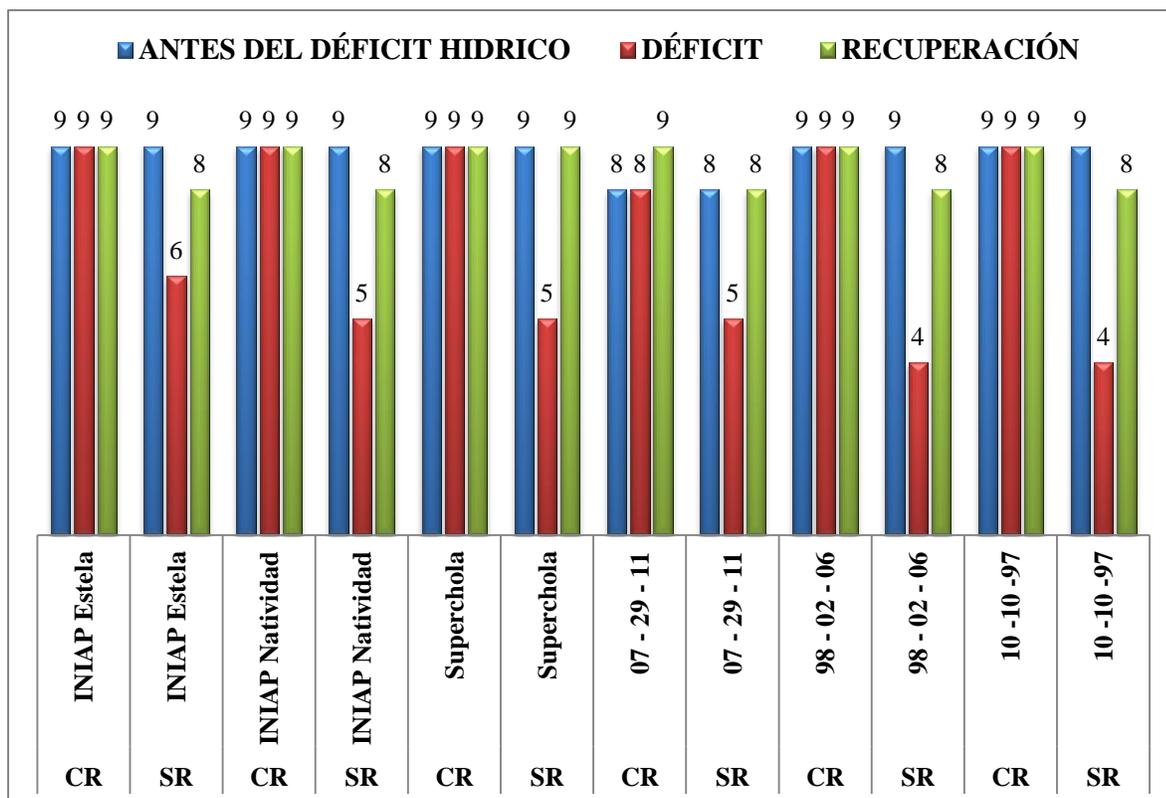


Gráfico 23. Promedios de potencial de recuperación (escala) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013. CR = Con Riego, SR = Sin Riego.

Si observamos el **Gráfico 23** en el manejo “Con Riego” como las condiciones eran óptimas los genotipos siempre se mantuvieron turgentes con un valor en la escala de 8 a 9 (80 a mayor 95 % de turgencia), no siendo el mismo caso en el manejo “Sin Riego” notándose diferencias en el proceso de transpiración entre los genotipos ya que algunos perdieron agua más rápidamente que otras, que según Shaxson y Barber (2005), a medida que la cantidad de agua disponible en el suelo y atmósfera se reduce, afecta el contenido hídrico de los genotipos, provocando alteraciones (estrés) como la pérdida de turgencia, la que afecta a la elongación del tallo, la expresión foliar y la apertura estomática.

La variedad INIAP – Estela presentó tolerancia soportando un bajo potencial hídrico, manteniendo la turgencia y activo los procesos de crecimiento, desarrollo y producción

debido a la acumulación activa de solutos, llegando hasta valores de 6 (60%) en déficit hídrico.

Efectos más notorios se los observó en los clones 98 – 02 – 6 y 10 – 10 – 97 llegando en la escala hasta valores de 4 (40%), pero posterior a la restitución de agua no alcanzaron sus valores iniciales de turgencia (9 o mayor 95 %) (**Gráfico23**), afirmando lo expuesto por Ackerson (1997), quien señala que la gran sensibilidad de las plantas a déficits hídricos, se debe a la poca capacidad de recuperación, luego de finalizado el período de estrés.

L. CONTENIDO DE CLOROFILA

En el análisis de varianza para el contenido de clorofila (**Cuadro 16**) “antes del déficit”, señala diferencias altamente significativas para genotipos y repeticiones mientras que las diferencias son significativas para riego. El promedio general fue de 46,04 spad y el coeficiente de variación de 3,88 %.

En “déficit” existieron diferencias altamente significativas para genotipos y diferencias significativas para riego. El promedio general fue de 48.43 spad, y el coeficiente de variación 4,93 %.

En “recuperación” existieron diferencias altamente significativas para genotipos, repeticiones y significativas para riego. El promedio fue de 47,13 spad, y el coeficiente de variación 3,35 %.

Cuadro 16. Análisis de la varianza para la contenido de clorofila de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios		
		Antes del Déficit Hídrico	Déficit	Recuperación
TOTAL	35			
RIEGO	1	21,16 *	31,55 *	16,40 *
GENOTIPOS	5	15,03 **	37,33 **	36,76 **
REPETICIONES	2	36,33 **	11,74 ns	38,09 **
RIEGO*GENOTIPOS	5	6,35 ns	8,64 ns	1,26 ns
ERROR	22	3,19	5,70	2,50
Promedio (spad)		46,04	48,43	47,13
CV (%)		3,88	4,93	3,35

ns = (p>0.05), * = (p<0.05), ** = (p<0.01)

Según la prueba de Tukey al 5% (**Cuadro 17**) el contenido de clorofila “antes del déficit” se aprecia la existencia de 5 rangos, donde el clon 98 – 02 – 06 (Sin Riego) presentó el mayor contenido con 49,73 spad por lo que se ubica en el rango “a” en cambio la variedad INIAP – Estela (Con Riego) presentó el menor contenido con 42,33 spad en el último rango (c).

En “déficit hídrico” la prueba de Tukey al 5% muestra la existencia de 5 rangos, donde el clon 98 – 02 – 06 (Sin Riego) con 54,03 spad en el rango “a” caso contrario la variedad INIAP – Estela (Con Riego) presentó el menor contenido con 44,17 spad en el último rango (c). Al respecto Tenga *et al.*, (1989), Castonguay y Markhart (1991) y El Congreso Nacional de Biotecnología (1996), explican que aún bajo sequías relativamente severas, la capacidad fotosintética del mesófilo de la lámina foliar no es fácilmente reducida y las tasas de fotosíntesis sólo disminuyen radicalmente cuando por sequía se pierde más del 40 % del contenido de clorofila en la hoja, perjudicando así el proceso fotosintético que conduce a una reducción en la fijación de carbono.

En “recuperación” la prueba de Tukey al 5% muestra el mayor contenido de clorofila fue del clon 98 – 02 – 06 (Sin Riego) con 50,70 spad seguido del mismo genotipo con 49,37 (Con Riego) y del clon 10 – 10 – 97 (Sin Riego) con 48,87 spad todos ubicados en el rango “a” por otro lado el menor contenido de clorofila fue la variedad INIAP – Estela (Con Riego) con 41,27 spad en el último rango (c). También queda de manifiesto que el mayor contenido de clorofila en las tres etapas de evaluación lo obtuvo el clon 98 – 02 – 06 (Sin Riego) y el menor la variedad INIAP – Estela (Con Riego) (**Gráfico 24**).

Cuadro 17. Promedios y prueba de Tukey al 5% del contenido de clorofila (spad) de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (Spad)		
		Antes del Déficit Hídrico	Déficit	Recuperación
CR	INIAP Estela	42,33 c	44,17 c	41,27 c
CR	INIAP Natividad	47,10 abc	47,10 abc	46,60 ab
CR	Superchola	45,53 abc	46,30 bc	47,03 ab
CR	07 - 29 - 11	45,67 abc	47,87 abc	47,10 ab
CR	98 - 02 - 06	46,70 abc	50,97 abc	49,37 a
CR	10 -10 -97	44,30 bc	48,57 abc	47,33 ab
SR	INIAP Estela	44,43 abc	48,17 abc	44,00 bc
SR	INIAP Natividad	44,87 abc	44,73 bc	46,60 ab
SR	Superchola	46,20 abc	48,40 abc	47,83 ab
SR	07 - 29 - 11	48,07 ab	51,60 ab	48,80 a

SR	98 - 02 - 06	49,73 a	54,03 a	50,70 a
SR	10 - 10 - 97	47,53 abc	49,27 abc	48,87 a

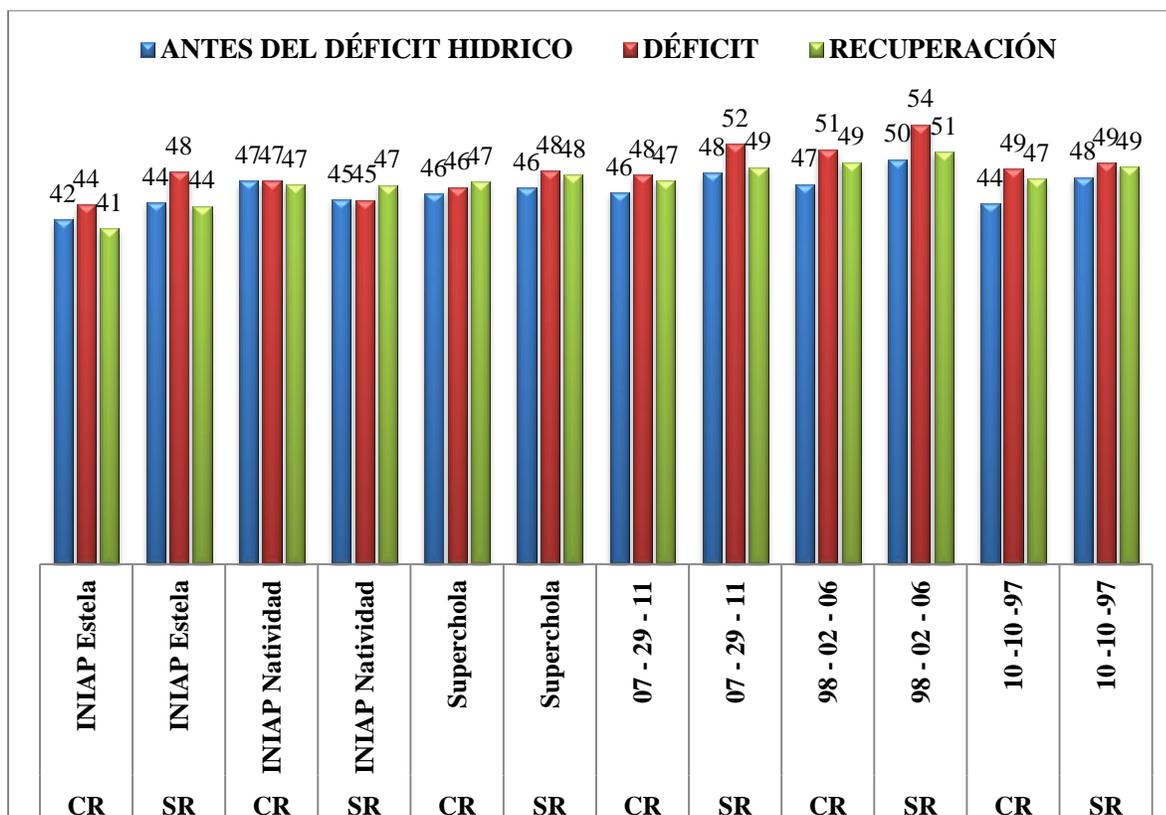


Gráfico 24. Promedios contenido de clorofila (spad) de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013. CR = Con Riego, SR = Sin Riego.

M. CONTENIDO RELATIVO DE AGUA EN HOJAS(WRC)

En el análisis de varianza para el contenido relativo de agua en las hojas “antes de déficit hídrico” (**Cuadro 18**), señala diferencias significativas para riego y genotipos. El promedio general fue de 76,49 %, y el coeficiente de variación 7,67 %.

En “déficit hídrico” el análisis de varianza indica que existen diferencias altamente significativas para riego y genotipos mientras que diferencias significativas para repeticiones. El promedio general fue de 74,43 % y el coeficiente de variación 6,35 %.

En “recuperación” el análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas para genotipos. El promedio general fue de 77,7 % y el coeficiente de variación 6,96 %.

Cuadro 18. Análisis de la varianza para la contenido relativo de agua de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios		
		Antes del Déficit Hídrico	Déficit	Recuperación
TOTAL	35			
RIEGO	1	214,62 *	987,01 **	9,30 ns
GENOTIPOS	5	104,59 *	138,46 **	83,60 *
REPETICIONES	2	105,09 ns	94,67 *	95,21 ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	41,85 ns	35,31 ns	5,45 ns
ERROR	22	34,46	22,37	29,27
Promedio (%)		76,49	74,43	77,7
CV (%)		7,67	6,35	6,96

ns = (p > 0.05), * = (p < 0.05), ** = (p < 0.01)

Según la prueba de Tukey al 5% (**Cuadro 19**) el contenido relativo de agua “antes del déficit hídrico” se puede apreciar la existencia de 3 rangos; donde la variedad Superchola (Con Riego) presenta el mayor contenido con 83,83% por lo que se ubica en el rango “a” en cambio el clon 07 – 29 – 11 (Sin Riego) presentó el menor contenido con 65,57% en el último rango (b) (**Gráfico 25**). Aclara Jones, (1992) que con un buen régimen de riego los genotipos mantienen sus estomas extensamente abiertos y si existe una pequeña reducción de su apertura puede reducir sustancialmente la pérdida de agua.

En “déficit hídrico” la prueba de Tukey al 5% se aprecia 7 rangos, donde variedad Superchola (Con Riego) presentó el mayor contenido con 85 % ubicándose en el rango “a”, mientras que el clon 07 – 29 – 11 tuvo el menor contenido con 62,17 % en el último rango (d) (**Gráfico 25**). Al respecto Van Loon (1981), indica que los valores de contenido relativo de agua en hojas de papa con riego están entre 80 – 100 % cuatro

genotipos Superchola, INIAP – Natividad, 07 – 29 – 11, INIAP – Estela se encuentran dentro de este rango y para plantas sin riego el autor menciona que los valores están entre 76 – 87 %, no se encontró ningún genotipo en este rango.

Después de estar sometidos los genotipos al déficit hídrico en el manejo “Sin Riego” se les dotó de láminas grandes de agua para lograr su recuperación destacar el caso de la variedad INIAP – Estela. En relación a este tema Beukema y Van der Zaag (1979), explican que cuando el estrés hídrico es de corta duración la mayoría de células se recuperan; pero si es prolongada, la planta se marchita y puede hasta morir.

Cuadro 19. Promedios y prueba de Tukey al 5% del contenido relativo de agua (%) de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (Spad)		
		Antes del Déficit Hídrico	Déficit	Recuperación
CR	INIAP Estela	78,53 ab	81,00 ab	80,23a
CR	INIAP Natividad	80,80 ab	83,03 a	82,57a
CR	Superchola	83,83 a	85,00 a	81,97a
CR	07 - 29 - 11	79,60 ab	81,23 ab	77,33a
CR	98 - 02 - 06	77,93 ab	76,57 abc	77,10a
CR	10 - 10 - 97	72,90 ab	71,17 abcd	70,03 a
SR	INIAP Estela	79,17 ab	74,57 abcd	78,87 a
SR	INIAP Natividad	80,53 ab	75,63 abcd	79,07 a
SR	Superchola	77,50 ab	71,63 abcd	79,50 a

SR	07 - 29 - 11	65,57 b	62,17 d	76,33 a
SR	98 - 02 - 06	72,33 ab	68,03 bcd	77,63 a
SR	10 - 10 - 97	69,20 ab	63,13 cd	71,73 a

CR = Con Riego, SR = Sin Riego

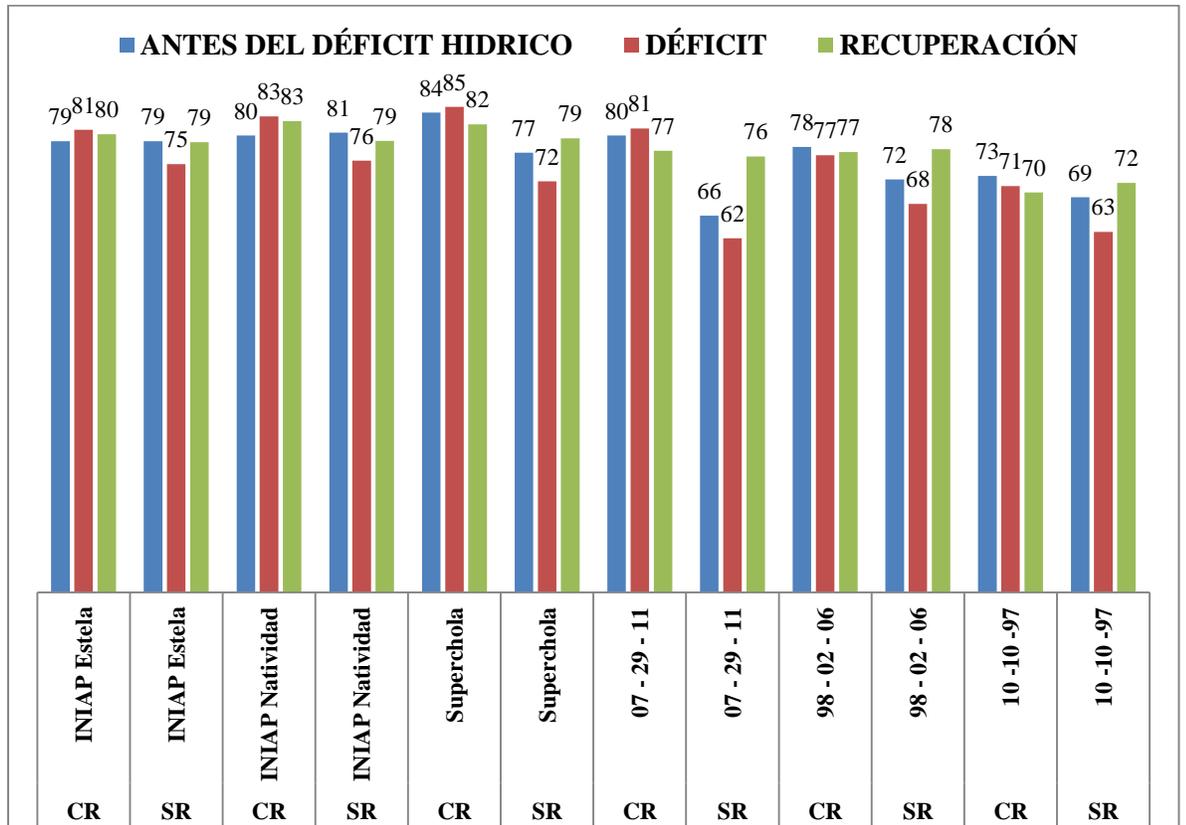


Gráfico 25. Promedios contenido relativo de agua (%) de los seis genotipos de papa (*Solanum spp*) antes del déficit hídrico, déficit y recuperación en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013. CR = Con Riego, SR = Sin Riego.

N. MATERIA SECA DE LA PLANTA COMPLETA

El análisis de varianza para el porcentaje de materia seca de la planta completa (**Cuadro 20**) no presenta diferencias para ninguna de las fuentes de variación. El promedio general fue de 21,03% y el coeficiente de variación 27,17%.

Cuadro 20. Análisis de la varianza para el porcentaje de materia seca de la planta completa de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	114,13ns
GENOTIPOS	5	31,47ns
REPETICIONES	2	27,13ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	3,43ns
ERROR	22	32,64
Promedio (%)		21,03
CV (%)		27,17

ns = (p > 0.05)

Como observamos en el **Gráfico 26** la variedad INIAP – Estela (Con Riego) tuvo el mayor contenido de materia seca con 26 %, mientras que el menor contenido de materia seca fue el clon 07 – 29 – 11 (Sin Riego) con 16 %, señalando Tourneux *et al.*, (2003), que al tener disponibilidad de elementos como agua, asimilados promueven el crecimiento de raíces, estolones, hojas y ramas, lo que infiere en la acumulación de materia seca.

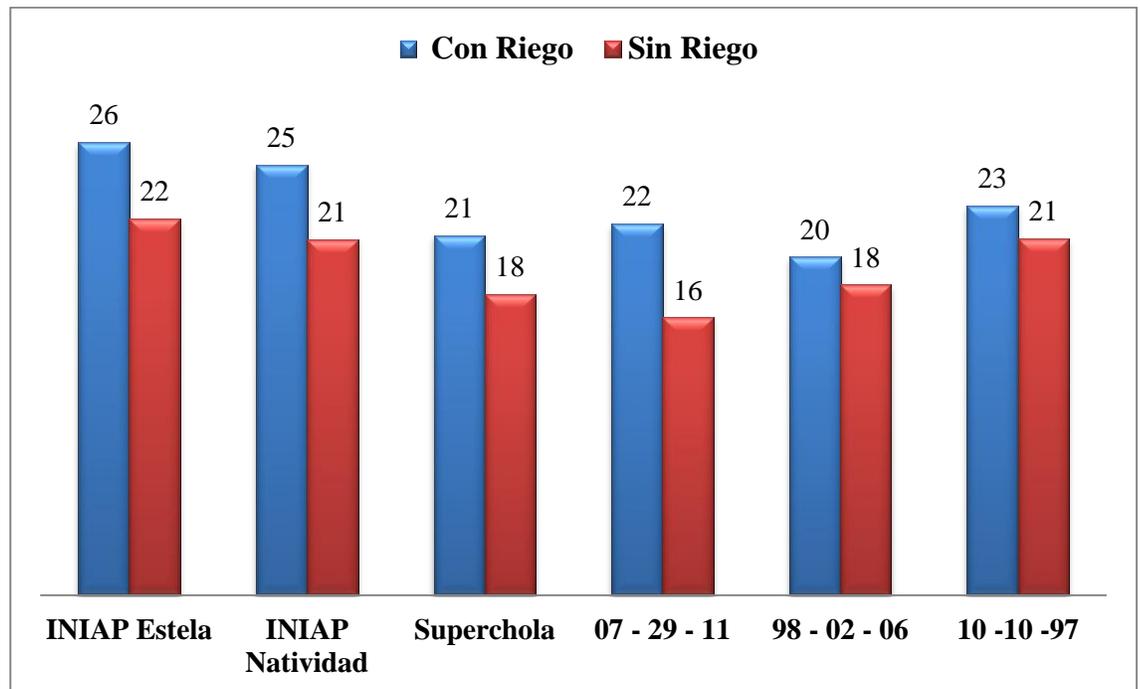


Gráfico 26. Promedios de materia seca (%) de los seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

O. RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

1. Tubérculos por planta

El análisis de varianza para el número de tubérculos por planta de (**Cuadro 21**) se presenta diferencias altamente significativas para el factor riego y genotipos. El promedio general fue de 26,36 unidades y el coeficiente de variación 16,11%.

Cuadro 21. Análisis de la varianza para el número de tubérculos por planta de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

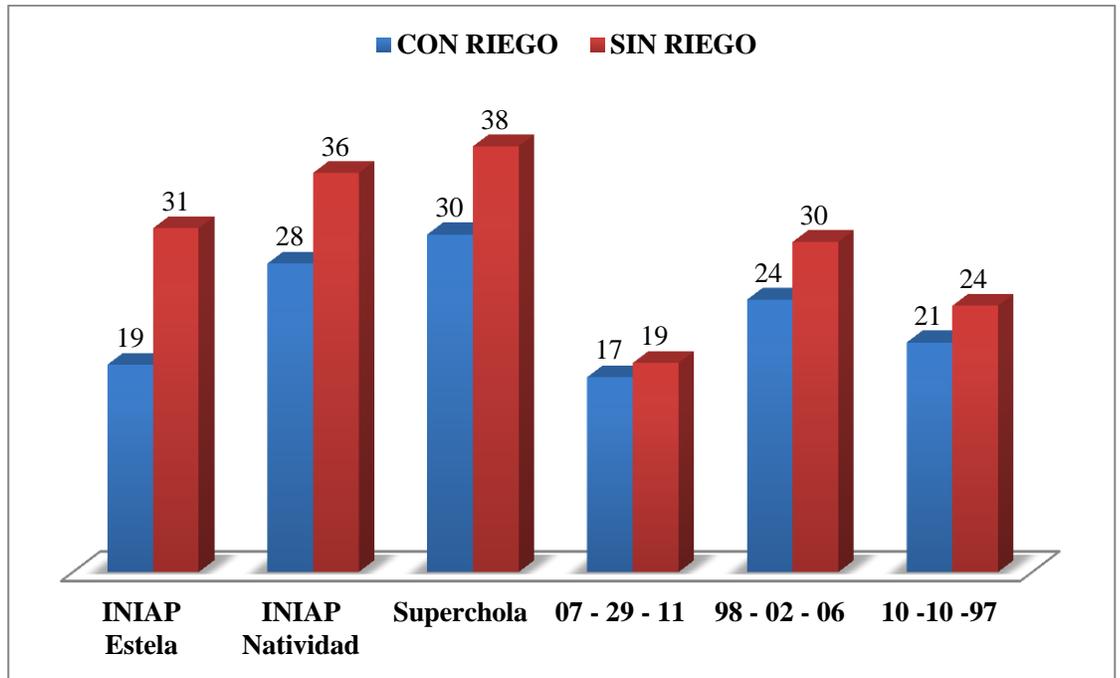
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	354,69 **
GENOTIPOS	5	214,03 **
REPETICIONES	2	7,86 ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	21,36 ns
ERROR	22	18,04
Promedio (unidad)		26,36
CV (%)		16,11

∴ ns = (p > 0.05), ** = (p < 0.01)

Según la prueba de Tukey al 5% (**Cuadro 22**) se puede apreciar siete rangos, donde la variedad Superchola (Sin Riego) presenta el mayor número de tubérculos por planta con un número de 38 unidades por lo que se ubica en el rango “a”, en cambio el clon07 – 29 – 11 (Con Riego) tuvo el menor número de tubérculos con 17 unidades en el último rango “d” (**Gráfico 27**). Al respecto Kumar *et al.*, (2003) y Lahlou *et al.*, (2003) explican que al someter a déficit hídrico a la papa, siempre hay tendencia a mayor producción de tubérculos en “cantidad”, todo depende también del medio donde se trabaje ya que según trabajos en invernadero reduce el número final de tubérculos por planta.

Cuadro 22. Promedios y prueba de Tukey al 5% del número de tubérculos por planta de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (unidad)
SR	Superchola	38 a
SR	INIAP Natividad	35 ab
SR	INIAP Estela	30 abc
CR	Superchola	30 abc
SR	98 - 02 - 06	29 abcd
CR	INIAP Natividad	27 abcd
CR	98 - 02 - 06	24 bcd
SR	10 -10 -97	24 bcd
CR	10 -10 -97	20 cd
SR	07 - 29 - 11	19 cd
CR	INIAP Estela	18 cd
CR	07 - 29 - 11	17 d



Fuente: Peña, (2013).

Gráfico 27. Promedios de tubérculos por planta de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

2. Rendimiento por planta.

Según el análisis de varianza para el rendimiento por planta (**Cuadro 23**) señala que hay diferencias altamente significativas para el factor riego. El promedio general fue de 0,8 kg/planta y el coeficiente de variación 23,07 %.

Cuadro 23. Análisis de la varianza para el rendimiento por planta de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
TOTAL	35	
RIEGO	1	0,56 **
GENOTIPOS	5	0,07 ns
REPETICIONES	2	0,01 ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	0,01 ns
ERROR	22	0,03
Promedio (kilogramos)		0,80
CV (%)		23,07

ns = (p > 0.05), ** = (p < 0.01)

Según la prueba de Tukey al 5%, el genotipo con mayor rendimiento por planta (kg/planta) (**Cuadro 24**) fue INIAP – Estela (Con Riego) con una media de 1,03 Kg ubicándose en un rango “a” por el contrario el clon 07 – 29 – 11 (Sin Riego) presentó el menor rendimiento con 0,43 Kg ubicándose en el último rango (b). Por tal motivo Vayda (1994), Wright y Stark (1990), consideran que el óptimo rendimiento la papa es altamente dependiente de riegos bien planificados con bajo volumen y alta frecuencia es decir se mantener la humedad aprovechable por la planta.

Destacar también que el clon 98 – 02 – 06 (**Gráfico 28**) se mantuvo dentro de un mismo rango (ab) en los dos tipos de manejo, con una diferencia no tan grande entre las dos, lo que concuerda con Van Loon (1981), Ranalli *et al.*, (1997), Schafleitner (2007), que señalan que la papa puede presentar tolerancia, misma que dependerá de su genotipo, disminuyendo o manteniendo su rendimiento bajo condiciones de déficit hídrico.

Cuadro 24. Promedios y prueba de Tukey al 5% rendimiento por planta de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	MEDIAS (kg/planta)
CR	INIAP Estela	1,03 a
CR	Superchola	0,97 ab
CR	INIAP Natividad	0,93 ab
CR	10 -10 -97	0,93 ab
CR	98 - 02 - 06	0,93 ab
SR	98 - 02 - 06	0,80 ab
SR	INIAP Natividad	0,77 ab
CR	07 - 29 - 11	0,73 ab
SR	10 -10 -97	0,70 ab
SR	INIAP Estela	0,70 ab
SR	Superchola	0,63 ab
SR	07 - 29 - 11	0,43 b

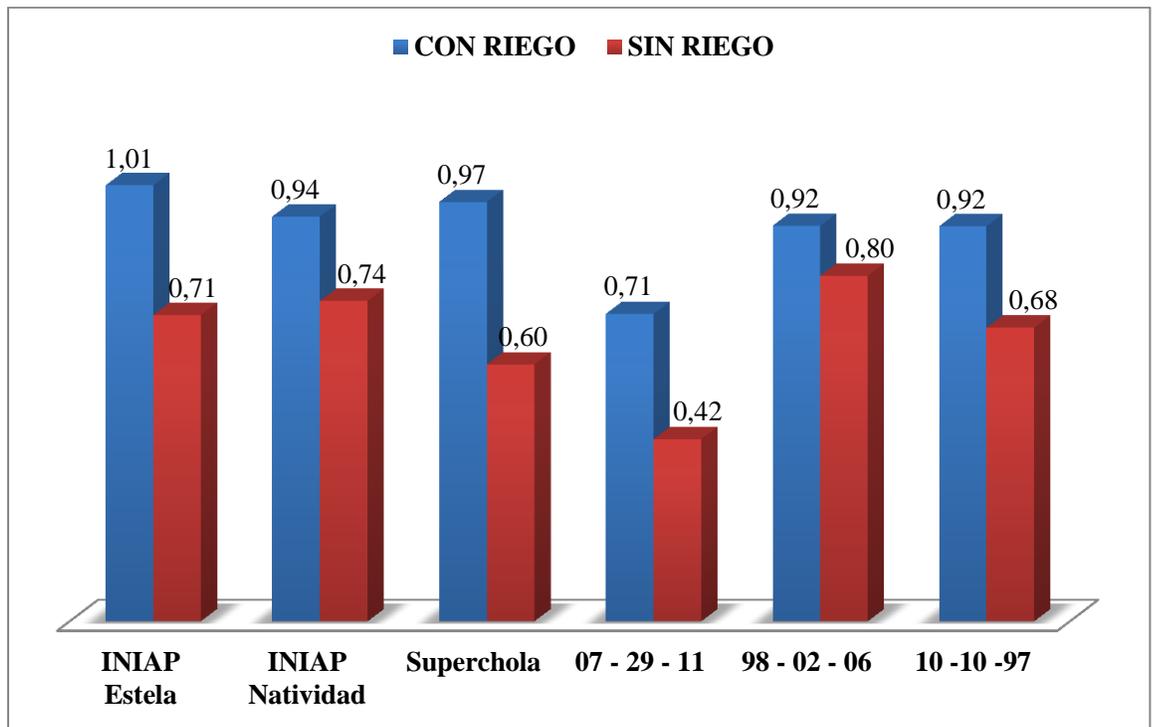


Gráfico 28. Promedios de rendimiento por planta (kg/planta) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

3. Rendimiento por tamaño del tubérculo.

El análisis de varianza para el rendimiento de papa en categoría “comercial” (**Cuadro 25**), presenta diferencias altamente significativas para el factor riego y significativas para genotipos. El promedio general fue de 1,83 kg y el coeficiente de variación 48,97%.

Para el rendimiento de papa categoría “semilla” el análisis de varianza señala diferencias altamente significativas para el factor riego. El promedio general fue de 6,94 kg y el coeficiente de variación 19,62 %,

El rendimiento de papa categoría “no comercial” el análisis de varianza establece diferencias altamente significativas para riego y genotipos. El promedio general fue de 3,04 kg y el coeficiente de variación 27,52 %.

Cuadro 25. Análisis de la varianza para el rendimiento de los genotipos de papa (*Solanum spp*) categoría comercial, semilla y no comercial de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios		
		Comercial	Semilla	No Comercial
TOTAL	35			
RIEGO	1	33,25 **	68,06 **	14,82 **
GENOTIPOS	5	2,69 *	4,70 ns	4,51 **
REPETICIONES	2	0,14 ns	2,71 ns	1,60 ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	1,20 ns	4,11 ns	0,82 ns
ERROR	22	1,81	1,85	0,70
Promedio (kg)		1,83	6,94	3,04
CV (%)		48,97	19,62	27,52

ns = (p > 0.05), * = (p < 0.05), ** = (p < 0.01)

Según la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de papa en categoría “comercial”(Cuadro 26) el clon 10 – 10 –97(Con Riego)presenta el mayor rendimiento con 4,43 kg por lo que se ubica en el rango “a”, en cambio la variedad Superchola(Sin Riego) sin producción como consecuencia se lo ubicó en el último rango (c) (Gráfico 29). Al respecto Miller y Martin, (1987) y (Charkowski, 2012), señalan que períodos cortos de déficit hídrico en etapas críticas como la tuberización pueden causar pérdidas en el potencial de rendimiento y calidad.

El rendimiento de papa categoría “semilla”la prueba de Tukey al 5%, la variedad Superchola (Con Riego) presenta mayor rendimiento con 10,47 kg en el rango “a”, por el contrario el clon 07 – 29 – 11 (Sin Riego) presentó el menor rendimiento con 4,07 kg en el último rango (d)(Gráfico 29). En consecuencia Haverkort y MacKerron, (2000), Sermet *et al.*, (2005) y Tourneux *et al.*, (2003), señalan que el suministro adecuado de agua es determinante desde el inicio de la tuberización hasta que la planta alcance la madurez fisiológica para obtener altos rendimientos de “excelente calidad”.Por lo tanto al cumplir con el requerimiento hídrico del cultivo los resultados se verán reflejos en su rendimiento es decir la obtención tubérculos de calidad.

El rendimiento de papa categoría “no comercial” la prueba de Tukey al 5%, los genotipos Superchola, INIAP – Natividad, INIAP – Estela y el clon 10 – 10 - 97 (Sin Riego) presentaron el mayor rendimiento con 4,73 kg, 4,67 kg, 3,97 kg y 3,93 kg respectivamente todos en el rango “a”, en cambio en el manejo “Con Riego” dichos genotipos obtuvieron menores cantidades de esta categoría de papa 2,87 kg, 2,80 kg, 2,53 kg y 2,27 respectivamente, consecuencia de lo cual se los ubicó en el rango “ab”(Gráfico 29). Al respecto Ekanayake (1994) y Jensen *et al.*, (2000) indican que el déficit hídrico puede causar desórdenes en el crecimiento del tubérculo, brotación secundaria, tubérculos de tamaño más pequeño debido a la maduración alternada con recrecimiento de la cobertura foliar y la expansión celular cíclica de los tubérculos. Por lo tanto al no satisfacer con el requerimiento hídrico del cultivo, los efectos se verán reflejados en la obtención de tubérculos de mala calidad.

Cuadro 26. Promedios y prueba de Tukey al 5% para rendimiento de papa en categoría comercial de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	PROMEDIO (kg)		
		Comercial	Semilla	No Comercial
CR	INIAP Estela	2,83 ab	8,40 abc	2,53 ab
CR	INIAP Natividad	2,70 ab	8,47 abc	2,80 ab
CR	Superchola	1,30 bc	10,47 a	2,87 ab
CR	07 - 29 - 11	3,03 ab	6,93 abcd	1,43 b
CR	98 - 02 - 06	2,47 abc	8,87 ab	2,47 ab
CR	10 -10 -97	4,43 a	6,73 abcd	2,27 ab
SR	INIAP Estela	1,13 bc	6,63 abcd	3,97 a

SR	INIAP Natividad	0,57 bc	5,90 bcd	4,67 a
SR	Superchola	0,00 c	4,60 cd	4,73 a
SR	07 - 29 - 11	1,13 bc	4,07 d	1,40 b
SR	98 - 02 - 06	1,50 bc	6,50 abcd	3,37 ab
SR	10 -10 -97	0,90 bc	5,67 bcd	3,93 a

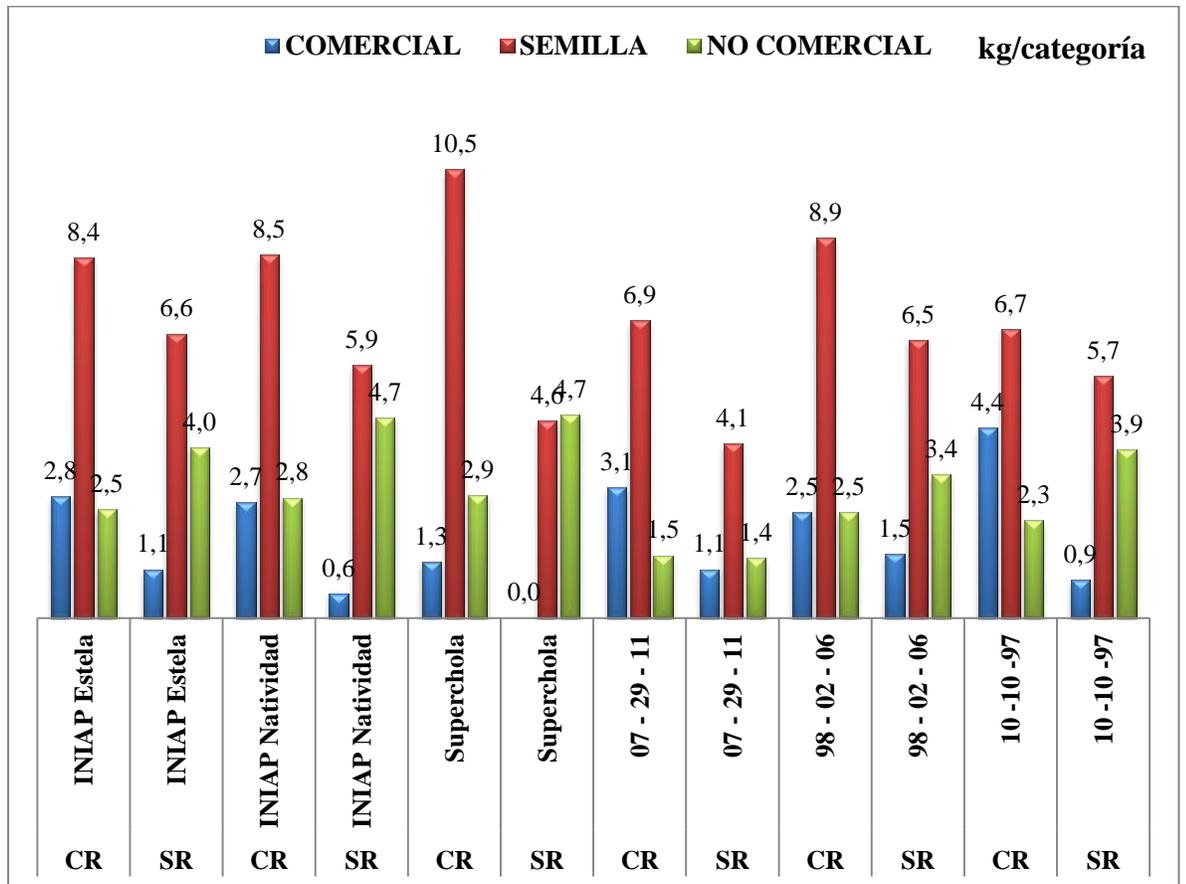


Gráfico 29. Promedios de rendimiento de papa comercial, semilla y no comercial (kg/parcela neta) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013. CR = Con Riego, SR = Sin Riego.

4. Rendimiento total.

El análisis de varianza para el rendimiento total (**Cuadro 27**) presenta diferencias altamente significativas para el factor riego y significativas para genotipos. El promedio general fue de 11,67 kg y el coeficiente de variación 16,93 %.

Cuadro 27. Análisis de la varianza para el rendimiento total de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
Total	35	
RIEGO	1	115,2 **
GENOTIPOS	5	11,23 *
REPETICIONES	2	1,30 ns
RIEGO*GENOTIPOS	5	2,19 ns
Error	22	3,90
Promedio (Kilogramos)		11,67
CV (%)		16,93

ns = (p > 0.05), * = (p < 0.05), ** = (p < 0.01)

No hubo significación estadística para la interacción riego por genotipo debido probablemente a que como las categorías de papas estaban unidas no existió diferencia en peso pero si en calidad como el caso de la variable anterior.

Según la prueba de Tukey al 5% (**Cuadro 28**), los genotipos Superchola, INIAP – Natividad, INIAP – Estela y los clones 98 – 02 – 06, 10 – 10 – 97 (Con Riego) presentaron el mayor rendimiento con 14,53 kg, 13,90 kg, 13,73 kg, 13,67 kg y 13,47 kg respectivamente por lo que se los ubicó en el rango “a”, en cambio el clon 07 – 29 – 11 (Sin Riego) presentó el menor rendimiento con 6,4 kg consecuencia de lo cual se lo ubicó en último rango (b) (**Gráfico 30**).

Por tal motivo Van Loon (1998) y King y Stark, (2000), dicen que el contenido de humedad del suelo nunca debería ser menor al 50% es decir mantener el suelo a capacidad de campo, donde el agua esté disponible para el cultivo sobre todo en etapas

críticas, además la reducción del rendimiento bajo déficit hídrico es debido: 1) por la reducción de la suma de follaje productivo, 2) por la disminución de la tasa fotosintética por unidad de área foliar y 3) por el acortamiento del período vegetativo.

Cuadro 28. Promedios y prueba de Tukey al 5% rendimiento total de papa en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	PROMEDIO (kg/parcela)
CR	Superchola	14,53 a
CR	INIAP Natividad	13,90 a
CR	INIAP Estela	13,73 a
CR	98 - 02 - 06	13,67 a
CR	10 -10 -97	13,47 a
CR	07 - 29 - 11	11,43 ab
SR	98 - 02 - 06	11,20 ab
SR	INIAP Natividad	11,13 ab
SR	INIAP Estela	10,73 ab
SR	10 -10 -97	10,47 ab
SR	Superchola	9,33 ab
SR	07 - 29 - 11	6,40 b

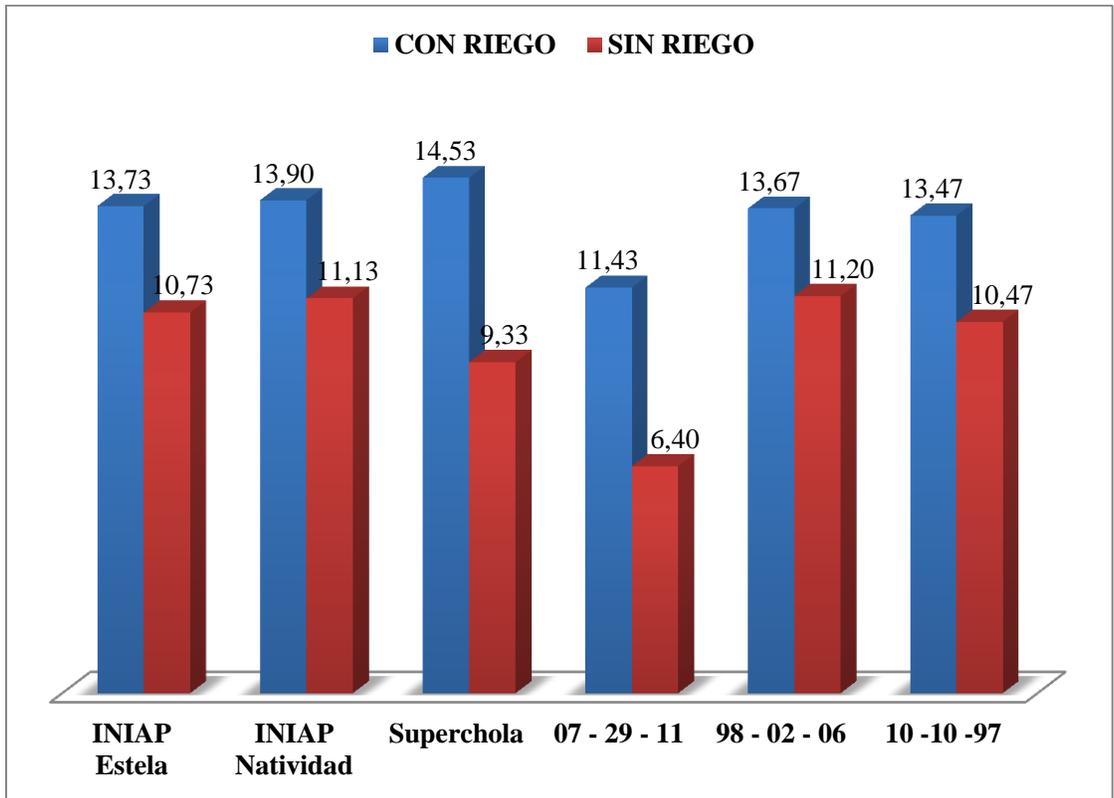


Gráfico 30. Promedios de rendimiento total (kg/parcelas neta) de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

5. Porcentaje de materia seca del tubérculo

El análisis de varianza para el porcentaje de materia seca del tubérculo (**Cuadro 29**) señala diferencias altamente significativas para genotipos y repeticiones. El promedio general fue de 23, 89 % y el coeficiente de variación 8,01 %

Cuadro 29. Análisis de la varianza para el porcentaje de materia seca de los tubérculos de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
Total	35	
RIEGO	1	1,44 ns
GENOTIPOS	5	19,22 **
REPETICIONES	2	65,21 **
RIEGO*GENOTIPOS	5	4,89 ns
Error	22	3,66
Promedio (%)		23,89
CV (%)		8,01

∴ ns = (p > 0.05), ** = (p < 0.01)

Según la prueba de Tukey al 5% (**Cuadro 30**) señala que el clon 07 – 29 – 11 (Sin Riego) presentó el mayor contenido de materia seca con 26,70% ubicándose el rango “a”, a diferencia de la variedad INIAP – Natividad (Sin Riego) presentó el menor contenido de materia seca con 20,87% en el último rango (b). Al respecto Van Loon (1998), Kumar *et al.*, (2003) y Jensen *et al.*, (2000) señalan que el contenido de materia seca en los tubérculos no es afectado cuando hay condiciones severas de déficit hídrico además tiende a mejorar su “calidad” debido al mayor porcentaje de materia seca en los tubérculos haciéndolo apropiado para la industria de los chips por su color más claro y uniforme, es decir la calidad mejora a medida que se aplica menos agua pero a coste de reducciones en el rendimiento (**Gráfico 31**).

Cuadro 30. Promedios y prueba de Tukey al 5% contenido de materia seca del tubérculo de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

RIEGO	GENOTIPOS	PROMEDIOS (%)
SR	07 - 29 - 11	26,70 a
CR	Superchola	25,87 ab
SR	Superchola	25,70 ab
SR	INIAP Estela	24,97 ab
CR	07 - 29 - 11	24,77 ab
CR	INIAP Estela	24,77 ab
CR	INIAP Natividad	24,23 ab
CR	10 -10 -97	23,43 ab
SR	10 -10 -97	22,03 ab
SR	98 - 02 - 06	21,87 ab
CR	98 - 02 - 06	21,47 ab
SR	INIAP Natividad	20,87 b

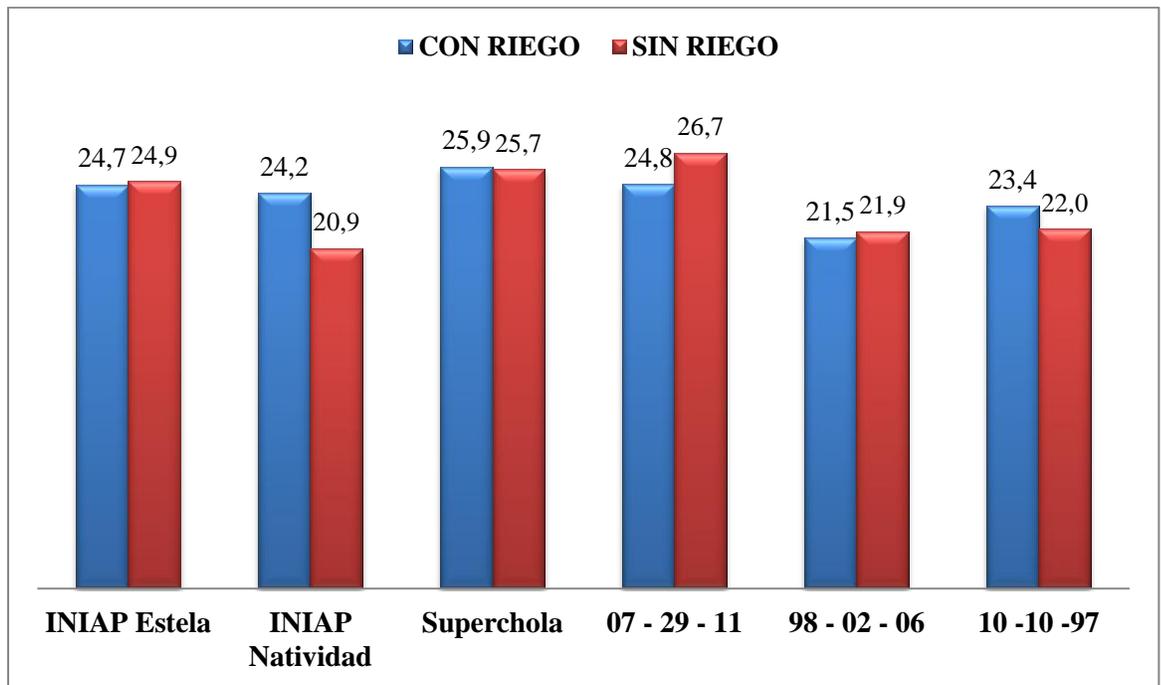


Gráfico 31. Promedios de materia seca (%) de los tubérculos de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

P. SELECCIÓN DE VARIABLES

Para la selección de variables que permitan identificar genotipos de papa (*Solanum spp.*) con mayor tolerancia al déficit hídrico se tomó en consideración el contenido de clorofila, contenido relativo de agua en las hojas, materia seca de la planta completa y el rendimiento categoría comercial en el manejo “Sin Riego”

Q. SELECCIÓN DE GENOTIPOS

Para la selección de genotipos se destaca los mayor contenidos de clorofila que fueron los clones 98 – 02 – 06, 07 – 29 -11 y las variedades Superchola e INIAP – Estela

En el caso del contenido relativo de agua los mejores fueron las variedades INIAP – Natividad, INIAP – Estela y los clones 98 – 02 – 06, 10 – 10 – 97.

La materia seca de la planta completa destaca INIAP – Estela, INIAP – Natividad, 10 – 10 – 97 y 98 – 02- 06.

Por último el rendimiento en papa comercial los mejores resultados fueron para 98 – 02- 06, INIAP – Estela, 07 – 29 -11 y 10 – 10 – 97.

En base a lo señalado los genotipos seleccionados fueron INIAP – Estela, 98 – 02 – 06, INIAP – Natividad, 10 – 10 – 97, ya que sobretodo en rendimiento por categoría comercial y semilla presentaron los mejores valores por hectárea siendo este un indicador más relevante para tomar en consideración esta selección.

VI. CONCLUSIONES

- A.** Los requerimientos hídricos en mm/ ciclo son 416,7 para la variedad INIAP – Estela, 410 para la variedad INIAP – Natividad, Superchola y el clon 98 – 02 – 06 y 409 para los clones 07 – 29 - 11 y 10 – 10 – 97.
- B.** El rendimiento de tubérculo categoría “comercial “es un indicador relevante para determinar la tolerancia al déficit hídrico al igual que el contenido relativo de agua en las hojas.
- C.** Bajo condiciones de déficit hídrico el clon 98 – 02 – 06 presenta el mayor rendimiento en categoría “comercial” (1,50 kg/planta), seguido de la variedad INIAP – Estela (1.13 kg/planta).
- D.** Los genotipos con mayor tolerancia al déficit hídrico son INIAP – Estela, 98 – 02 – 06, INIAP – Natividad y 10 – 10 – 97.
- E.** El mejoramiento genético permite incrementar la tolerancia al déficit hídrico lo cual se demuestra en los genotipos estudiados.

VII.RECOMENDACIONES

- A.** Trabajar con los genotipos tolerantes a la sequía INIAP – Estela, 98 – 02 – 06, INIAP – Natividad, 10 – 10 – 97 en un ensayo para determinar el balance hídrico.
- B.** Determinar láminas y frecuencias de riego con las variedades y clones seleccionados, para la optimización, buen uso y manejo del agua de riego.
- C.** Desarrollar técnicas de modelación matemática para estimar la evapotranspiración en tiempo real del cultivo de papa bajo las condiciones de la Sierra Ecuatoriana con el método de balance de agua.
- D.** No cultivar la variedad Superchola en zonas con déficit hídrico (menor a los 400 mm).

VIII. RESUMEN

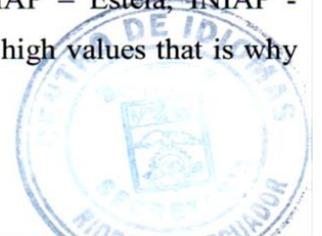
El presente trabajo de investigación plantea: Evaluar agrónomicamente seis genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico, en Macají, en la ESPOCH, Provincia de Chimborazo. Se utilizó un diseño de parcela dividida en donde la parcela grande fue el factor riego (Con riego y Sin riego) y los genotipos fueron las parcelas pequeñas, el experimento tuvo tres repeticiones por tratamiento. Entre los genotipos utilizados se trabajó con tres variedades INIAP – Estela, INIAP – Natividad y Superchola y tres clones 98 – 02 – 06, 10 – 10 – 97 y 07 – 29 – 11. El factor riego fue evaluado mediante dos métodos: 1) en condiciones óptimas durante todo el ciclo de cultivo (Con Riego) y 2 con una suspensión en la etapa fenológica de floración por un periodo de 20 días (Sin Riego), instalándose en dichos métodos un sistema de riego por goteo para evaluar la capacidad de recuperación de las plantas después del déficit hídrico. Además la aportación de agua fue mínima permitiendo a los genotipos de papa (*Solanum spp.*) cumplir su ciclo fenológico, para ello se realizó un calendario de riego, con los siguientes parámetros de evaluación: Contenido gravimétrico de agua en el suelo, Potencial mátrico del suelo, Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto), Evapotranspiración del cultivo (Etc), datos que permitieron determinar los requerimientos hídricos por estado fenológico (Kc). Las variables respuesta fueron: emergencia, altura de planta, cobertura de la planta, vigor de la planta, floración, tuberización, senescencia, potencial de recuperación, materia seca de la planta completa, contenido de clorofila, contenido relativo de agua, número de tubérculos por planta, rendimiento por planta, rendimiento por tamaño del tubérculo, rendimiento total y materia seca del tubérculo. En el manejo “Sin Riego” la variedad Superchola y el clon 07 – 29 – 11 presentaron susceptibilidad al déficit hídrico, mientras que las variedades INIAP – Estela, INIAP – Natividad y los clones 98 – 02 – 06, 10 – 10 – 97 presentaron tolerancia en base al contenido relativo de agua, materia seca de la planta completa y sobretodo el rendimiento categoría comercial notándose grandes diferencias al no suministrar riego. Se concluye que las variedades INIAP – Estela, INIAP Natividad y los clones 98 – 02- 06, 10 – 10 – 97 presentan valores altos por los que las considera como tolerantes a la sequía.

Por: Robinson Peña



IX. ABSTRACT

The present research is planned for evaluating agronomically six genotypes of potato (*Solanum spp*) with tolerance to the hydric deficit, in Macaji, in the Higher School Polytechnic of Chimborazo, Province of Chimborazo. It was used a parcel design divided where the big parcel was the watering factor (with watering and without watering) and the genotypes were the small parcels, the experiment had three repetitions per treatment. Among the genotypes used were worked with three varieties, INIAP – Estela, INIAP – Natividad and the Superchola and the three clons 98 – 02 – 06, 10 – 10 – 97, and 07 – 29 – 11. The watering factor was evaluated by using two methods: 1) in optical conditions during all the cycle of crop (With watering) and 2) with a suspension in the phenological of blooming for a period of 20 days (Without watering), by installing in such methods a drip irrigation system to evaluate the capacity of recovering of the plants after the water deficit. Furthermore the contribution of water minimal permitting to the genotypes of potato (*Solanum spp.*) to accomplish its phenological cycle, for this was made a calendar of watering, with the following parameters of evaluation: Gravimetric content of water in the soil, Matric potential of the soil, Evapo transpiration of the crop of reference (Eto), Evapo transpiration of the crop (Etc), data that permit determining the water requirements by phenological state (Kc). The outcome variables were: emergency, height of plant, coverage of the plant, strength of the plant, blooming, tuberization, and senescence, recovery potential, dry material of the whole plant, chlorophyll content, and relative content of water, number of tubers per plant, performance per plant, performance per size of tuber, whole performance and dry material of tuber. In the management “Whithout watering” the variety Superchola and the clon 07 – 29 – 11 present susceptibility to the hydric deficit, meanwhile the variety INIAP – Estela, INIAP – Natividad and the clons 98 – 02 – 06, and 10 – 10 – 97 present tolerance in base of the content related to water, dry material of the whole plant and overall the commercial category performance noting big differences at the moment of not providing watering. It is concluded that the varieties INIAP – Estela, INIAP - Natividad and the clons 98 – 02 – 06, and 10 – 10 – 97 present high values that is why they are considered as tolerant to drought.



X. BLIOGRAFÍA

1. ALDABE, L Y GOGLIOTTI, S. 2000. Bases del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa: documento electrónico, fuente internet. Universidad república de Uruguay (fecha de consulta 21 de Mayo 2012) disponible en http://www.fagro.edu.uy/~cultivos/Materiales_de_curso/Modulo_hort%EDco la/Repartido%20Cultivos.pdf.
2. ACKERSON, 1997. Water relations and physiological activity of potatoes. *Journal of The American Society of Horticultural Science*, pp 572-575.
3. AGUIRRE Z. 1996 Manual de prácticas agroecológicas de los andes ecuatorianos. Editorial Abya Yala. Ecuador. 162 p.
4. ALÓNDO J. 2008. La papa y el calentamiento global. Consultado el 25 de enero de 2009. Disponible en: <http://bitacoradelapapa.wordpress.com/2008/12/09/hello-world/#more-1>
5. ALLEN R., PEREIRA R., RAEZ D., SMITH M. 2006. Evapotranspiración de cultivo. *Boletín FAO* 56. Roma – Italia. 161p.
6. BAO-ZHONGY, NISHIYAMA, ALISDAIR; WILLMITZER Y TRETHERWEY. 2002. Sucrose to starch: a transition in molecular plant physiology. *Trends Plant Sci.* 7(1), 35-41.
7. BELTRI E. 2008. Medida del balance hídrico y estimación del coeficiente Kc en fincas de la Vega Baja de Segura para la mejora de la programación de riegos utilizando. pp 78 – 84.
8. BEEKMA A. y BOUMA W. 1986. A possible screening technique for drought tolerance in potato. *Foundation for agricultural plant Breeding, Wageningen the Netherlands*, pp 67 -71.
9. BEUKEMA, H. Y D. VAN DER ZAAG. 1979. *Potato Improvement. Some factors and facts.* International Agricultural Center. IAC. Wageningen. The Netherlands. 224p.
10. BODLAENDER K. 1998. Effects of drought on water use, photosynthesis and transpiration of potatoes I. drought resistance and water use. *Center for agricultural biological research Wageningen the Netherlands*, pp 36 -42

11. BONIERBALE M., DE HAAN, S., FORBES, A. 2007 Procedures for standard evaluation trials of advanced potato clones. An International Cooperators' Guide. International Potato Center (CIP), Lima - Perú.
12. BONILLA N. 2009. Evaluación y selección agronómica de cuarenta genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L) para tolerancia a estrés hídrico en tres localidades de la provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis para otorgar el grado de Ingeniería. Ecuador.
13. BORBA N. 2008 Consultado el 19 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://www.rapaluruguay.org/Papa.pdf>.
14. CALLEJAS M. 2002. Descubriendo la Ciencia por medio de la relación Suelo – Agua –Planta. Consultado el 19 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51617656/imp-riego-1>
15. CAMADRO E. 1996. Utilización del germoplasma en el mejoramiento de la papa.
16. CASIERRA-POSADA, F. Y O. E. AGUILAR-AVENDAÑO. 2008. Respuestas fisiológicas y morfológicas de plantas de mora (*Rubus* sp.) sometidas a estrés por viento inducido. Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 2(1), 43-53.
17. CASTONGUAY Y MARKHART, 1991 Saturated rates of photosynthesis in water stressed leaves of common beans and therapy beans. Crop Sc. 31. 1605 – 1611.
18. CHARKOWSKI A., 2012 Cultivos de hortalizas. Consultado el 19 de Octubre de 2013. Disponible en <http://www.plantpath.wisc.edu>. Wisconsin-Madison.
19. CHIMENTIC. 2005. Déficit hídrico. Disponible en: <http://www.agro.uba.ar/carreras/jardineria/materias/fisio/deficit.pdf>
20. CIP. 2010 Evaluación de resistencia de genotipos de papa y batata (camote). 16 pp.
21. CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA. 1996, Degradación de clorofila y pérdida de almidón en frijol bajo sequía. Publicado por Nuñez-Barrios, A y Rumayor, A., Chihuahua, MEXICO.
22. CONNORS. 2008. La Jornada. Biocombustibles empeoran el cambio climático, concluye estudio científico. Disponible en www.jornada.unam.mx/2008/02/08/index.php?section=ciencias&article=a03n1cie

23. CORTBAOUI, R., 1998 Descartes de plantas de papa. Centro Internacional de la papa. Boletín de información Técnica N° 5. Lima, Perú.
24. COVARRUBIAS A. 2007. Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. Revista biotecnología, Noviembre 2007.
25. CUBERO J. 1999. Introducción a la mejora genética vegetal. Ediciones mundi prensa. Madrid España.
26. CUESTA X. 2010. Recursos genéticos de papa y fitomejoramiento. INIAP. Quito – Ecuador.
27. CUESTA X. 2008. Guía para el manejo y toma de datos de ensayos de mejoramiento de papa. INIAP – PNRT – papa. Quito - Ecuador.
28. CULTURAL,2004. Manual Práctico de Agricultura. Edición MMVI. Madrid España. pp 56 – 89 y 132 – 136.
29. DARWISH, ATALLAH, HAJHASAN Y HAIDAR. 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. Agr. Water Manage. 85, 95- 104.
30. DELAUNEY AJ., HU CA., KAVI K. y VERMA D.1993 Cloning of ornithin delta-aminotransferase cDNA from *Vigna conitifoliaby* transcomplementation in *Escherichia*.
31. DELMHORST, 1999. Manual de funcionamiento de los bloques de modelo KS–D1. Consultado el 6 de junio del 2013. Disponible en: www.delmhorst.com
32. DOGLIOTTI S., COLNAGO P., GALVÁN G., ALDABE L., 2011. Bases Fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas.
33. El resumen del Informe de Síntesis de la IAASTD. 2008. Disponible en: www.greenfacts.org
34. ENCISO, 2005. Sensores de Humedad del Riego para eficientizar el riego. Cooperativa de Texas. pp 2 – 6.
35. ESTRADA N. 2000. La biodiversidad en el mejoramiento de papa en Bolivia. PROINPA, CID, CIP – Bolivia.
36. EKANAYAKE I. 1994. CIP Research 30, studying drought stress and irrigation requirements of potatoes.Lima - Perú.

37. FAO, 2008. El cambio climático y la producción de alimentos. Consultado 25 de noviembre del 2013. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0112s/i0112S03.pdf>
38. FAO, 2008. Año Internacional de la Papa. El calentamiento global -pérdidas y ganancias. Consultado 25 de enero del 2013. Disponible en www.potato2008.org/es/perspectivas/bindi.html.
39. FAO, 2008. La papa y los recursos hídricos. Consultado 25 de noviembre del 2013. Disponible en: <http://www.potato2008.org/es/lapapa/agua.html>
40. FAO, 2008. El mundo de la papa. Consultado 25 de enero del 2013. Disponible en: <http://www.potato2008.org/es/mundo/>
41. FAROOQ, M. *et all* 2008. Función fisiológica de forma exógena aplicada glycinebetaine en la mejora de tolerancia a la sequía de la aromática de grano finoarroz (*Oryza sativa* L.). *J. Agron. Crop Sci.*, 194: 325-333
42. FUENTE A. 2006. Programación de riego con tensiómetros. Consultado 14 de junio del 2013. Disponible en: <http://www.tensiometrosuelo/agua.html>. Culiacan México 22 – 28 pp.
43. FULAI, SHAHNAZARI, ANDERSEN, JACOBSEN Y JENSEN. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Hort.* 109,113-117. Haverkort, A. & D. MacKerron. 2000. Management of Nitrogen and Water in Potato Production. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Pers. pp. 353
44. GALLEGOS P., AVALOS G. y CASTILLO C. 1997. El Gusano Blanco (*Premnotrypes vorax*) en el Ecuador: Comportamiento y Control. INIAP. Quito. Ecuador. 35 p.
45. GARDNER 2002. Principios de genética. Cuarta edición. Editorial Limusa. Cuarta edición. México.
46. GÓMEZ J., SANCHEZ, STIEFEL V., RIGAU J., PUIGDOMENECH P. y PAGES. 1988. A gene induced by the plant hormone abscisic acid in response to water stress encodes a glycine-rich protein. *Nature* 334, 262-264.

47. GIARDINI, 2004 Humedad en el suelo. Consultado 25 de enero del 2013. Disponible en: www.visionlearning.com
48. GUMMULURU S., HOBBS S., JANA S. 1989. Physiological responses of drought tolerant and drought susceptible durum wheat genotypes. *PhotoSynthetica* 23: 479-485.
49. HALE M. y ORCUTT D. 1987. *The physiology of plants under stress*. John Willey y Sons.
50. HANS J. y SHEVELERA E. 1995 *Adaptations to Environmental Stresses*. University of Arizona, USA. *The plant cell*. Vol 7. American society of plant physiologists
51. HANSON A. y HITZE W. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology* 10 – 22 pp.
52. HARGREAVES G. y MERKLEY G. 2000. *Fundamentos del riego*. Water resources publications, llc. Centro internacional de riego. Utha EUA.
53. HAVERKORT, A. Y. D. MACKERRON. 2000. *Management of Nitrogen and Water in Potato Production*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Pers. pp. 353
54. HIDALGO D. 2008. *Diseño, evaluación e instalación de un sistema de riego*. Lima – Perú. pp 15 – 21.
55. HUAMÁN Z. 2009. *Descripciones morfológicas de la papa Solanum tuberosum L.* Consultado el 21 de Octubre del 2013. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/30355150/Descriptores-morfologicos-de-la-papa-Solanum-tuberosum-L>.
56. HURTADOL. 2002. *Fundamentos del riego: documento electrónico*. Consultado 18 de diciembre del 2012. Disponible en: http://agricola-unl.com/pdf/Fundamentos_Riego.pdf
57. INFORESOURCES, 2008. *Potatoes and Climate Change*. FOCUS No 1/08; 16 pp Consultado 29 de noviembre del 2012. Disponible en http://www.inforesources.ch/pdf/focus08_1_e.pdf
58. INIA, 2013. *La importancia del agua en el cultivo de papa*. Consultado el 24 de mayo de 2013. Disponible en: <http://innovagro.wordpress.com>

59. JACOBSEN S. y MUJICA A. 1997. Mecanismo de resistencia a la sequía de la quinua. Libro de resumen del congreso internacional de agricultura para zonas áridas. Arica – Chile, pp 68.
60. JALEEL C. *et all.* 2008. Estrés hídrico déficit efectos sobre el metabolismo de oxígeno reactivo en *Catharanthus roseus*; impactos sobre la acumulación de ajmalicine. *Coloides Surf. B: Biointerfaces*, 62: 105-111
61. JARAMILLO D. 2012. Evaluación y selección de dieciséis genotipos de papa (*solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico en dos localidades de la provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis para otorgar el grado de Ingeniería. Ecuador.
62. JENSEN, JACOBSEN, ANDERSEN, NUNEZ, ANDERSEN S., RASMUSSEN L. Y MOGENSEN V. 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *Eur J Agron.* ISSN 1161-0301. 13:11-25.
63. JIA, W., J. ZHANG Y D.P. ZHANG. 1996. Metabolism of xylem-delivered ABA in relation to ABA flux and concentration in leaves of maize and *Commelina communis*. *J. Exp. Bot* 47:1085-1091.
64. JONES, H. 1992. Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plantphysiology, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
65. KALAZICH J. 1993. Nuevas variedades de papas, objetivos, aptitudes y usos. Manejo agronómico del cultivo de papa y las perspectivas del mercado. Universidad Católica de Temuco. Temuco Chile.
66. KARAFYLLIDIS, D.I.; N. STAVROPOULOS Y D. GEORGAKIS. 1996. The effect of water stress on the yielding capacity of potato crops and subsequent performance of seed tubers. *Potato Res.* 39, 153- 163.
67. KAVI K., SANGAM S., AMRUTHA R., LAXMI P., NAIDU K., RAO K., RAO S., REDDY K., THERIAPPAN P. y NREENIVASULU N. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Curr Sci* 88 (3):424–438

68. KHURANA, S.M. PAUL; J.S. MINHAS; S.K. PANDEY (eds.). 2003. The Potato: Production and Utilization in Sub-Tropics. Mehta Publishers. New Delhi.
69. KING B. y STARK J. 2000. Potato irrigation management: document electronic, fuente internet. University of idaho, cooperative extension system, collages of Agriculture. <http://info.ag.uidaho.edu/resources/PDFs>
70. KLEINKOPF, WESTERMANN, DWELLE. 1981. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultigens. *Agron. J.* 73: 799 – 802.
71. KRAMER P. 1983. Water stress and plant growth. New York 55p.
72. KRUG, H. 1997. Enviromental influences on development growth and yield. The physiology of vegetable crops. CABI Publishing. Londres – Gran Bretania. pp. 101-180.
73. KUMAR D., MINHAS Y SINGH. 2003. Abiotic Stress and Potato Production. En.
74. LAHLOU O., OUATTAR, S.2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato.
75. LEFF E. 2003. La Transición hacia el desarrollo sustentable. Consultado el 19 de enero del 2013. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/407.pdf>
76. LENDENT J. 2003. Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: respuesta al déficit hídrico. Comportamiento morfofisiológico. CIP, papa andina, fundación proimpa. www.googlebooks.com.ec
77. LEVITT J. 1967. Crop responses to wáter al different stages of growth. Commonwealth Bureau Hortic. East Malling 2, pp 93 – 97
78. LEÓN J. y TREZZA R. 1998. Determinación de evapotranspiración del cultivo y Kc. Centro Internacional de Riegos. Utah. pp 3 – 18.
79. LEÓN J. 2012. Riegos y drenajes. Primera Edición. Editorial E – COPYCENTER. Riobamba Ecuador. pp 13 – 57.
80. LEVYD. 1986. Genotypic Variation in the response of potatoes to high ambient temperatures and water deficit, *Field Crops Research* 15: 85-96.
81. LYNCH D y TAI G. 1989. Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. *Canada res.* pp 63.

82. MAGAP. 2006. Boletines agros climáticos mensuales: 2001-2006. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Quito. Consultado 29 de noviembre del 2012. Disponible en <http://www.sica.gov.ec/agro/agroclima/bol-mens.htm>
83. MAGAP. 2012. Sistema de información Nacional de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca. Consulta de precios. Consultado 29 de noviembre del 2012. Disponible en: http://201.219.3.97/sinagap/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=443
84. MAMANI P. 1993. Comportamiento Morfológico de dos clones de papa sometidos a Estrés hídrico por Sequia, Universidad Nacional Agraria la Molina. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae.
85. MARTÍN, F. LÓPEZ P. y CALERA A. 2005. Agua y agronomía. Editorial Mundi prensa. Madrid – España.
86. MARTÍNEZ C. y MORENO U. 1992. Expresiones fisiológicas de resistencia a dos variedades de papa sometidas a condiciones de estrés hídrico en condiciones de campo. *Revista Fisiología Vegetal* pp 33 – 39.
87. MAY y MILTHORPE F. 1962 Drought resistance of crop plants. *Fiel crop abstract* 15. pp 171- 177
88. Mc CUE y HANSON. 1990. Excess and deficient water stress effect on 30 year of a roostookcontry potatoes yields. *American potato journal* 62, pp 49 – 55
89. METZERPLAS, 2013. Gotero integral. Disponible en: www.metzerplas.com.
90. MILLER, D. E.; MAERTIN, M. W. 1987. Effect of water stress during tuber formation on subsequent growth and internal defects in “Ruset burbank” potatoes. *American Potato Journal* 62: 85-89.
91. MOORBY J., MUNNS R. y WALCOTT J. 1975. Effect of water déficit on photosynthesis and tuber metabolism in potatoes. *Australian Journal of Plant Physiology*.
92. NICHOLAS y RUF. 1967. Relation between moisture stress and potato tuber developed. *Proceeding of America Society for Horticultural Sciencie*. Pp 443 – 448

93. NIVAP, (2008) Consultado el 13 de octubre de 2013 Disponible en <http://www.aardappelpagina.nl>
94. Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (PICC). 2007. Cambio Climático golpea fuerte a América Latina y el Caribe. Disponible en http://www.unep.org/pdf/ipcc/IPCC_spanish.pdf
95. OCEANO, 2002. Enciclopedia Practica de la Agricultura Y Ganaderia. Barcelona España. pp 96 – 99.
96. O'MEARA L. 2012 La importancia del agua para las plantas Consultado el 7 de junio de 2013. Disponible en <http://www.ehowenespanol.com>
97. PAREDES W. 2003. Mejoramiento genético en plantas. Universidad nacional San Agustín. Consultado 25 de noviembre del 2012. Disponible en: www.infoagro.com
98. PARRY M., ROSENZWEING C., LIVERMORE M., y FISCHER T. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios”, *Global Environmental Change*. pp. 53–67
99. PÉREZ G. y MARTÍNEZ L. 1994. Introducción a la fisiología vegetal Primera Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid España. Pp 32 , 45 y 54.
100. PUMISACHO M. y SHERWOODS. 2002. Cultivo de la papa en Ecuador. Quito – Ecuador. Centro Internacional de la papa.
101. Revista latinoamericana de la papa (1988) 1, 35-43 p. concluye estudio científico. Reportaje www.jornada.unam.mx/2008/02/08/index.php?section=ciencias&article=a03n1cie
102. RANALLI G., CHIAVARINI M., GUIDETTI V., MARSALA F., MATTEINI M. (1997). Tolerance of plants to abiotic stress. *Int. Biodet. Biodeg.*, 40: 255-261.
103. ROJAS G., POSADAS A., QUIROZ R., HOLLE M., MÁLAGA M., 2007. Secado Parcial de Raíces: Una Promisoria Técnica de Riego en Papa (*Solanum Tuberosum l.*). Universidad Nacional Agraria la Molina. Perú.
104. ROMERO L. 2005. Riego por goteo. Consultado 30 de noviembre del 2012. Disponible en: http://www.prede.org.pe/prede/cartilla_riegoteo.pdf

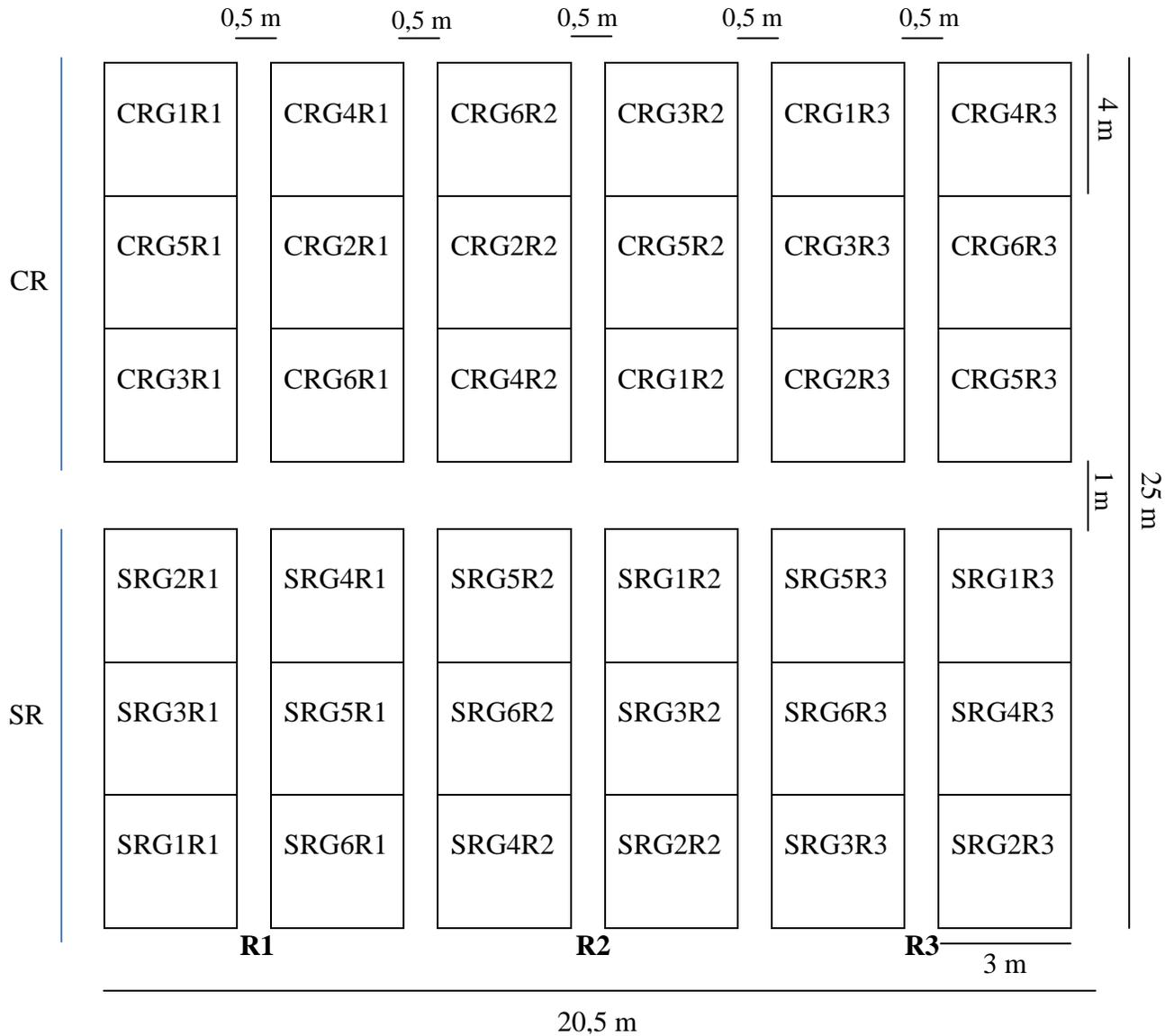
- 105.ROSSOUW F y WAGHMARAE J. 1995. The effect of drought and yield of two south African potato cultivars. Department of genetics. University the Witwatersrand, pp 149 – 150.
- 106.ROUSSEELLE Y. et al. 1996. La patata: producción, mejora, plagas y enfermedades, utilización. Ediciones mundi prensa. Paris Francia. pp 122
- 107.SANTOS, F. 2007. Genotipo. Consultado el 25 febrero 2013. Disponible en <http://www.infoescola.com>
- 108.SAURI, 2007. Potential effects of global change at Catalanian´s socio-economic and cultural levels. Proc. Of Adaptation to climate change: bridging science and decision making Seminary ETC/LUSI/GenCat/UAB
- 109.SHAXSON F, Y BARBER 2005. Optimización del recurso suelo para producción vegetal. Boletín FAO 79. pp 22
- 110.SAVÉ R. 2007. Potential effects of global change on Catalanian´s agriculture. Proc. Of Adaptation to climate change: bridging science and decision making Seminary ETC/LUIS/GenGat/UAB.
- 111.SCHAFLEITNER R., CHRISTELLE M., CÉDRIC G., ALVARADO A. y LUCIEN H. 2007. Field Screening for Variation of Drought Tolerance in Solanum tuberosum L. y Agronomical. Physiological and Genetic Analysis. Potato Research 50: pp 71 – 85
- 112.SERMET, CALISKAN Y CALISKA. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. Agric. Water Manage. 73, 73-86.
- 113.Servicio de Información y Censo Agropecuario (SICA). 2009 (Kc) Requerimientos de agua, consultado el 28 de enero de 2013, disponible en: <http://www.sica.gov.ec/agro/docs/reqidricos.htm#PAPA>
- 114.SIMPFENDOFER,2000. Efecto del Riego en el cultivo de papa. Especial del riego y drenaje. INIA (34). pp 35 – 38.
- 115.SHAXSON F. y BARBER R. 2005. Optimización del recurso suelo para producción vegetal. Boletín FAO 79. pp 22

- 116.SMART R. y BINGHAM G.1974. Rapid Estimates of Relative Water Content. *Plant Physiol.* 53: 258-260
- 117.STOTT P., STONE D. y ALLEN, M. 2004. Human contribution to the European heatwave of 2003, *Nature* 432, 610-614.
- 118.STRECK N., MATIELO DE PAULA, BIGOGNIN, HELDWEIN Y DELLAI. 2006 Simulating the development of field growth potato. *Agricultural and Forest Meteorology* 142: 1 – 10
- 119.SUQUILANDA M. 2011. La producción orgánica de papa. Ed. EDIFARM. Quito, Ecuador.
- 120.TENGA AZ, MARIE BA, ORMROD PD. 1989. Leaf greenness meter to assess ozone injury to tomato leaves. *HortScience* 24: 514.
- 121.TOURNEUX, DEVAUX.2003. Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (I): morphological parameters, growth and yield. *La Paz, BO. Agronomie.*, 23 (1) 169-179.
- 122.UMADERUS, 1983. Drought tolerance in potato. pp. 375 – 376.
- 123.VAN DER ZAAG 1981 Aportación de agua al cultivo de la patata. *La Haya. Países Bajos*, 1981.
- 124.VAN LOON D. 1981. Drought a major contain in potato production and possibilities for screening for drought resistance; Research station for arable forming and field production of vegetables lelystad, the Netherlands, pp 7 – 15
- 125.VÁSQUEZ V. y IGLESIAS L. 2000. Pautas para una programación del riego. *Boletín técnico ICIA* 7 pp 69-77.
- 126.VAYDA, M.E. 1994. Environmental stress and its impact on potato yield. Wallingford (UK). Centre for Agriculture and Biosciences International (CABI). ISBN 0-85198-869-5 pp. 239-261.
- 127.VREUGDENHIL, BRADSHAW, GEBHARDT, GOVERSMACKERRON, TAYLOR Y HEATHER. 2007. *Potato biology and biotechnology: Advances and perspectives*. Elsevier, Amsterdam.
- 128.WATSON R., ZINYOWERA M. y MOSS, R. 1997. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Summary for policymakers. Report of IPCC Working group II. Cambridge 16pp.

- 129.WILL, 2012. Sistemas de riego. Consultado el 18 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://agropecuarios.net/sistemas-de-riego-por-aspersion-surcos-y-goteo.html>
- 130.WRIGHT J. Y STARK J. 1990. Potato. En: B.A. Stewart & D.R. Neilsen, eds. *Irrigation of Agricultural Crops - Agronomy*. Monograph No. 30, Madison, Wisconsin, United States of America, ASA-CSSA-SSSA.
- 131.YOSHIBA Y., KIYOSUE T, NAKASHIMA K, YAMAGUCHI-SHINOZAKI K. y SHINOZAKI K. 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. *Plant Cell Physiol* 38(10):1095–1102

XI. ANEXOS

ANEXO 1. Esquema de la distribución de los tratamientos en estudio para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (*Solanum spp*) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo 2013.



CR: Con Riego
SR: Sin Riego
G: Genotipo
R: Repetición

ANEXO 2. Costo del ensayo para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (*Solanum* spp.), con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo 2013

RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. (USD)	TOTAL (USD)	INIAP	ESPOCH
PREPARACIÓN DEL SUELO				66,0	66,0	
Arada	Hora	1	15	15,0	15,0	
Rastrada	Hora	1	15	15,0	15,0	
Surcada/Mano de Obra	Jornal	3	12	36,0	36,0	
FERTILIZACIÓN				137,3	137,3	
Fertipapa siembra	kg	30	0,95	28,5	28,5	
18 - 46 - 00	kg	25	0,95	23,8	23,8	
Urea	kg	20	0,7	14,0	14,0	
Fertipapa Aporque	kg	50	0,7	35,0	35,0	
Mano de Obra	Jornal	3	12	36,0	36,0	
SIEMBRA				76,0	76,0	
Semilla	qq	2	20	40,0	40,0	
Mano de Obra	Jornal	3	12	36,0	36,0	
CONTROLES FITOSANITARIOS				222,3	222,3	
Mancoceb.	kg.	1	8,5	8,5	8,5	
Metalaxil + Mancoceb	kg.	1	18,5	18,5	18,5	
Fosetil Al.	l	1	16	16,0	16,0	
Dimetomorf.	l	1,5	14,5	21,8	21,8	
Thiametoxam + Lambdacihalotrina	l	0,5	100	50,0	50,0	
Alfa Cipermetrina.	kg.	1	11,5	11,5	11,5	
Mano de obra.	Jornal	8	12	96,0	96,0	
LABORES CULTURALES				108,0	108,0	
Rascadillo	Jornal	3	12	36,0	36,0	
Madio Aporque	Jornal	3	12	36,0	36,0	
Aporque	Jornal	3	12	36,0	36,0	
COSECHA				51,0	51,0	
Envases	Sacos	50	0,3	15,0	15,0	
Mano de Obra	Jornal	3	12	36,0	36,0	
MATERIALES DE CAMPO				700,0	700,0	
Sistema de Riego	Unidad	1		300,0	300,0	

(Goteo)					
Letreros	Paquete	36	1,5	54,0	54,0
Plastico	Rollo	2,5	134	335,0	335,0
Cajas Petri	Paquete	2	5,5	11,0	11,0
MATERIALES DE OFICINA				148,3	148,3
Papel bond	Resma	3	4,5	13,5	13,5
Libreta de apuntes	Unidad	4	0,6	2,4	2,4
Marcadores	Unidad	6	0,5	3,0	3,0
Carpetas	Docena	1	2,4	2,4	2,4
CD	Unidad	8	0,25	2,0	2,0
Impresiones	Hojas	300	0,05	15,0	15,0
Anillados	Unidad	5	2	10,0	10,0
Empastado	Texto	5	20	100,0	100,0
OTROS				5346,0	5346,0
Análisis de suelo	Análisis	2	23	46,0	46,0
Visita de Tesis	Visita	2	100,00	200,0	200,0
Viáticos y Movilización	Movilización	10	30	300,0	300,0
Remuneración tesista	Unidad	400	12	4800,0	4800,0
EQUIPOS DE CAMPO				780,4	
Tensiómetros:					
De 15 cm (\$116)	Unidad	6	11,44	68,7	68,7
De 30 cm (\$120)	Unidad	6	11,84	71,0	71,0
De 45 cm (\$125)	Unidad	6	12,33	74,0	74,0
Bloques de Yeso (\$300)	Unidad	1	29,59	29,6	29,6
Barreno (\$350)	Unidad	1	34,52	34,5	34,5
Capsulas Metálicas (\$20)	Unidad	27	3,29	88,8	88,8
Estufa (\$6115)	Unidad	1	201,04	201,0	201,0
Estación meteorológica (\$500)	Unidad	1	24,66	24,7	24,7
Balanza Diguital (\$176)	Unidad	1	21,7	21,7	21,7
Medidor de Clorofila (\$5063)	Unidad	1	166,46	166,5	166,5
SUBTOTAL				7635,2	
Imprevistos (5 %)				381,8	381,8
TOTAL				8016,9	7403
Porcentaje					614
					92,3
					7,7

1. Fuentes de financiamiento

En base al costo total por ciclo de cultivo, las fuentes de financiamiento y el aporte correspondiente a cada una de ellas, son las siguientes:

FUENTE	MONTO (USD)	PORCENTAJE (%)
INIAP	7403	92,30
ESPOCH	614	7,70
TOTAL	8016,9	100.00

ANEXO 3.Cronograma de actividades

Tiempo / Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elaboración anteproyecto	█	█	█	█	█	█																																										
Revisión del anteproyecto						█	█																																									
Aprobación del anteproyecto										█																																						
Selección de lote, georeferenciación y medición										█	█																																					
Muestreo de suelo										█																																						
Análisis de suelo											█																																					
Preparación del terreno											█																																					
Colocación de trampas											█																																					
Surcada											█																																					
Fertilización											█																																					
Siembra											█																																					
Evaluaciones y toma de registros.																																																
Rascadillo																																																
Labores Fitosanitaria*																																																
Semiaporque																																																
Segundo Aporque																																																
Cosecha																																																
Riego																																																
Escritura documento																																																
Presentación																																																

* Cuando se requiera

ANEXO 4. Análisis de suelo para la evaluación agronómica de seis genotipos de papa (*Solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico en Macají, Provincia de Chimborazo, 2013.

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

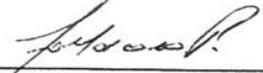
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

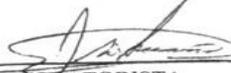
<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : ROBIN PEÑA Dirección : RIOBAMBA Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : CAMPUS MACAJI Provincia : CHIMBORAZO Cantón : RIOBAMBA Parroquia : LICAN Ubicación : ING. JORGE RIVADENEIRA	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> Cultivo Actual : PAPA Fecha de Muestreo : 21/03/2013 Fecha de Ingreso : 26/03/2013 Fecha de Salida : 09/04/2013
---	---	---

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
46370	LOTE 1 CR	7,48 PN	33,00 M	20,00 M	8,70 B	0,35 M	7,70 M	2,90 A	0,3 B	5,8 A	31,0 M	7,5 M	0,70 B
46371	LOTE 2 SR	7,70 LAI	29,00 B	31,00 A	12,00 M	0,28 M	8,40 A	4,00 A	0,5 B	6,3 A	29,0 M	7,8 M	0,80 B

INTERPRETACION		
pH		Elementos
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto
	RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado
S, B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado
	B = Curcumina


 RESPONSABLE LABORATORIO


 LABORATORISTA



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE
INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"

LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693



REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre	: ROBIN PEÑA	Nombre	: CAMPUS MACAJI	Cultivo Actual	: PAPA
Dirección	: RIOBAMBA	Provincia	: CHIMBORAZO	Fecha de Muestreo	: 21/03/2013
Ciudad	:	Cantón	: RIOBAMBA	Fecha de Ingreso	: 26/03/2013
Teléfono	:	Parroquia	: LICAN	Fecha de Salida	: 08/04/2013
Fax	:	Ubicación	: ING. JORGE RIVADENEIRA		

N° Muest.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural		
	Al+H	Al	Na									C.E.	M.O.	Mg		K	K
46370						2,66	8,29	30,29	10,95								
46371						2,10	14,29	44,29	12,68								

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.		M.O. y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto

ABREVIATURAS	
C.E.	= Conductividad Eléctrica
M.O.	= Materia Orgánica
RAS	= Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA	
C.E.	= Pasta Saturada
M.O.	= Dicromato de Potasio
Al+H	= Titulación NaOH


RESPONSABLE LABORATORIO


LABORATORISTA