

19660

EVALUACION DEL EFECTO DE DIFERENTES PROFUNDIDADES
Y DENSIDADES DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO
DEL TUBERCULO EN PAPA CRIOLLA
(*Solanum phureja*, Juz et Buk)

MARTHA CECILIA ALAPE ROJAS
DIANA DEL PILAR RAMOS GARZON

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía
Departamento de Fisiología de Cultivos
Bogotá, D.C.

19660

2001

01

**EVALUACION DEL EFECTO DE DIFERENTES PROFUNDIDADES Y
DENSIDADES DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL TUBÉRCULO EN
PAPA CRIOLLA**

(Solanum phureja, Juz et Buk)

MARTHA CECILIA ALAPE ROJAS

DIANA DEL PILAR RAMOS GARZON

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Agrónomo**

Director: I. A. M.Sc. Carlos Eduardo Núñez López

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA DE CULTIVOS
SANTAFÉ DE BOGOTA, D.C.**

2001

“Este Trabajo hace parte de las investigaciones realizadas por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Santafé de Bogotá D.C. Sin embargo, las ideas emitidas por los autores son de exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la Universidad.”

Artículo, Resolución No. 00047 de 1981

Nada vale cuanto tenemos, sabemos o hacemos.

Vale lo que somos.

A Andrés por su amor, paciencia y dedicación.

A mis padres por su colaboración y cariño brindados, a mis hermanas y sobrinos por ser parte fundamental de mi vida.

Por supuesto a todos mis familiares y amigos quienes estuvieron siempre en los momentos difíciles.

DIANA.

A mi madre por su amor y por ser una amiga incondicional.

A mi padre, hermanos y familiares por su constante apoyo y por estar siempre a mi lado.

A mis amigos por haber compartido momentos inolvidables de mi vida.

MARTHA.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Al profesor I.A. M. Sc. Carlos Eduardo Núñez López por su dirección y colaboración brindados durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

Al I.A. M. Sc. Jose Miguel Cotes por su colaboración en el área estadística

A la Bióloga Loyla Rodríguez, y al I.A M. Sc. Hector Villamil por su desinteresada colaboración en el área de fisiología de cultivos.

Al señor Alvaro Ramos por su colaboración en la recolección de datos y por su ayuda incondicional en el área de campo.

A la señora Elvia Pedroza por su colaboración en la cosecha y en la parte de laboratorio.

A Andrés por su apoyo y colaboración en la realización de todo el proyecto.

A Rosita Ferrucho, Camilo Guzmán, Adriana Ariza por su apoyo y colaboración en la realización del proyecto.

A la Facultad de Agronomía y a la Estación Experimental San Jorge del ICA por facilitar sus instalaciones y equipos para realizar este proyecto de investigación.

A Don Luis Ernesto por su inmensa colaboración en la fase de campo.

A todos nuestros familiares y amigos por su constante motivación en este trabajo.

**EVALUACION DEL EFECTO DE DIFERENTES PROFUNDIDADES Y DENSIDADES
DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL TUBÉRCULO EN PAPA CRIOLLA**

(Solanum phureja, Juz et Buk)

**EVALUATION TO THE EFFECT OF DIFFERENT SOWING DEPTHS AND
DENSITIES ON THE TUBER YIELD IN CRIOLLA POTATO**

(Solanum phureja, Juz et Buk)

Martha Cecilia Alape Rojas¹. Diana del Pilar Ramos Garzón¹. Carlos E. Ñustez².

RESUMEN

Este experimento se realizó en el Centro Experimental San Jorge del ICA, ubicado en el municipio de Soacha (Cundinamarca) a 3100 m.s.n.m; en él se evaluaron tres profundidades de siembra sin realizar aporque (10, 20, 30 cm), tres distancias entre sitios (20, 30, 40 cm) frente al sistema tradicional con aporque a una distancia de 30 cm como testigo. Para la siembra se utilizó semilla gruesa de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad “yema de huevo” clon 1. Las variables de rendimiento que se evaluaron fueron: Peso de tubérculos de las clases primera, segunda y tercera; además, el peso total de tubérculos y la densidad de tallos. Los resultados obtenidos muestran que al aumentar la profundidad de siembra, aumenta considerablemente el rendimiento de tubérculos de primera y el rendimiento total de tubérculos. Las profundidades y distancias evaluadas revelan que el testigo presenta el mayor rendimiento de tubérculos de segunda y, adicionalmente, al disminuir la distancia y la profundidad de siembra, se aumenta el rendimiento de tubérculos de tercera.

Palabras claves: distancias, fenología, materia seca, área foliar, tasa de asimilación neta, peso de tubérculos, densidad de tallos.

1. Estudiante Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia. E-mail:martalape@uole.com, dramosgz@hotmail.com.

2. Profesor Asociado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

SUMMARY

This experiment was developed at the ICA's San Jorge Experimental Center, located in the neighbouring town of Soacha (Cundinamarca) 3100 m.o.s.l., in which were evaluated three different sowing depths (10, 20 and 30 cm) without earths up, three different distances between sites (20, 30 and 40 cm) and the traditional systems with earths up a distance of 30 cm. In the sowing process were used thick seeds of criolla potato (*Solanum phureja*) clon 1. the yield variables evaluated were : weight of first, second and third class tubers, besides the total tuber weight and stem density. The obtained results show that deep sowing increases considerably the first class tuber yield and the total tuber yield. The depths and distances evaluated reveal that the witness presents the highest second class tuber yield. It was also observed that decreasing sowing depth third class tuber yield.

Key words: Distances, dry matter, leaf area, net assimilation rate, tuber weight, stem density.

INTRODUCCIÓN

La papa criolla (*Solanum phureja*, Juz et Buk) es originaria de los Andes en Suramérica, con un centro importante de diversidad al sur de Colombia en el departamento de Nariño, se encuentra desde Bolivia hasta Venezuela.

Se cultiva en diferentes regiones del país y su área de producción se estima en el 10% del área total de papa cultivada en Colombia (anualmente). La producción es ocasional; es decir, no existen zonas dedicadas con exclusividad a la producción de papa criolla, ni agricultores dedicados plenamente a esta actividad. (Luján, 1990).

La papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) es una especie cultivada diploide ($2n=2x=24$), (Hawkes, 1990) que se deriva de siglos de selección y mutaciones de *Solanum stenotomum*. Aunque aún se comercializan diversos morfotipos de esta especie, solo los que forman tubérculos amarillos y redondeados (“papa criolla” o más específicamente la variedad “yema de huevo”), son los que se comercializan ampliamente en el país por su alta calidad culinaria y valor nutritivo (Luján, 1990).

Existen por lo menos ocho genotipos de papa criolla y el agricultor en Colombia siembra semilla que es mezcla de varios clones. El promedio de rendimiento de este cultivar es de 12 t/ha, pero existe un rango importante de variación dependiendo del agricultor y la semilla, entre otros factores (Porras, 2000).

La especie cultivada de papa criolla *Solanum phureja*, variedad “yema de huevo” presenta las siguientes características:

Cuadro 1. Características morfológicas y agrícolas de la especie *Solanum phureja*.

CARACTERÍSTICAS MORFOLOGÍCAS	
Planta	Tallos delgados, de color verde claro, ramificados, porte bajo. Foliolos primarios pequeños, verde claros, rugosos. Flores abundantes, color lila y/o blanco. Fructificación mediana.
Tubérculos	Tamaño pequeño. Forma redonda. Ojos de profundidad media. Piel incolora. Pulpa amarilla. Tuberización temprana
CARACTERÍSTICAS AGRÍCOLAS	
Adaptación	2500 a 3000 m.s.n.m.
Período vegetativo	Cuatro meses
Rendimiento comercial	15 t/ha
Materia seca	22.3 % (peso específico 1.090)
Porcentaje de azúcares reductores	0.1
Período de reposo	Carece de período de reposo. Presenta brotes antes de la maduración.
Calidad culinaria	Excelente para consumo en fresco. Se deshace al cocinarla. Se fríe entera.
Enfermedades	Medianamente resistente a <i>Phytophthora infestans</i> .

Fuente Hernández y Rodríguez, 1999.

El crecimiento y el desarrollo son definidos como fenómenos interrelacionados mediante los procesos de fotosíntesis y respiración. El crecimiento se define como la sucesión de las diferentes conformaciones de una planta a través de su ciclo de vida, y resulta de la combinación de factores genéticos inherentes y factores ambientales. Estos factores influyen en la división, multiplicación y elongación celular, y dan como resultado un aumento cuantitativo e irreversible del tamaño y del peso seco de la planta. El desarrollo en cambio, es cualitativo e incluye la diferenciación anatómica y fisiológica especializada, en un tiempo determinado (Lujan, 1991).

El análisis de crecimiento permite conocer la fenología de una planta individual o de una comunidad de plantas que crecen bajo determinadas condiciones ambientales a través del tiempo (Clavijo, 1989). Existen dos maneras para realizar el análisis de crecimiento, la primera llamada análisis clásico del crecimiento el cual contempla medidas hechas a intervalos relativamente largos de tiempo y usando gran número de plantas. La segunda, denominada análisis funcional del crecimiento, comprende medidas hechas a intervalos de tiempo más frecuentes y usando un pequeño número de plantas (Gardner *et al*, 1985). Posteriormente los datos se emplean para describir en forma precisa y adecuada las relaciones entre el área foliar y el peso seco versus el tiempo, para ajustar a las funciones adecuadas.

La palabra funcional tiene un sentido eminentemente matemático sobre la relación entre las variables y no sobre el modo de acción o actividad fisiológica, donde se nota que la ventaja principal de este enfoque es que la información para todo el período de interés está contenida en dos ecuaciones, y además se pueden desarrollar otras funciones para calcular los valores

instantáneos de la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Asimilación Neta (TAN) y Razón de Area Foliar (RAF), en el mismo período (Beadle, 1993; Hunt, 1990).

Para analizar el crecimiento y desarrollo de una planta, se tienen en cuenta medidas directas como: peso seco, área foliar y tiempo. Además, se tienen medidas derivadas tales como: Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Tasa De Crecimiento del Cultivo (TCC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), y Relación de Peso Foliar (RPF). A partir de las medidas directas también se pueden estimar el Índice de Area Foliar (IAF), Relación de Area Foliar (RAF), y el Area Foliar Específica (AFE) (Hunt, *et al.* 1984).

Los modelos de regresión que mejor se ajustaron a las variables evaluadas fueron los que se transformaron con logaritmo natural. El modelo general es de la forma:

$$Y = e^{a + bx + cx^2 + dx^3 + E}$$

Donde a , b , c y d son los coeficientes de regresión, x es el tiempo en días corregido y E es el error experimental.

Con esta información se estimó la variable: Tasa de Asimilación Neta (TAN), la cual es utilizada para analizar el crecimiento del cultivo.

La ventaja de usar curvas ajustadas, es que las tendencias irregulares en el tiempo en las tasas relativas de crecimiento y asimilación neta calculadas por métodos clásicos, en el análisis funcional se suavizan o uniformizan. A primera vista, el único requerimiento para ajustar una

curva es que ella pueda seguir estrechamente los valores promedios de los muestreos para cada uno de los atributos medidos en el crecimiento; de esta forma, la curva es empleada como un simple mecanismo de uniformidad y su ecuación no necesita estar basada en algún modelo biológico. Sin embargo, la familia de las funciones y polinomios exponenciales ha sido seleccionada para propósitos de análisis de crecimiento, debido a sus sencillas propiedades matemáticas y estadísticas para ajustar los datos por los métodos exactos y relativamente directos de regresión lineal (Venus y Causton, 1979).

La TAN es una tasa de cambio compuesta y se calculó con la siguiente fórmula:

$$TAN = (1 / AF) * (d (MST) / dx)$$

$$TAN = \left[1 / \left(e^{a+bx+cx^2+dx^3} \right) \right] * \left(e^{a'+b'x+c'x^2+d'x^3} \right) * \left(b'+2c'x+3d'x^2 \right)$$

$$TAN = \left(e^{(a'-a)+(b'-b)x+(c'-c)x^2+(d'-d)x^3} \right) * (b+2cx+3dx^2)$$

$$TAN = \left(e^{A+Bx+Cx^2+Dx^3} \right) * (b+2cx+3dx^2)$$

Donde a' , b' , c' y d' son los coeficientes de regresión asociados a la variable materia seca total (MST) y a , b , c , y d son los coeficientes de regresión asociados a la variable Area Foliar (AF).

La Tasa de Asimilación Neta (TAN) es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, por ser una medida de la ganancia de materia seca por planta. También es denominada Tasa Foliar Unitaria la cual se define como el incremento de material vegetal por unidad de tejido asimilatorio, por unidad de tiempo (Collins, 1977). En el cálculo de la TAN por los métodos clásicos se debe tener el supuesto que el peso seco está linealmente relacionado con el área foliar (Warren, 1981).

Sobre el rendimiento de tubérculo se consideran dos factores: el número y el tamaño de los tubérculos. En la especie *S. tuberosum* L. los tubérculos producidos con altas densidades de siembra son de menor tamaño que los producidos con baja densidades de siembra. (Wiersema, 1987). Los tubérculos de papa criolla se clasifican en tres clases de acuerdo con su tamaño: Riche, pareja y grande; existiendo correlación directa y positiva entre el peso y el diámetro de tubérculo (Pino, 1995).

Rykbost and Maxwell (1992) evaluaron, la distancia (el espaciamiento) de los tubérculos- semilla (17, 22 y 30cm) en surcos a 81 cm, sobre el comportamiento de siete cultivares de papa (*Solanum tuberosum*) sembrados en la Estación Experimental de Klamath al sur de Oregon. La mayor parte de las variedades evaluadas experimentaron incrementos altamente significativos en el tamaño del tubérculo conforme disminuían las poblaciones. Las poblaciones óptimas de plantas son claramente diferentes para muchos de los cultivares dependiendo del uso de la cosecha. Para los cultivares evaluados se encontró que un espaciamiento más amplio resulta en tubérculos significativamente más grandes.

Arias *et. al* (1996) evaluaron, en la Sabana de Bogotá, el rendimiento de tubérculo de *Solanum phureja*, bajo diferentes densidades de siembra, utilizando cuatro distancias entre surcos (0.70; 0.80; 0.90 y 1.0 m) y tres distancias entre plantas (0.20; 0.25; y 0.30 m). En términos generales encontraron que las densidades altas favorecen el incremento de tubérculos pequeños; a su vez se aumenta el peso de tubérculos por unidad de área; también reportaron, que al disminuir la distancia entre plantas y entre surcos, la densidad de tallos se incrementa significativamente.

Bello y Pinzón (1997) evaluaron, en la Sabana de Bogotá, el efecto del tamaño del tubérculo semilla (<2, 2 - 4, >4 cm de diámetro) y distancias de siembra entre plantas (0.3 y 0.5 m) sobre el rendimiento de tubérculo. Los resultados corroboran lo expuesto por Arias *et al* (1996), y afirman que a mayor densidad en sitios de siembra (menor distancia entre plantas y entre surcos), mayor es el número de tallos que se obtienen por unidad de área.

La producción de tubérculos se puede dividir en varios componentes, entre los cuales se encuentran: densidad de tallos, y peso de los tubérculos, entre otros. La densidad de tallos se define como el número de tallos por unidad de área. La densidad recomendada de tallos depende del ambiente, propósito del cultivo y de la variedad de papa. Una manera de medir la densidad de tallos, es cuantificando el número de tallos sobre el suelo, por metro cuadrado. Estos son el conjunto de tallos principales y laterales que se ramifican debajo de la superficie (Wiersema, 1987).

Alternativamente, si la densidad es expresada en número de tallos por unidad de área, el segundo componente será el número de tubérculos por tallo. Este sistema es menos popular por las

dificultades prácticas para establecer las relaciones entre los tallos y los tubérculos de un cultivo senescente al momento de la cosecha (Hay *et al*, 1992).

La densidad de un cultivo es el número de plantas por unidad de área. En el caso de la papa, la planta proviene de un tubérculo con brotes, y está formada por un conjunto de tallos aéreos y subterráneos. Además, cada tallo aéreo crece y se comporta como una planta individual. En consecuencia, la densidad de un cultivo de papa presenta dos componentes: el número de plantas por unidad de área llamado densidad de plantas, y el número de tallos por planta; de esta forma, la verdadera densidad del cultivo será el resultado de la densidad de plantas multiplicado por el número de tallos por planta.

La densidad de tallos afecta el rendimiento, pues es determinado por el número y tamaño de los tubérculos semilla. El número de tubérculos que empiezan a crecer depende de la competencia que existe entre los tallos. Wiersema (1987), explica que cuando la densidad de tallos es alta, la competencia por factores de crecimiento como nutrientes, agua y luz es mayor; esto conduce a un menor número y tamaño de tubérculos por tallo, aunque el número de tubérculos por unidad de área aumenta.

El aporque y la deshierba tienen la finalidad de eliminar malezas y cubrir con tierra el mayor número de nudos para estimular la formación de raíces y estolones en cuyos tejidos subapicales se desarrollan los tubérculos. La práctica del aporque tiene como objeto: Favorecer la formación de tubérculos, evitar que los estolones queden en la superficie y por tanto se conviertan en tallos

aéreos, proteger al tubérculo de la luz, plagas y enfermedades y controlar el contenido de humedad, entre otros (Lujan, 1990).

González y Romero (2000), al comparar diferentes épocas de aporque encontraron que el peso de tubérculos grado uno (diámetro > 4 cm) aumenta significativamente al realizar aporque, además encontraron que al realizar esta práctica a los 30 días después de emergencia, aumenta el rendimiento de tubérculos grado cero y total, debido a que en esta época los tubérculos que se inducen alcanzan a completar su capacidad de almacenamiento. También encontraron que aporques tardíos (45 días), ayudan a incrementar la producción de tubérculos grado tres (diámetro < 2 cm). Según los resultados obtenidos se expone que el aporque no incide significativamente sobre el número de tallos en papa criolla.

En papa criolla, la longitud de estolones y la forma compacta de tuberización plantean la posibilidad de evaluar diferentes sistemas de siembra, en especial, si se quieren optimizar prácticas de manejo agronómico, que impliquen disminución de costos de producción, para lo cual es necesario evaluar dichos sistemas analizando el tamaño, y rendimiento de tubérculo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la profundidad y densidad de siembra con semilla gruesa y sin aporque, para evaluar la importancia de esta labor sobre la producción de tubérculos de papa criolla variedad “yema de huevo” (clon 1).

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó durante el primer semestre de 1999, en el Centro Experimental San Jorge del ICA, ubicado en el municipio de Soacha – Cundinamarca a 3100 m.s.n.m. Esta localidad registra una temperatura promedio al año de 11.6°C, precipitación promedio de 764.2 mm anuales, humedad relativa del 82%, y un brillo solar diario de 4.45 h/ día. El material se sembró en un suelo de textura franco arcillosa, clasificado como (humitropept, andico, medial isomésico), con pendiente moderada y buen drenaje. El análisis de suelo se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis del suelo donde se realizó el trabajo

D.A (g/cm ³)	% ARC	% LIMOS	TEXT	Ca	Mg	Na	K	Al	P	Mn	Zn	Fe	Cu	CO	N	CIC	pH (Agua)
				Meq/100g				ppm				%					
1.61	2.6	36.2	F-Arc	8	1.44	0.07	0.3	7.04	25	25.8	8.1	902	4.4	13.1	1.13	84.5	4.58

Se utilizó semilla gruesa (diámetro > 4 cm) de papa criolla variedad “yema de huevo” clon 1, y se fertilizó con una dosis de 500 kg/ha de fertilizante compuesto de grado de 12-34-12. Se realizaron dos aplicaciones de carbofuran, para el control de Gusano Blanco de la papa, así: una a la siembra y otra al momento de la desyerba. Además, se realizó un manejo preventivo de *Phytophthora infestans* con mancozeb. En el trazado se emplearon estacas de madera, decámetro y fibra de nylon, y el surcado se realizó con azadón. Al momento de la cosecha se emplearon dos

zarandas con malla de 2 y 4 cm de diámetro respectivamente, con el fin de clasificar los tubérculos.

Análisis de crecimiento y desarrollo

Fenología: En cada muestreo se determinaron los principales estados de desarrollo del cultivo. Se observaron emergencia, ramificación, floración, formación y llenado de tubérculos y formación de frutos, y se determinó la ocurrencia cuando por lo menos el 50% de las plantas se encontraban en cada estado. Estos se tomaron como base para la interpretación de resultados en este trabajo.

Crecimiento: Se realizaron muestreos quincenales tomando dos plantas por parcela, estas se llevaron al laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá en donde se separaron cada una de las partes de la planta (hojas, tallos, y tubérculos). Se cuantificó área foliar, y materia seca de cada una de estas partes, utilizando secado en estufa a una temperatura de 105°C durante 72 horas. Para el manejo y procesamiento de las muestras en laboratorio, se utilizó: el medidor de Area Foliar (LI-COR Model 3100 Square centimeters), balanza (Sartorius, 0.1 g de precisión), estufas de secado, materiales de empaque (bolsas de papel y plásticas), material fotográfico y de registro.

Se realizó el análisis funcional de crecimiento, mediante el ajuste de regresiones polinómicas a las variables evaluadas. Los datos fueron transformados con logaritmo natural para obtener un mejor ajuste a los modelos matemáticos. Se realizó una prueba de chi-cuadrado (X^2) entre el

valor pronosticado por la regresión de materia seca total, y la suma de los valores de la materia seca de los distintos órganos de la planta (observado) (Anexo 1). Los modelos de regresión encontrados sobre las variables evaluadas en cada tratamiento (área foliar, materia seca de hojas, de tallos, de tubérculos y materia seca total), se seleccionaron con base en los parámetros estadísticos: coeficiente de determinación (R^2) total y parcial y coeficiente de variación (C.V) (Anexo 2).

Para efectos de mejor estimación de los coeficientes de regresión, a la variable días después de siembra (X), se les restó el número de días en el cual no hubo emergencia, generando la variable días después de emergencia corregidos, con lo cual el intercepto de las regresiones se convierte en cero.

Variables de rendimiento

Al momento de la cosecha los tubérculos se clasificaron en tres clases, por medio de 2 zarandas de malla: gruesa (>4 cm), mediana (entre 2-4 cm) y pequeña (<2 cm). Los tubérculos fueron pesados y la producción por parcela se transformó a t/ ha. para su análisis estadístico.

Densidad de tallos

El procedimiento consistió en contar los tallos sobre la superficie del suelo una semana antes de la cosecha, tomando como referencia todas las plantas de los dos surcos centrales de cada parcela. Esta variable se expresa en número de tallos por metro cuadrado.

El experimento se realizó bajo un diseño de Bloques Completamente al Azar con un arreglo factorial 3 x 3 en los tratamientos, y 3 repeticiones, además se incluyó un testigo de manejo convencional. El primer factor fue la profundidad de siembra (10, 20 y 30 cm), y el segundo factor fue la distancia entre sitios de siembra (20, 30, 40 cm) (Cuadro 3). La unidad experimental estuvo conformada por 6 surcos, de 5 m de largo, sembrados a una distancia de 1 m para un total de 30 m² y con siembra de un tubérculo por sitio.

Cuadro 3. Tratamientos

TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD DE SIEMBRA (cm)	DISTANCIA ENTRE SITIOS (cm)
1	10	20
2	10	30
3	10	40
4	20	20
5	20	30
6	20	40
7	30	20
8	30	30
9	30	40
TESTIGO*	10	30

* Incluyó desyerba y aporque convencional.

RESULTADOS Y DISCUSION

FENOLOGIA

Los resultados de fenología se presentan según la escala propuesta por Von Hack (1993) para la especie *Solanum tuberosum* (tabla 1).

Tabla 1. Escala descriptiva de los estados fenológicos de desarrollo *Solanum phureja*, (Adaptada de la escala BBCH, para *Solanum tuberosum*) Von H. Hack. 1993.

DIAS DESPUÉS DE EMERGENCIA (DDE)	CODIGO	ESTADO	DESCRIPCION
0	0	Emergencia	Brotes/ hojas salen de la superficie del suelo. (100% de emergencia del cultivo)
10-20	1	Desarrollo de las hojas (brote o tallo principal)	Primeras hojas comienzan a alargarse, elongación del tallo principal.
20-30	2	Formación de los brotes laterales	Aparición de tallos secundarios y terciarios.
30-40	3	Crecimiento longitudinal (brotes principales)	Comienzo de la cobertura del cultivo.
35-45	5	Aparición del órgano floral	Aparición de las primeras inflorescencias
45	4-00	Desarrollo de las partes vegetativas cosechables	Inicio de la tuberización
90	4-08	Desarrollo de las partes vegetativas cosechables	Se alcanzó el máximo de la masa total del tubérculo; estos se desprenden fácilmente de los estolones; la piel no madura.
85-105	7	Formación del fruto	Algunas bayas visibles
120		Cosecha	El tubérculo alcanza su madurez fisiológica, y la cosecha se realiza aún con el follaje verde.

Según lo observado en papa criolla variedad "yema de huevo", el tubérculo alcanza el máximo de su masa total a los 105 después de siembra (90 dde); esto evidencia una tuberización temprana, una alta tasa de llenado del tubérculo y por consiguiente un menor período entre inicio de tuberización y fin del llenado, con lo cual se demuestra la precocidad de esta especie en

comparación con *Solanum tuberosum*. Es de anotar que los estados fenológicos se presentan en el mismo período de tiempo para todos los tratamientos y no hay diferencias con el testigo.

Área Foliar:

Las curvas de área foliar de todos los tratamientos siguen comportamientos sigmoides similares, exceptuando al testigo (T10) que manifiesta un comportamiento diferente debido a la labor de aporque (50 dde); esta labor consiste en cubrir con tierra el tercio inferior de la planta para estimular la formación de raíces y estolones, lo cual genera un descenso inicial de área foliar, aunque posteriormente esta continúa creciendo hasta el final del ciclo. Como se observa en las figuras 1A y 1B los valores finales de área foliar para todos los tratamientos son muy similares.

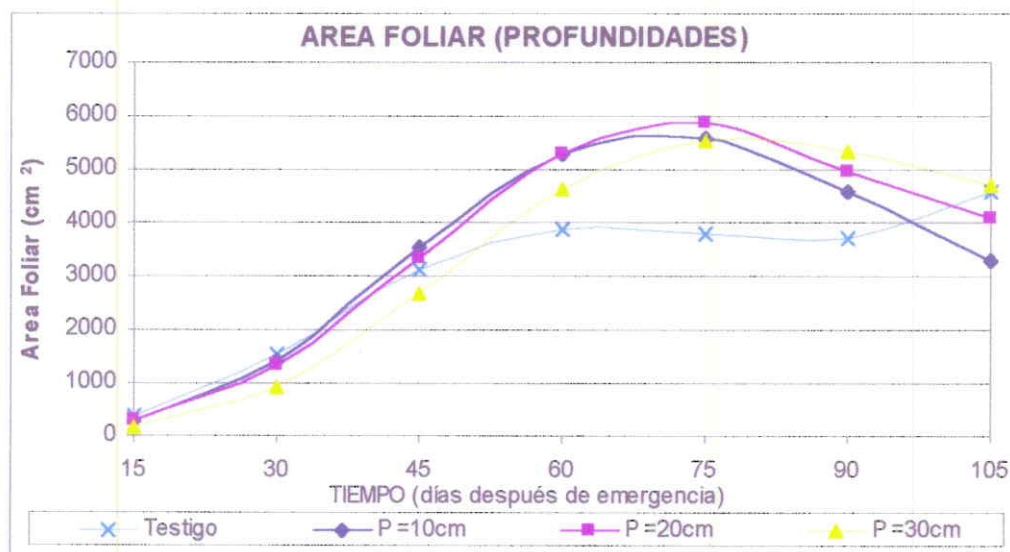


Figura 1 A. Curva de área foliar para las diferentes profundidades de siembra.

En cuanto a los factores evaluados, el efecto más evidente a lo largo del ciclo de cultivo lo presenta el factor distancia (Figura 1 B). Se observa que el mayor desarrollo en área foliar lo

presenta, la distancia de 40 cm entre plantas y el menor valor la distancia de 20 cm. Este comportamiento se presenta como respuesta a la competencia por luz, agua y nutrientes; a mayor distancia de siembra se presenta mayor área foliar y viceversa. En el factor profundidad no se observan diferencias marcadas en las curvas de crecimiento obtenidas para esta variable.

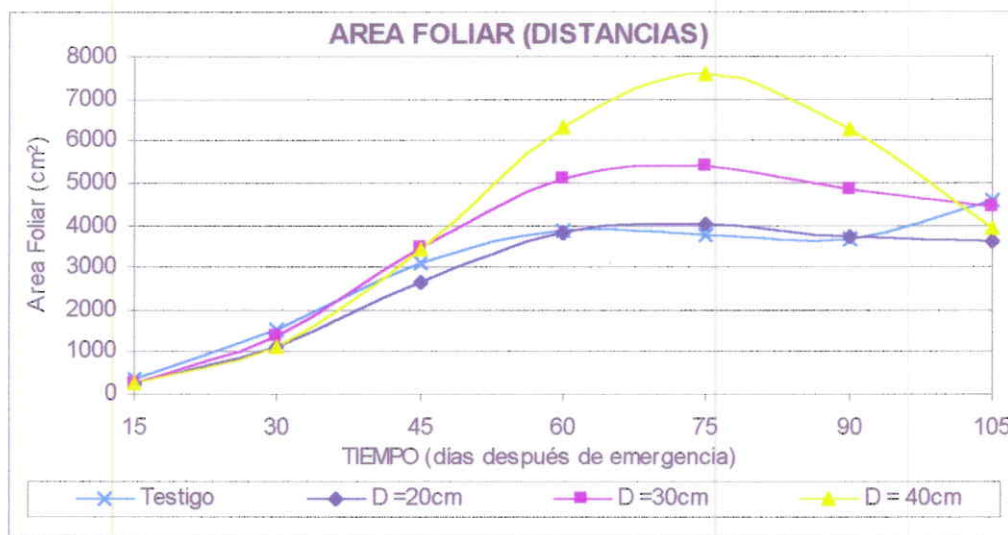


Figura 1 B. Curva de área foliar para las diferentes distancias de siembra.

Materia Seca de Hojas

Para esta variable la respuesta de los tratamientos fue similar a la descrita para el área foliar y muestra que el incremento de materia seca en hojas también se relaciona directamente con las distancias de siembra; las dos variables registran su punto máximo a los 75 dde. (Figura 2A y 2B.). Es de anotar que la curva de crecimiento del testigo presenta una tendencia antes del aporque (15 - 50 dde) y otra después de este (50 - 105 dde), lo cual se argumenta mediante el efecto fisiológico de esta labor.

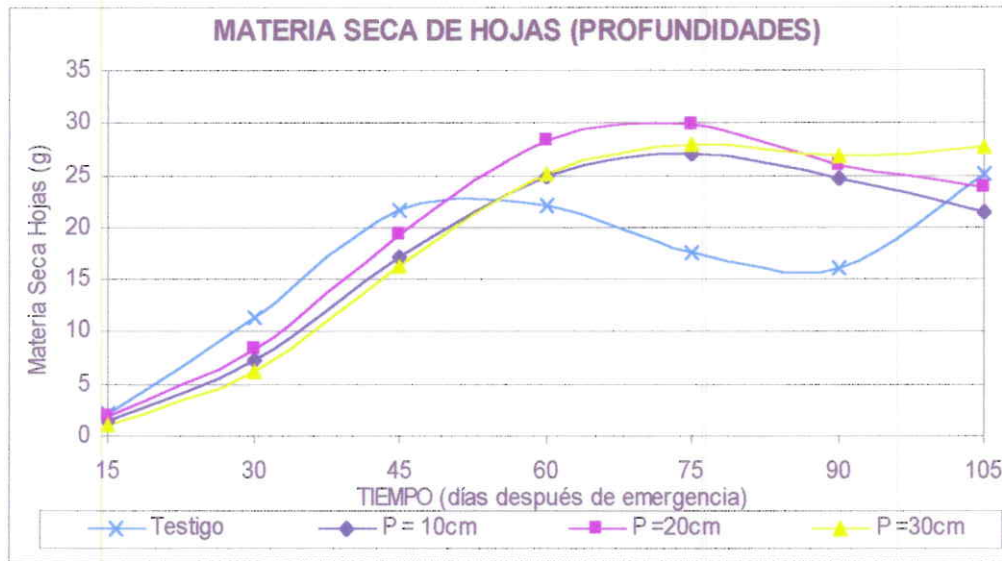


Figura 2 A. Curvas de materia seca de hojas para las diferentes profundidades de siembra

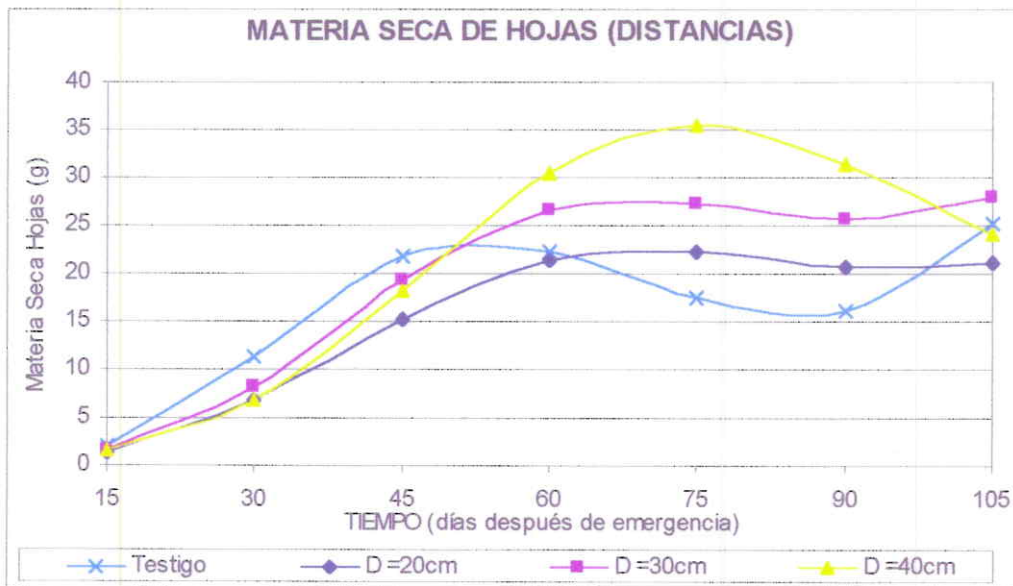


Figura 2 B. Curvas de materia seca de hojas para las diferentes distancias entre sitios de siembra.

Materia seca en tallos

La tendencia que sigue la materia seca de tallos es sigmoide para todas las curvas, exceptuando al testigo el cual presenta un crecimiento constante hasta los 105 dde. Se puede observar que la máxima acumulación en tallos se encuentra entre los 75 dde (para las distancias de 20 y 40 cm) y 105 dde (para el testigo y la distancia de 30 cm) lo cual coincide con la época de tuberización, momento de alta demanda de asimilados por parte de los órganos de reserva, de esta manera los tallos se convierten en órganos de competencia por carbohidratos para los tubérculos (Figura 3 A y 3B).

Es de importancia resaltar que el crecimiento de los tallos no se debe a una nueva emisión, se basa en la acumulación de materia seca y por lo tanto aumento en grosor. Para esta variable no se observan diferencias en las profundidades evaluadas.

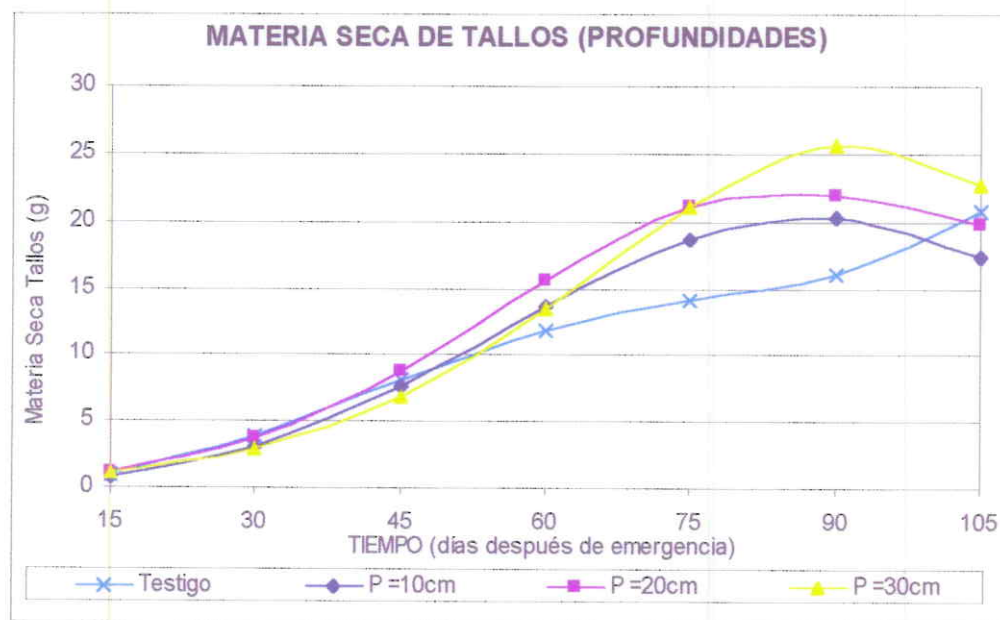


Figura 3 A. Curvas de materia seca de tallos para las diferentes profundidades de siembra.

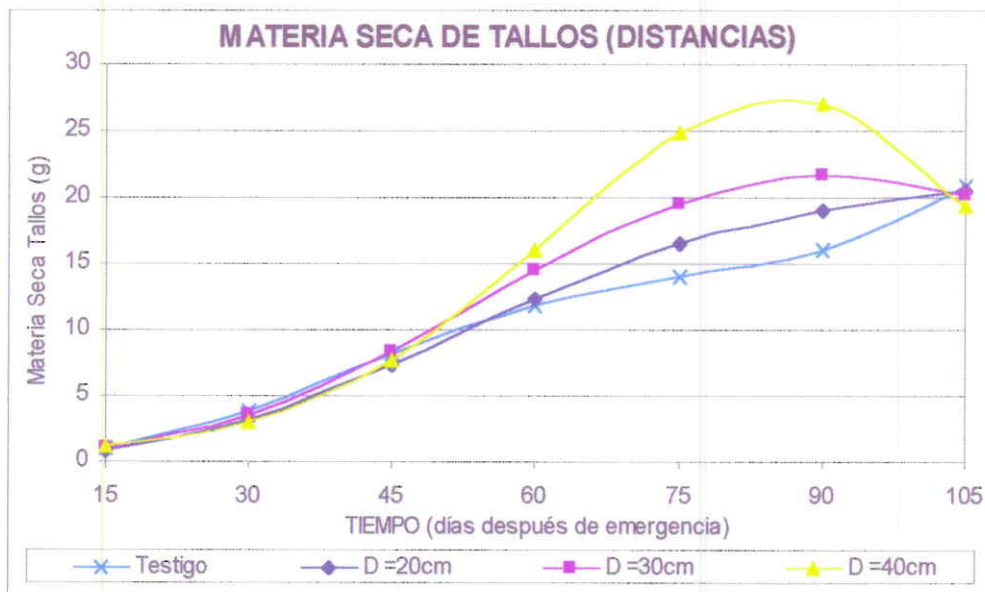


Figura 3 B. Curvas de materia seca de tallos para las diferentes distancias de siembra.

Materia seca de tubérculos.

La variable materia seca de tubérculos, no presenta diferencias en los valores obtenidos, para el caso de profundidades (Figura 4A). En el caso de las distancias entre sitios de siembra se observa que para la distancia de siembra de 40 cm se manifiestan diferencias respecto a las demás a partir de los 75 dde, momento en el cual las hojas tienen su máxima actividad, y los tubérculos se encuentran en fase de llenado. A los 90 dde, se da la máxima acumulación en tubérculos, en este punto el área foliar y la materia seca de hojas sufren un descenso, mientras la materia seca de tallos es máxima; lo cual indica que los fotoasimilados se acumulan en una alta proporción en tubérculos y tallos. La mayor acumulación en tubérculos la posee la distancia de 40 cm (Figura 4B).

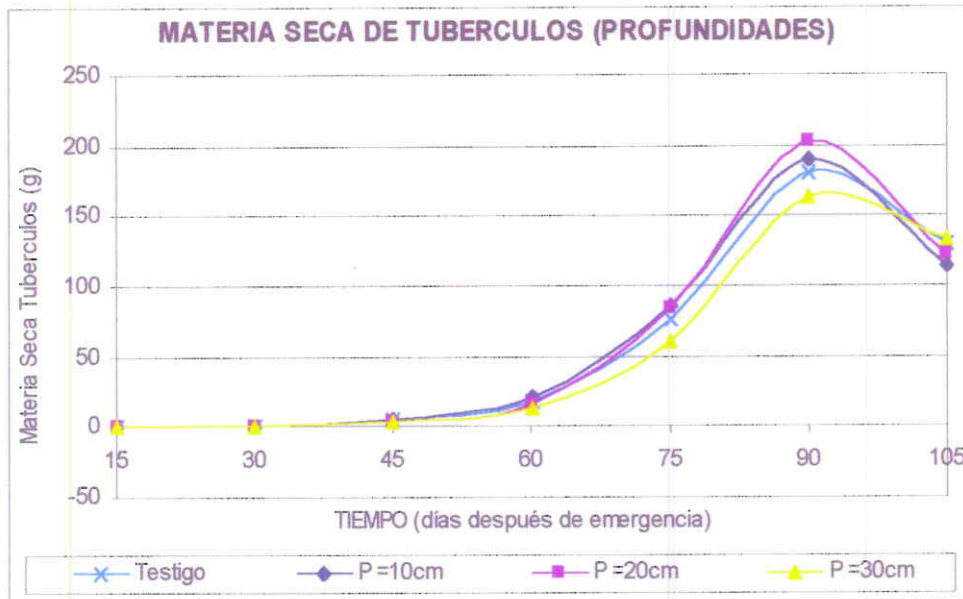


Figura 4 A. Curvas de materia seca de tubérculos para las diferentes profundidades de siembra.

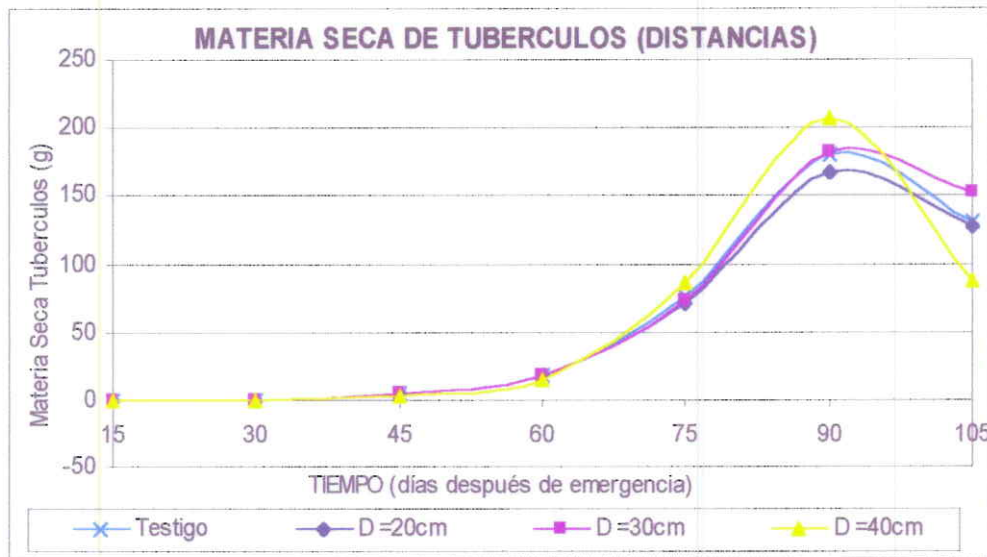


Figura 4B. Curvas de materia seca de tubérculos para las diferentes distancias entre sitios de siembra.

Materia Seca Total

Se puede observar que las curvas tienen un comportamiento típico sigmoide, tanto para el factor profundidad como para el factor distancia, excepto el testigo, el cual presenta un comportamiento casi lineal, con pendiente positiva y con un valor máximo a los 105 dde (Figuras 5 A y 5B).

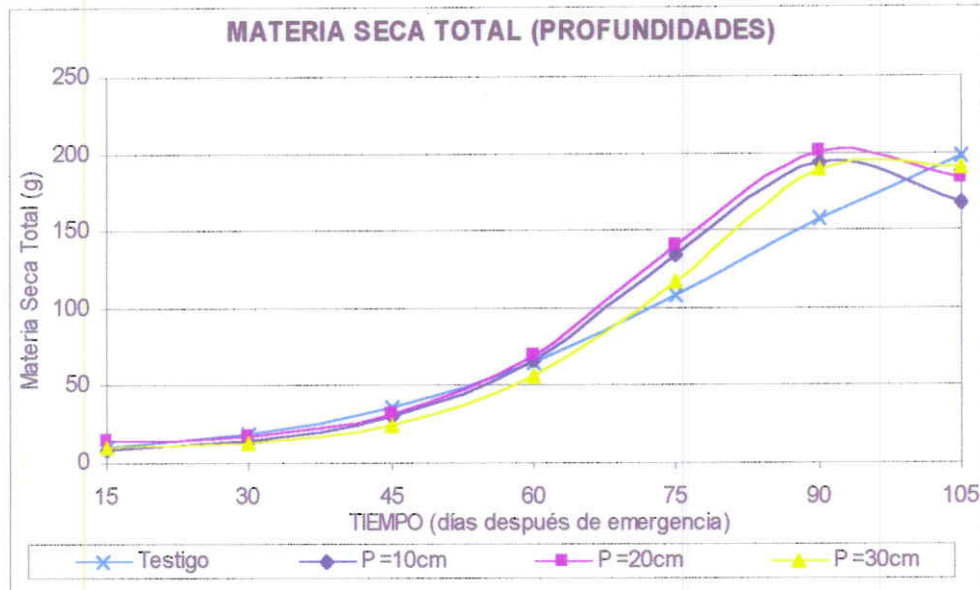


Figura 5 A. Curvas de materia seca total para las diferentes profundidades de siembra.

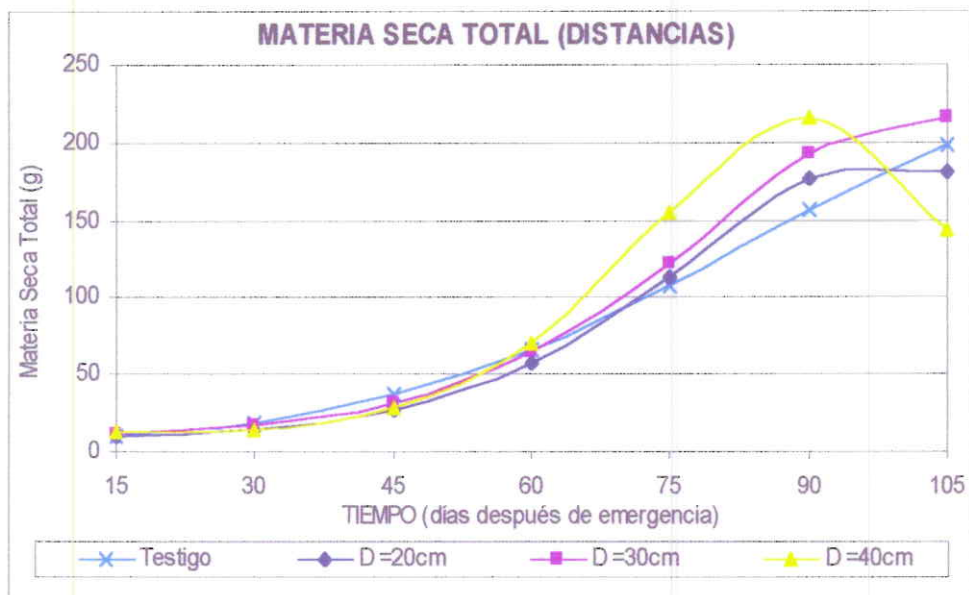


Figura 5 B. Curvas de materia seca total para las diferentes distancias.

A partir de los 15 dde, se observa un crecimiento exponencial en la tasa de almacenamiento, que se prolonga hasta los 105 dde, donde llega a su punto máximo, exceptuando la distancia de 40 cm, la cual presenta un descenso marcado a partir de los 90 dde, que hace evidente una baja acumulación tanto en tubérculos como en los otros órganos de la planta. Entre los 15 y 90 dde los fotoasimilados se distribuyen principalmente en hojas y tallos, ya que ocurre un rápido desarrollo vegetativo caracterizado por la emisión de nuevas ramas y hojas (Figuras 5 A y 5B). A partir de los 60 dde, la materia seca total está determinada por los tubérculos, debido a que se tiene una alta velocidad de almacenamiento de carbohidratos en estos (Figura 6).

Al analizar los factores profundidad y distancia las mayores diferencias se presentan en esta última, ya que al haber menos competencia entre plantas (40 cm) por luz, agua y nutrientes, hay una mayor acumulación de materia seca.

El área foliar y la materia seca de hojas tienen una relación proporcional con la materia seca total desde la emergencia hasta los 75 dde; de esto se deduce que una gran parte de los asimilados producidos, se destinan a la formación de superficie fotosintetizadora (Figuras 1 Y 2).

En general, la distribución de la materia seca en las plantas mostró una tendencia similar hasta el inicio de la tuberización las hojas acumularon en materia seca mayor proporción, después los tubérculos pasaron a acumular materia seca en mayor porcentaje. Se observó una alta translocación de asimilados desde las hojas hacia los tubérculos a partir del inicio de la tuberización. Al final del ciclo la materia seca de los tubérculos representaba alrededor del 80%

de la materia seca total. En las profundidades y distancias evaluadas no se presentaron diferencias en la distribución de la materia seca en los diferentes órganos (Figura 6).

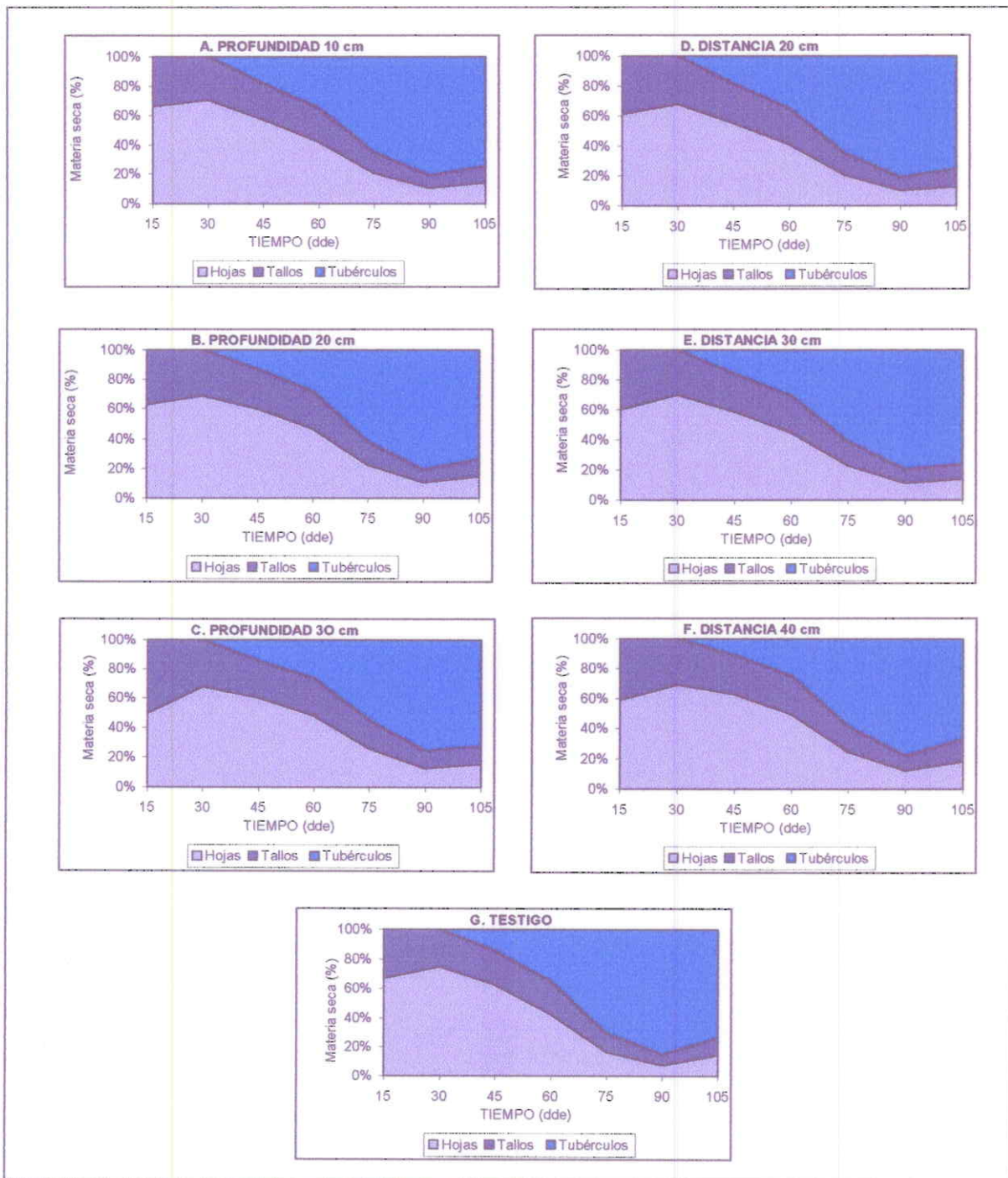


Figura 6. Distribución porcentual de materia seca según las diferentes profundidades y distancias evaluadas.

Tasa de Asimilación Neta (TAN)

En todos los tratamientos las plantas tienden a ser más productivas y eficientes fotosintéticamente en las etapas iniciales; luego a medida que crecen y se establecen como cultivo su eficiencia disminuye; por esta razón se presenta una menor actividad fotosintética y un mayor nivel respiratorio. La época de mayor actividad fotosintética esta entre los 70 y 80 dde, es decir, el período de formación y llenado de tubérculos, siendo a su vez la etapa crítica para la sanidad del cultivo.

En cuanto al factor profundidad no se observan diferencias en la TAN en comparación con las distancias entre sitios evaluadas, en donde la distancia con mayor eficiencia a lo largo del ciclo es la de 20cm, lo cual indica que las plantas ubicadas a esta distancia, desarrollan un área foliar que les permite interceptar y absorber una mayor proporción de radiación fotosintéticamente activa, y tener una menor pérdida por respiración, lo que demuestra su alta capacidad fotosintetizadora para almacenar más asimilados por unidad de área foliar (Figuras 7 A y 7B).

Es de anotar que aunque los valores promedio más altos de la TAN, los presenta la menor distancia (20cm), la distancia de 30cm, mantiene por más tiempo, los valores superiores de este índice, es decir, su producción potencial queda definida hasta los 100 dde. (Figura 7 B).

Se puede concluir que a menor distancia de siembra la eficiencia fotosintética de la planta es mayor; aunque el área foliar es menor, esta intercepta al máximo la radiación solar y utiliza una alta proporción de carbohidratos producidos durante la fotosíntesis para almacenamiento.

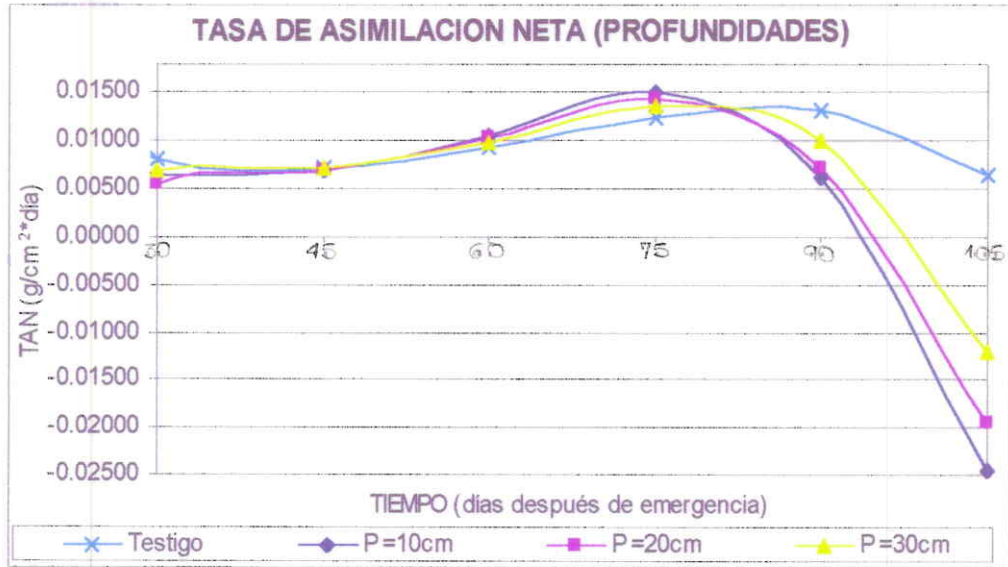


Figura 7 A. Curvas de Tasa de asimilación neta según profundidades de siembra.

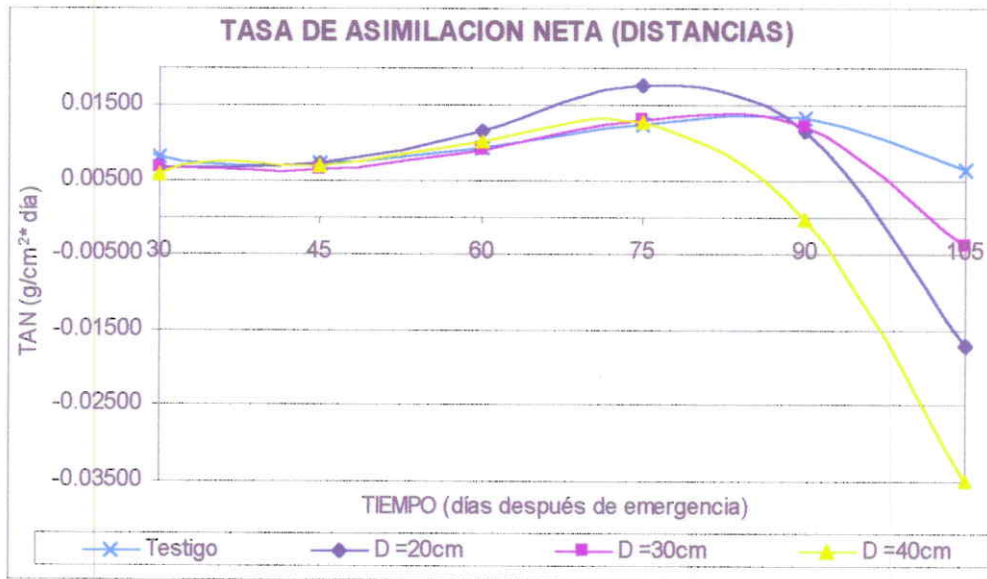


Figura 7 B. Tasa de asimilación neta según distancias entre sitios de siembra.

RENDIMIENTO

En el análisis de varianza, el coeficiente de variación más alto se presenta en la variable peso de tubérculos de tercera, lo que indica una mayor variabilidad de los datos, mientras en las variables restantes se tienen coeficientes de variación apropiados para condiciones experimentales (cuadro 4).

El coeficiente de determinación para la variable peso de tubérculos de segunda es el más bajo, lo que indica que al menos el 66% de las variaciones de esta pueden ser atribuidas a la influencia de las variables independientes (profundidad de siembra y distancia entre plantas). Se obtienen valores intermedios del coeficiente de determinación para las variables peso de tubérculos de primera, total y densidad de tallos.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables peso de tubérculos y densidad de tallos.

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS				
		PT1	PT2	PT3	PTT	DTLL
Bloque	2	546.033	32.933	0.837	623.650	1098.100
Tratamiento	9	237.814 **	161.707 **	1.256 **	258.369 **	2219.911 **
Testigo vs resto	1	322.314 **	190.848 *	1.121	9.482	1.792
P	1	1168.055 **	288.000 *	5.893 **	218.405	312.500
P ²	1	0.018	118.518	1.215 *	93.089	492.018
D	1	2.347	624.222 **	2.205 *	621.868 **	18176.888 **
D ²	1	0.562	35.851	0.041	29.629	1.185
PXD	1	513.520 **	75.000	0.653	931.040 **	10.083
PX D ²	1	70.840	121.000	0.004	374.422 *	600.250
P ² XD	1	62.673	1.777	0.090	47.380	367.361
P ² XD ²	1	0.002	0.148	0.083	0.002	17.120
Error	18	26.959	42.340	0.273	50.729	403.544
TOTAL	29					
C.V.(%)		21.785	16.930	36.840	11.183	14.389
R ²		0.869	0.666	0.724	0.796	0.753

F.V: Fuente de variación; G.L: Grados de libertad; PT1: Peso de tubérculos de primera; PT2: Peso de tubérculos de segunda; PT3: Peso de tubérculos de tercera; PTT: Peso total de tubérculos; DTLL: Densidad de tallos; P: Profundidad; D: Distancia.

* Significativo al 5%.

** Significativo al 1%.

Rendimiento de tubérculos de primera.

El análisis de varianza (Cuadro 4) mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos; esto explicado por la significancia del contraste testigo versus resto, del componente lineal del factor profundidad, y de la interacción lineal de los factores profundidad y distancia (PxD). Para el contraste testigo versus resto en la categoría de tubérculos de primera, el rendimiento promedio de los tratamientos fue superior al del testigo. No se presentaron diferencias significativas para el factor distancia de siembra entre sitios en sus componentes lineal y cuadrático. Este resultado permite deducir que el rendimiento de tubérculos de primera no se afecta por el factor distancia y, por lo tanto, se recomienda utilizar la mayor distancia de siembra evaluada (40 cm), lo cual implica una menor cantidad de semilla a sembrar, favoreciendo los costos de producción.

El efecto lineal del factor profundidad presenta diferencias altamente significativas, mostrando que al incrementar la profundidad de siembra, el rendimiento de tubérculos de esta categoría se incrementa de manera considerable (Figura 8). La explicación más probable a este resultado es el hecho que a mayor profundidad, en el perfil del suelo la disponibilidad del agua se mantiene relativamente más constante, en contraste con los primeros centímetros del perfil, lo cual favorece la toma de nutrientes por parte del sistema de raíces que se encuentra distribuido a la profundidad de siembra del tubérculo.

Esta explicación se ajusta con lo planteado por Martínez (1989), quien argumenta que la humedad constante a lo largo del ciclo, favorece el engrosamiento de tubérculos. Así mismo, hasta los 75 dde, se observa que a mayores profundidades el crecimiento del área foliar es

menor, a partir de este punto se presenta un ligero aumento hasta el final del ciclo; la TAN presenta un comportamiento inverso, es decir, en el período inicial hay un acumulación de fotoasimilados, los cuales estarán disponibles en el momento de máxima demanda por parte de los tubérculos.

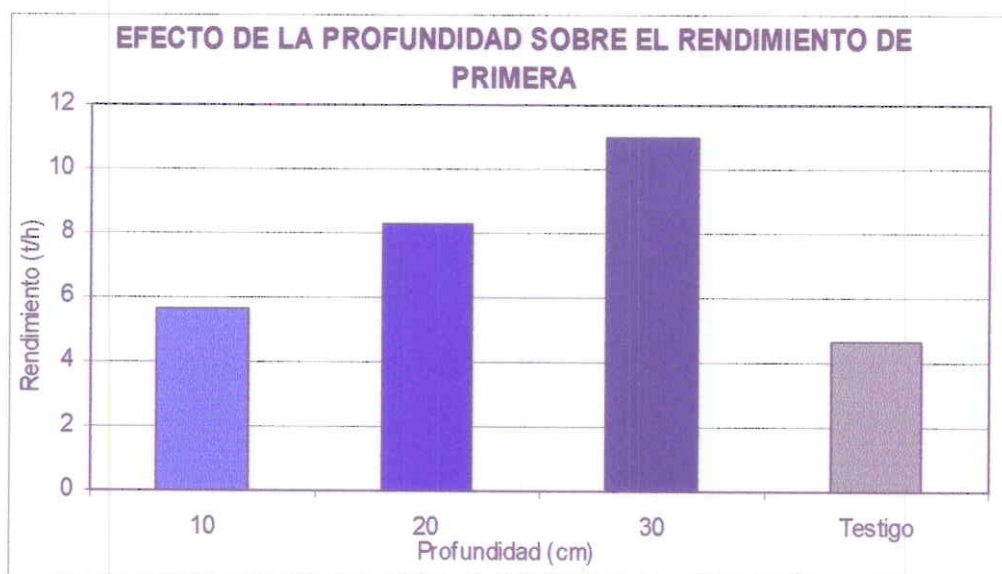


Figura 8. Efecto de la profundidad sobre el rendimiento de tubérculos de primera.

La interacción profundidad por distancia (PxD) es altamente significativa para esta variable; esto significa que el rendimiento de tubérculos varía dependiendo de los niveles de cada factor. Para la profundidad de siembra de 10 cm, el rendimiento de tubérculos de primera aumenta al incrementar la distancia entre plantas, esto se explica claramente por el componente densidad de tallos, es decir a menor densidad los tubérculos tienden a ser menor en número, pero mayores en peso (Wiersema, 1987), en el caso de la profundidad de 20 cm, se observa que la distancia de siembra no afecta el rendimiento en esta variable, por lo tanto, su efecto es neutro, mientras que a

la profundidad de 30 cm el resultado es completamente opuesto al de la primer distancia, lo cual es particularmente interesante, ya que se observa que el concepto de densidad de tallos no sustenta la respuesta observada, muy seguramente porque a la profundidad estudiada la competencia por agua y nutrientes se minimiza y sencillamente el mayor número de tubérculos por unidad generan mayor número de tubérculos de categoría primera (Figura 9).

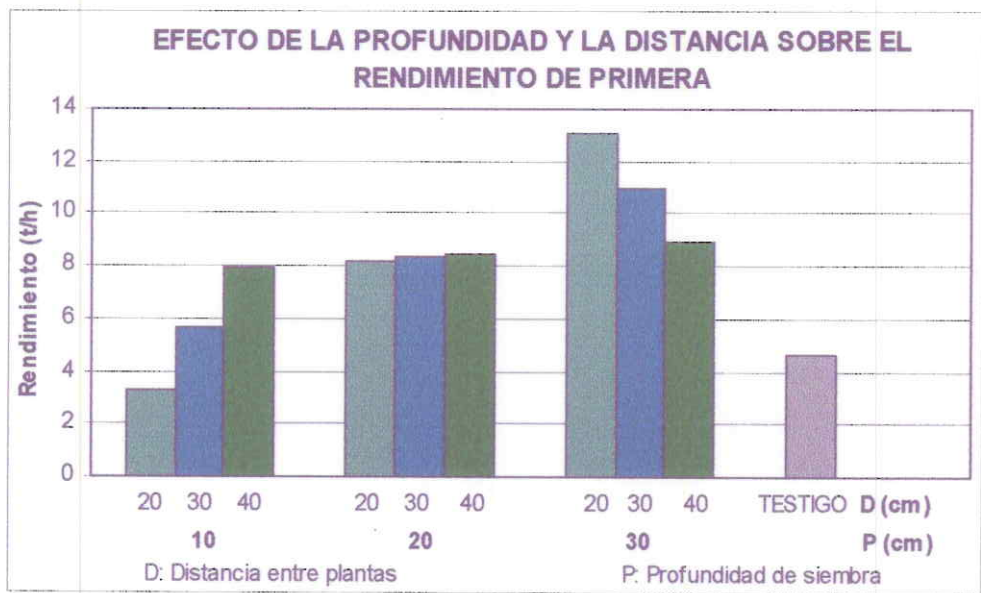


Figura 9. Efecto de la profundidad y la distancia sobre el rendimiento de tubérculos de primera.

La profundidad de 30 cm, registra los mayores rendimientos en los tratamientos evaluados para esta variable. Se observa que a menor distancia el rendimiento aumenta, debido al mayor número de plantas por unidad de área; a diferencia de las otras distancias, en la distancia de 20 cm se presentan menores superficies foliares, las cuales reflejan una mayor eficiencia en la acumulación de biomasa, esto demostrado por sus altos valores en la TAN a lo largo del ciclo.

El tratamiento que presenta mayor rendimiento para esta variable es el de 30 cm de profundidad de siembra y de 20 cm de distancia entre plantas. Con el resultado obtenido, es posible suponer que la combinación entre esta profundidad y esta distancia, permite obtener un mayor rendimiento para la variable peso de tubérculos de primera. Por lo tanto si el objetivo de la producción es la obtención de tubérculos para consumo en fresco, se recomienda la implementación de este tratamiento.

Rendimiento de tubérculos de segunda

Esta variable presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, explicadas por la significancia del contraste testigo versus resto, del componente lineal del factor profundidad (P) y del efecto lineal del factor distancia (D). El rendimiento promedio del testigo fue superior al rendimiento promedio de los tratamientos. No se presentaron diferencias significativas para el componente cuadrático de los factores profundidad y distancia, ni para ninguna de las interacciones. , se puede afirmar que los factores profundidad y distancia actúan independientes en cuanto a la producción de tubérculos de esta categoría. (Cuadro 4).

El factor distancia mostró diferencias altamente significativas en su componente lineal, en favor de la menor distancia evaluada; esto significa que las altas densidades de siembra favorecen el incremento del rendimiento de tubérculos de segunda, como respuesta a una alta densidad de tallos generada por una menor distancia (Figura 10). Lo anterior coincide con lo reportado por Wiersema (1987) para *S. tuberosum*, quien afirma que, los tubérculos producidos con alta densidad de tallos serán más pequeños que los producidos con baja densidad de tallos.

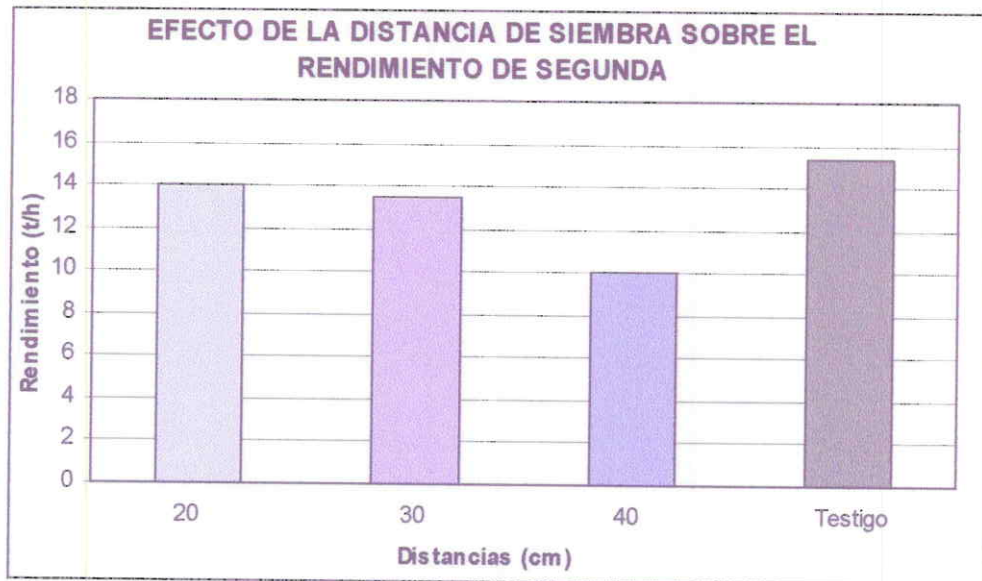


Figura 10. Efecto de la distancia de siembra sobre el rendimiento de segunda

El efecto lineal del factor profundidad presentó diferencias significativas en rendimiento para esta categoría; observándose el menor rendimiento a profundidad de 30 cm (Figura 11). Este resultado contrasta con lo encontrado en la variable PT1, en donde hubo un incremento en el rendimiento a mayor profundidad corroborando la hipótesis del gradiente de humedad en el perfil de suelo (mayor humedad a mayor profundidad); Cepeda (1980) encontró que la humedad del suelo guarda un efecto marcado en la producción ya que las plantas en las cuales la humedad permanecía entre el punto de marchitez y la capacidad de campo obtuvieron mayores rendimientos.



Figura 11. Efecto de la profundidad de siembra sobre el rendimiento de segunda.

Vale la pena destacar que los rendimientos más altos en categoría segunda, la cual es comercialmente más aceptada los reporta el testigo, el cual presenta una labor adicional que es el aporque, es posible suponer que esta práctica causa un estímulo hormonal en las yemas basales haciendo que haya una mejor distribución de fotoasimilados entre los tubérculos en formación. En este tratamiento (T10) la TAN mantuvo valores superiores durante mas tiempo y no llego a cero, esto implica una mayor acumulación de materia seca respecto a los demás tratamientos y que tiene la capacidad continuar acumulando materia seca mas allá de los 105 dde.

Rendimiento de tubérculos de tercera

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, que se explican por la alta significancia del componente lineal y por la significancia del componente cuadrático del factor profundidad, además de la significancia del efecto lineal del factor distancia.

La significancia del factor profundidad en su componente lineal, evidencia que a menor profundidad de siembra, el rendimiento de tubérculo de tercera se incrementa (Figura 12), siendo mucho mayor la diferencia en rendimiento al pasar de 10 a 20 cm de profundidad, que cuando pasa de 20 a 30 cm lo cual explica la significancia cuadrática de este factor en el análisis de varianza (Figura 13). Este resultado reafirma lo discutido anteriormente con respecto a la disponibilidad de humedad en el perfil del suelo, de tal forma que cuando la profundidad de siembra es mayor los tubérculos formados alcanzan un mayor llenado y cuando están superficiales ocurre lo contrario.

La significancia del componente lineal del factor distancia entre plantas muestra que a menor valor el rendimiento de tubérculos de tercera aumenta, en la figura 14 se aprecia esta situación, así la distancia de 20 cm presenta el mayor rendimiento de tubérculos para esta categoría.

Con base en esto se puede afirmar que el uso de menores profundidades y distancias incrementa el rendimiento de tubérculos de tercera; debido a la alta competencia entre plantas, además del bajo porcentaje de humedad que se mantiene en el perfil del suelo que desfavorecen el llenado de

los tubérculos. Esto corrobora lo encontrado por (Wiersema,1987), y por (Arias *et al*, 1996), quienes afirman que altas densidades de siembra favorecen el aumento de tubérculos pequeños, lo cual es positivo o negativo dependiendo del destino final de la producción.

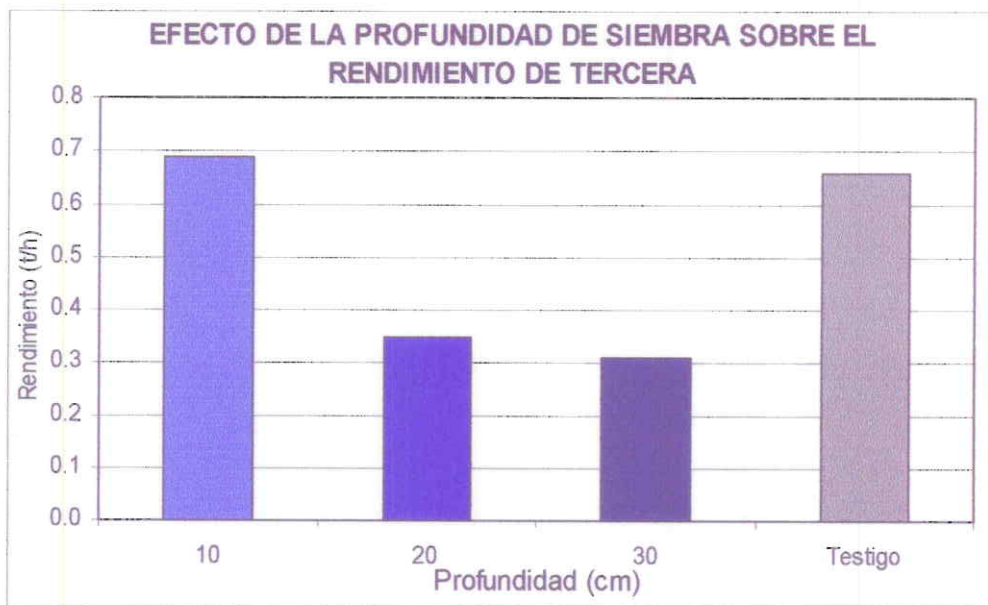


Figura 12. Efecto de la profundidad de siembra sobre el rendimiento de tubérculos de tercera.

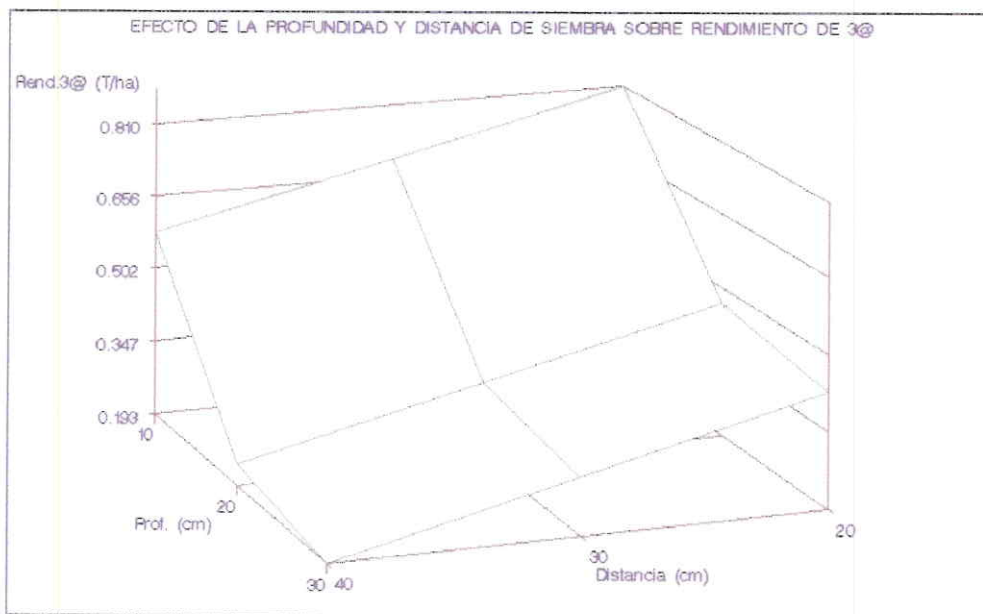


Figura 13. Efecto de la profundidad cuadrática sobre el rendimiento de tubérculos tercera

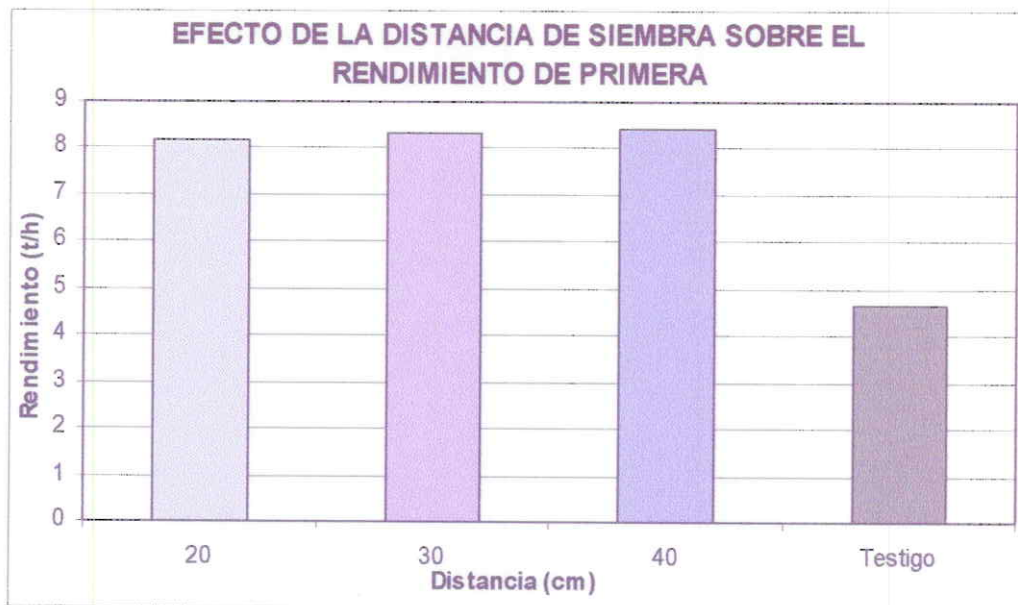


Figura 14. Efecto de la distancia de siembra sobre el rendimiento de tercera

El mayor rendimiento de tubérculos de tercera se obtiene a una profundidad de 10 cm y a una distancia entre plantas de 20 cm; se recomienda el uso de este tratamiento para fines de industrialización (precocida congelada y encurtidos). Sin embargo, la adaptación de este tratamiento no se recomienda para mercado fresco, pues sus rendimientos totales son inferiores a los demás tratamientos incluido el testigo.

Rendimiento total

No se encontraron diferencias significativas en el contraste testigo versus resto. No se presentaron diferencias significativas para los componentes lineal y cuadrático del factor profundidad, por lo tanto el uso de profundidades menores a 30 cm no afectan la respuesta del rendimiento de tubérculos totales.

No se registraron diferencias significativas para el componente cuadrático del factor distancia, tampoco para las interacciones: profundidad cuadrática por distancia ($P^2 \times D$), profundidad cuadrática por distancia cuadrática ($P^2 \times D^2$) (Cuadro 4).

El rendimiento total mostró diferencias altamente significativas para el factor distancia (Figura 15) y para la interacción de los factores profundidad lineal y distancia lineal (Figura 16), además se observa significancia para la interacción $P \times D^2$ (Figura 17) en donde los tratamientos con mayor número de plantas por área presentan mayores rendimientos, sin embargo, estos presentan menores áreas foliares. Esto significa que la utilización de altas densidades de siembra incrementa el rendimiento total, mostrando una alta eficiencia en la producción y translocación de asimilados hacia los tubérculos

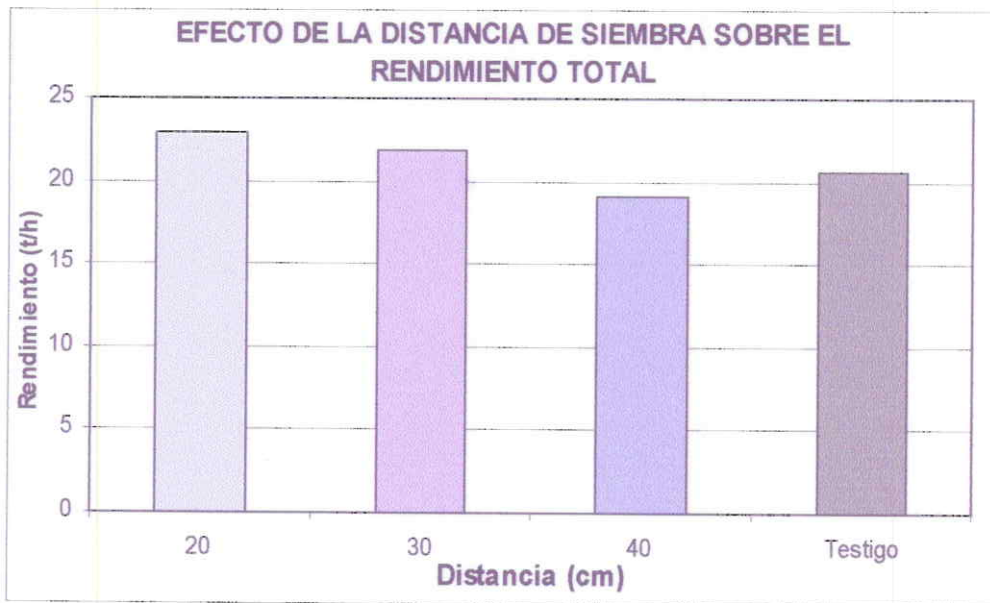


Figura 15. Efecto de la distancia de siembra sobre el rendimiento total

Lo anterior concuerda con lo encontrado por Wiersema (1987) y por Arias *et al* (1996), quienes afirman que incrementos en la densidad de siembra, aumentan relativamente el peso de tubérculos por unidad de área; esto a su vez corresponde a las observaciones hechas en el presente trabajo.

El aumento en la distancia presenta una distribución cuadrática para las profundidades de 10 y 30 cm, que se ve afectada por la respuesta lineal de la profundidad de siembra (Figuras 16 y 17). En la profundidad de 10 cm, se obtiene el mayor rendimiento a distancia de 30 cm, mientras para la profundidad de 30 cm se tienen los mayores rendimientos a distancia de 20 cm.

El tratamiento con mayor rendimiento total fue el de profundidad de 30 cm con 20 cm de espaciamiento entre plantas; este tratamiento presentó la menor área foliar y la más alta TAN a lo largo del ciclo de cultivo, indicando que aunque se obtuvo baja área foliar las plantas aprovechan al máximo la irradiación utilizándola para síntesis de carbohidratos.

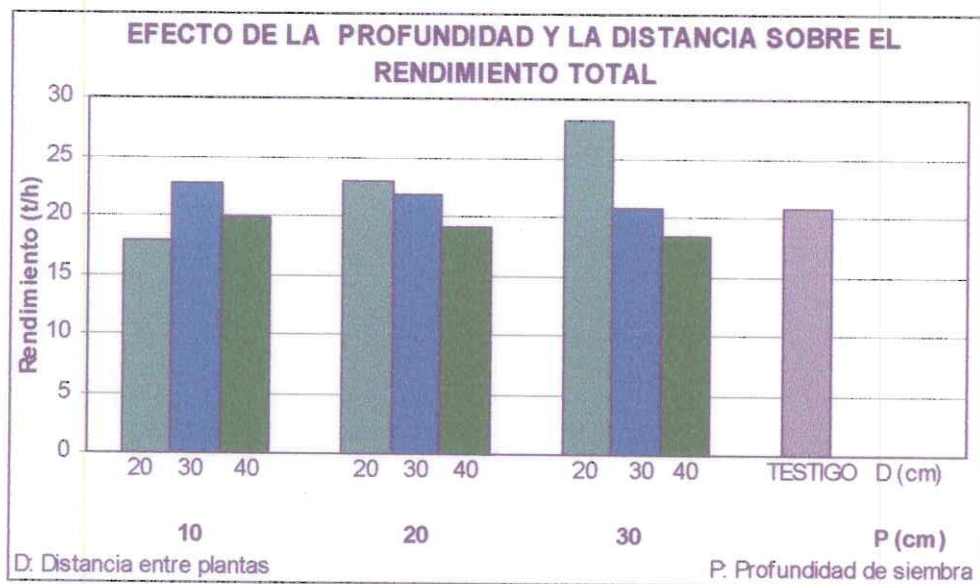


Figura 16. Efecto de la profundidad y la distancia de siembra sobre el rendimiento total

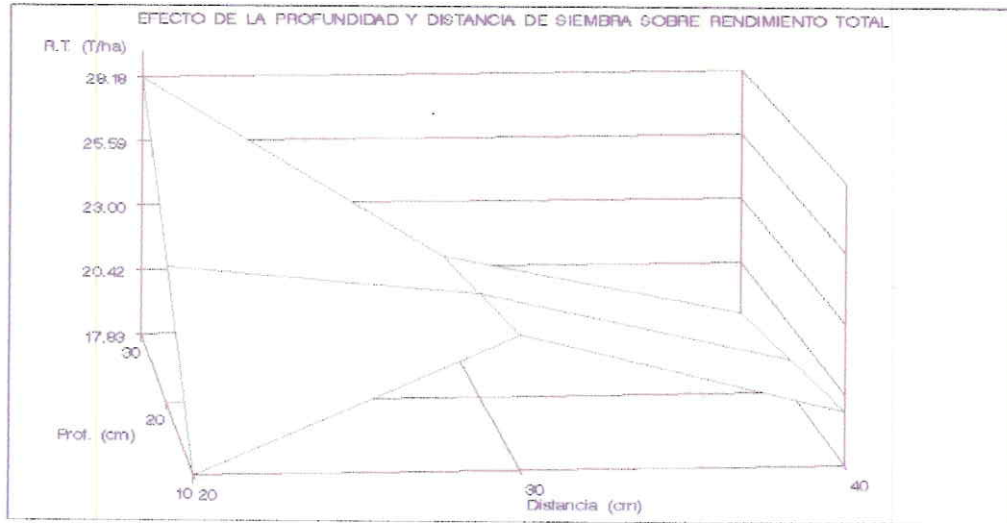


Figura 17. Efecto de la profundidad y la distancia cuadrática sobre el rendimiento total

En la figura 18 se muestra la distribución porcentual de las diferentes clases de tubérculos obtenidas para cada tratamiento; en donde se observa que el tratamiento con mayor rendimiento total es el 7 (P =30 cm, D =20cm) con 27.46 t/ha, además se observa que el mayor porcentaje de tubérculos se encuentra en las categorías primera (47%) y segunda (51.21%). El tratamiento con menor rendimiento es el 9 (P =30 cm, D = 40 cm) con 17.01 t/ha, conformado por un 56.22% en rendimiento de primera, un 46.14% en segunda y un 1.11% en rendimiento de tubérculos de tercera. Estos resultados muestran que al incrementar la profundidad de siembra el porcentaje de las clases de tubérculos primera y segunda son similares, aunque predomina el primer rendimiento (Figura 18).

El testigo comercial presenta un 74.17% de tubérculos de segunda y un 22,59% de primera, su producción promedio final fue de 20.6 t /ha; lo cual hace evidente que la práctica del aporque favorece una distribución uniforme de los fotoasimilados en los tubérculos, pues muestra mayor peso de tubérculos de segunda (Figura 18).

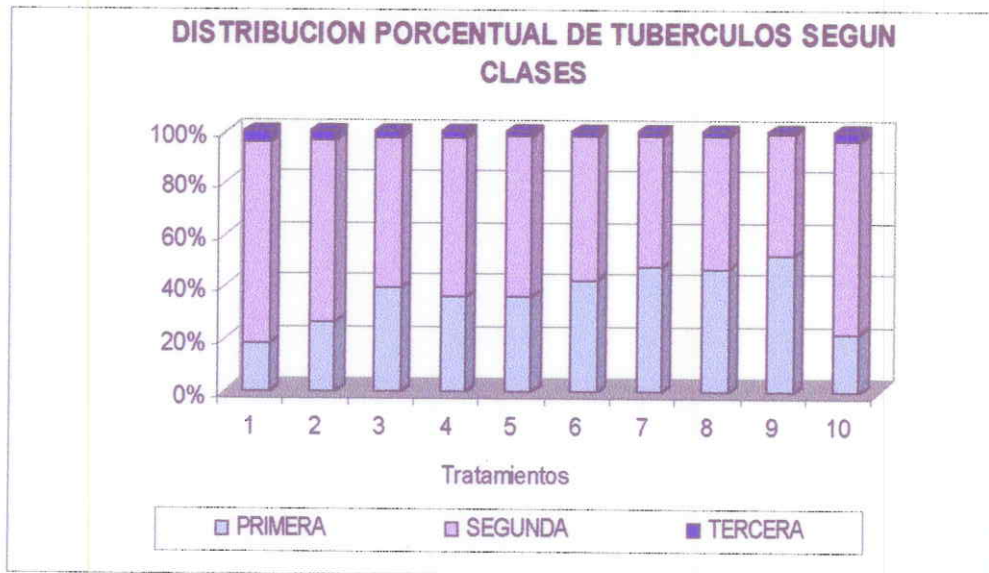


Figura 18. distribución porcentual de los tubérculos según clases para cada uno de los tratamientos evaluados.

DENSIDAD DE TALLOS

En esta variable no se reportaron diferencias significativas para el contraste testigo versus resto, tampoco para el factor profundidad en sus componentes lineal y cuadrático, ni para el efecto cuadrático del factor distancia.

No se registraron diferencias significativas para las interacciones: profundidad lineal por distancia lineal ($P \times D$), profundidad lineal por distancia cuadrática ($P \times D^2$), profundidad cuadrática por distancia lineal ($P^2 \times D$), profundidad cuadrática por distancia cuadrática ($P^2 \times D^2$).

Se presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, esto explicado por la alta significancia del factor distancia, que demuestra que a bajas distancias de siembra la densidad de

tallos se incrementa (Figura 19). La respuesta de esta variable corresponde a lo encontrado por Arias *et al* (1996) y por Pinzón y Bello (1997), quienes afirman que a mayor densidad de siembra, mayor es el número de tallos que se encuentran por unidad de área

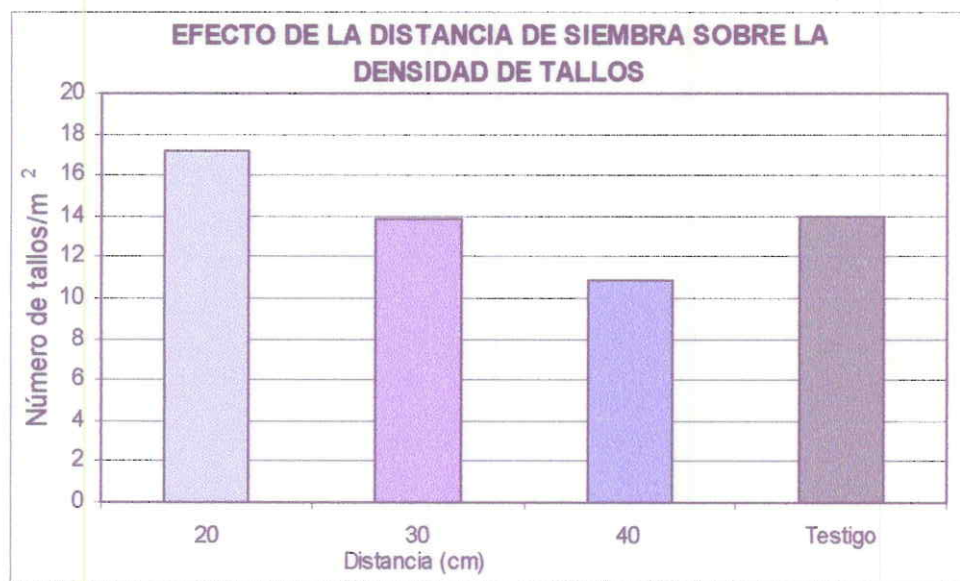


Figura 19. Efecto de la distancia de siembra sobre la densidad de tallos

La respuesta de las variables peso total de tubérculos y densidad de tallos es la esperada, ya que la utilización de altas densidades, incrementa significativamente la densidad de tallos y el rendimiento total; esto confirma la información reportada por (Wiersema,1987) y (Arias et al, 1996).

BIBLIOGRAFIA

- Arias, V.; Bustos, P. y Núñez L., C. E. Evaluación de rendimiento en papa criolla (*Solanum phureja* Juz et. Buk) variedad "yema de huevo", bajo diferentes densidades de siembra en la Sabana de Bogotá. En: Agronomía Colombiana. Santafé de Bogotá: Vol XIII N° 2: p 152-161. 1996.
- Beadle, C. Growth analysis. In: Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual. Ed Chapman and Hall. p 36-46, 1993.
- Bello, M; L. E.; Pinzon B., N. F. Evaluación del efecto del tamaño de tubérculo semilla sobre el rendimiento en papa criolla, variedad "yema de huevo", (*Solanum phureja* Juz, et Buk). Tesis Ingeniería agronómica. Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá. p 8-45. 1997.
- Bustos, P.; Arias, V. y Núñez L., C. E. Interrelación entre la densidad de tallos y la tasa de multiplicación de tubérculos en papa criolla (*Solanum phureja* Juz et. Buk) variedad "yema de huevo". En: Agronomía Colombiana. Santafé de Bogotá: vol. XIII. N° 2 : p 162-168, 1996.
- Cepeda, V; R. A. Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum*) sembrada en surco sencillo. Tesis Magister Scientiae. UN-ICA. Bogotá. 1980.
- Clavijo, J. Análisis de crecimiento en malezas. En: Revista Comalfi. Santafé de Bogotá: vol. 16. N° 1: p. 12-16, 1989.
- Collins. W.V. Analysis of growth in Kennebec. In American Potato Journal. Vol 54: 33-40, 1977.
- Gardner, F.; Peace, R. and Mirchel, R. Physiology of crop plants, First edition. Iowa State University Press, Ames Iowa 1985.
- González, J; Romero, H. Incidencia de la época de aporque sobre la papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) bajo tres densidades de siembra en dos localidades. Tesis Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Santafé de Bogotá. 2000.
- Hack, Von H.; Gal, H.; Klemke, T.; Klose, R.; Meier, U.; Staub, R. and Witzemberger, A. Phanologisches entwicklungsstadien der kartoffel (*Solanum tuberosum*). Nachrichten deut pflanzenhutzd. 45 (1). Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart. S. 11-19, 1992.
- Hay, R; Walker, K. M.; Andrew, J. An introduction to the physiology of crop yield. Edited by Longman scientific and technical, p 188-212, 1992

Hawkes, J.G. The potato evolution, biodiversity and genetic resource. Smithsonian institution Press, Washington D.C. p 259, 1990.

Hernández, E.; Rodríguez A. Variedades colombianas de papa. En: Revista Papa, Fedepapa. Santafé de Bogotá: N° 19: p 7, 1999.

Hunt, R.; Warren, W.; Hand, D. and Sweeney, D. Integrated analysis of growth and light interception in winter lettuce . Analytical methods and environmental influence. In: Annals of botany. p 743-757, 1984.

Hunt, R. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners 1a. edición. Unwin hyman Ltda, Londres. p 8-13 1990.

Lujan, L. Como cultivar papa. En: Revista Papa, Fedepapa. Santafé de Bogotá: N°1: p 17-26, 1990.

Lujan, L. Morfología, estructura y fisiología de la planta de papa. En: Revista Papa, Fedepapa. Santafé de Bogotá: N°2: p 23-29, 1991.

Martínez, A.,B. Respuesta de la papa, (*Solanum tuberosum*. Var parda pastusa) a la fertigación y a tres dosis de N, P, y K en la zona de Usme Cundinamarca. Tesis Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, 1989.

Pino, J. M.. Perspectivas para el desarrollo agroindustrial del cultivo de la papa en Colombia. Revista papa. Fedepapa. Santafé de Bogotá. No. 13: 15-24, 1995

Porras Rodriguez, P. D. Guía para papa criolla. Clon 1. Fedepapa. En: revista ventana al campo andino edición especial papas colombianas 2000 con el mejor entorno ambiental. Santafé de Bogotá: N°1 y 2: p 65-66, 2000.

Rykbost, K.A; Maxwell, J. Effects of plant population on the performance of seven varieties in the Klamath basin of Oregon. In: American Potato Journal. Vol 70, No 6: p 463- 473, 1993.

Venus, J. and Causton, D. Plant growth analysis: A re-examination of the methods of calculation of relative growth and net assimilation rates without using fitted functions. In: Annals of botany. N° 43: p 633-638 1979.

Warren, W. Analysis of growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands. In: Annals of botany. N° 48: p 507- 512, 1981.

Wiersema, G. Efecto de la densidad de tallos en la producción de papa. En : Boletín de información técnica CIP. Lima: N° 1: p1-16, 1987.

Anexo 1 . Prueba de ajuste entre el modelo general de crecimiento de la planta y la suma de los modelos parciales.

TRATAMIENTO	CHI-SQUARE	PROB>CHI
1	129.295	0.0789*
2	156.277	0.0330
3	74.870	0.3447*
4	125.338	0.0888*
5	141.624	0.0567
6	209.091	0.0052
7	14.478	0.9664*
8	24.662	0.8624*
9	188.736	0.0137
10	251.788	0.0017

*Significantes al 5%

Anexo 2. Parámetros estadísticos de los modelos de regresión encontrados**

Variables dependientes						
TRATAMIENTO		L AF	L MSH	L MSTL	L MSTUB	L MST
T1	R ²	0.761	0.744	0.901	0.852	0.892
	C.V	7.03	22.375	19.891	21.14	10.284
T2	R ²	0.892	0.854	0.938	0.889	0.903
	C.V	4.413	15.041	13.333	16.036	9.109
T3	R ²	0.954	0.957	0.961	0.811	0.967
	C.V	3.282	8.848	12.388	24.717	5.696
T4	R ²	0.895	0.853	0.93	0.848	0.927
	C.V	4.223	14.571	14.078	20.877	7.676
T5	R ²	0.914	0.861	0.934	0.873	0.906
	C.V	3.13	14.07	12.609	17.773	8.516
T6	R ²	0.881	0.854	0.936	0.689	0.899
	C.V	5.481	15.715	12.854	37.861	8.577
T7	R ²	0.946	0.919	0.942	0.895	0.927
	C.V	3.807	13.435	13.041	15.246	8.472
T8	R ²	0.911	0.951	0.932	0.771	0.917
	C.V	4.604	10.03	13.654	26.903	8.929
T9	R ²	0.967	0.892	0.966	0.667	0.924
	C.V	3.128	15.695	9.989	38.956	8.38
T10	R ²	0.883	0.832	0.908	0.759	0.902
	C.V	4.003	14.337	15.493	27.45	8.665

**L transformación con logaritmo natural, AF: Area foliar, MSH: Materia seca de hojas, MSTL: Materia seca de tallos, MSTUB: Materia seca de tubérculos, MST: Materia seca tota