

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
AGRONOMÍA**



**DISEÑOS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA
DETERMINAR LOS NIVELES DE N y P, QUE MAXIMIZAN
EL RENDIMIENTO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) A
2760 msnm – AYACUCHO**

Tesis para Optar el Título de:
INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por:
Pepe AYALA PRADO

AYACUCHO-PERÚ
2017

DEDICATORIA

A mi madre Saturnina, con toda gratitud por darme la vida, apoyo, aliento moral y sus consejos para hacerme una mejor persona. Así mismo a la memoria de mi padre Juvino y hermana Marseny, que siempre me cuidan y me guían para forjarme por el buen camino.

A mis hermanos, familiares y amigos por sus buenos consejos y orientaciones que me permitieron forjarme por el buen camino.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Formación Profesional de Agronomía, alma mater de mi formación profesional y humana.

A la plana de docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias que con sus conocimientos y experiencias me guiaron en mi formación profesional.

A los miembros del jurado del presente trabajo de investigación por haberme apoyado en el presente trabajo, contribuyendo en el planeamiento y desarrollo del presente proyecto de investigación.

Mis sinceros agradecimientos al Ing. Alex Lázaro Tineo Bermúdez por su asesoramiento y por brindarme su apoyo incondicional, moral y material, en la ejecución del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Esteban Quispe Gómez, por su apoyo en la dirección técnica del presente trabajo de investigación durante la instalación del mismo, en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería - UNSCH.

De igual manera expreso mi reconocimiento y gratitud a todos mis amigos que me brindaron su apoyo y colaboración en la instalación de la presente investigación.

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la influencia de la aplicación de fuentes sintéticas de N y P en la maximización del rendimiento de tomate en Pampa del Arco, Ayacucho, estimados con cuatro diseños de superficie de respuesta (Diseño Compuesto Central Rotable: DCCR, Diseño San Cristóbal: DSC, Diseño 03 de Julio: D3J y Diseño Factorial Completo: DFC), se realizó el presente trabajo en los ambientes de Programa de Investigación de Pastos y Ganadería, de la UNSCH, en macetas de 20 kg de capacidad en condición de invernadero. Los factores nitrógeno (N) y fósforo (P_2O_5), fueron evaluados en el rango de 0 a 360 $kg \cdot ha^{-1}$ y de 33333 plantas por hectárea, utilizando como fuente urea y supe triple. Por los resultados, se concluye que: 1. Los niveles de nitrógeno (urea) tienen mayor influencia que los niveles de fósforo (superfosfato triple), en el rendimiento de frutos de tomate; 2. Los modelos que predicen los rendimientos de tomate por la aplicación de N y P son: Para el DCCR ($Y = 26848.3359 + 60.71797 \cdot N + 16.10946 \cdot P_2O_5 - 0.14783 \cdot N^2 - 0.03146 \cdot P_2O_5^2 + 0.06125 \cdot N \cdot P_2O_5$); para el D3J ($Y = 13121.3973 + 100.95278 \cdot N + 54.73646 \cdot P_2O_5 - 0.15875 \cdot N^2 - 0.03862 \cdot P_2O_5^2 + 0.02716 \cdot N \cdot P_2O_5$); para el DSC ($Y = 13254.9786 + 121.61742 \cdot N + 125.94932 \cdot P_2O_5 - 0.21745 \cdot N^2 - 0.19083 \cdot P_2O_5^2 - 0.07379 \cdot N \cdot P_2O_5$); para el DFC ($Y = 14700.7858 + 64.56727 \cdot N + 69.94821 \cdot P_2O_5 - 0.10549 \cdot N^2 - 0.1462 \cdot P_2O_5^2 + 0.15579 \cdot N \cdot P_2O_5$); 3. A partir de estos modelos, los niveles que maximizan el rendimiento de tomate salen fuera del rango de los niveles considerados en el estudio; 4. Se encontró mayor grado de similitud en las estimaciones de los rendimientos de fruto de tomate, obtenidos con los modelos correspondientes al DFC y D3J.

Palabras clave: Superficies de respuesta, nitrógeno, fósforo, tomate.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	1
1.1.1 Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR)	2
1.1.2 Diseño 03 de Julio (D3J)	4
1.1.3 Diseño de San Cristóbal (DSC)	5
1.1.4 Factorial Completo 4x4 (DFC)	7
1.2 EL TOMATE	8
1.2.1 Origen	8
1.2.2 Clasificación taxonómica	9
1.2.3 Descripción y Morfología	10
1.2.4 Composición química (valor nutricional) y medicinal	16
1.2.5 Requerimiento edafoclimático	17
1.2.6 Crecimiento y fenología de desarrollo	21
1.2.7 Labores agronómicas	23
1.2.8 Requerimiento nutricional, abonamiento y fertilización	26
CAPÍTULO II	30
MATERIALES Y MÉTODOS	30
2.1 De la zona en estudio	30
2.1.1 Ubicación del experimento	30
2.1.2 Unidad experimental (U.E)	31
2.2 Antecedentes y características de suelo	32
2.3 Análisis químico y físico del suelo	32
2.4 Condiciones meteorológicos	33
2.5 Material genético	37
2.6 Factores en estudio	37
2.7 Tratamientos y diseño experimental	38
2.8 Características del campo experimental	41
2.9 Instalación y conducción del experimento	41
2.9.1 Construcción de invernadero y riego por goteo	41

2.9.2	Preparación del Almácigo	42
2.9.3	Abonamiento y trasplante	42
2.9.4	Conducción del cultivo	42
2.9.5	Cosecha y determinación de rendimiento de fruto y M.S	44
2.9.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	45
2.10	Variables evaluadas y sus indicadores	45
2.11	Análisis estadísticos	45
CAPÍTULO III		47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		47
3.1	Rendimiento de frutos de tomate	47
3.1.1	Análisis del DCCR	47
3.1.2	Análisis del D3J	52
3.1.3	Análisis del DSC	56
3.1.4	Análisis de DFC	60
3.1.5	Comparación de los diseños de superficie en base al rendimiento de frutos de tomate	64
3.2	Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (kg.ha ⁻¹)	68
3.2.1	Análisis del DCCR	68
3.2.2	Análisis del D3J	69
3.2.3	Análisis del DSC	70
3.2.4	Análisis del DFC	72
CAPÍTULO IV		74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		74
4.1	Conclusiones	74
4.2	Recomendaciones	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		77
ANEXOS		81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Codificación de Niveles	3
Tabla 1.2. Número de tratamiento según número de factores para DCCR	3
Tabla 1.3. Niveles de codificación del Diseño 03 de Julio.	5
Tabla 1.4. Tratamientos según el número de factores a considerarse. D3J	5
Tabla 1.5. Tratamientos según el número de factores a considerarse. DSC	6
Tabla 1.6. Tratamientos según el número de factores a considerarse. DFC	8
Tabla 1.7. Composición nutricional por 100 gramos de tomate fresco	16
Tabla 1.8. Composición nutritiva del fruto de tomate (por 100 g de fruto)	17
Tabla 1.9. Reducción potencial de rendimiento por salinidad	19
Tabla 1.10. Relación de la temperatura en estados de desarrollo	20
Tabla 1.11. Nivel crítico o rango de suficiencia de los nutrientes	28
Tabla 2.1. Características físicas y químicas del suelo	32
Tabla 2.2. Temperatura máxima, mínima y balance hídrico correspondiente para cultivo tomate con datos 2011-2015	35
Tabla 2.3. Temperatura máxima, mínima y Humedad relativa registrada dentro de invernadero del mes junio a diciembre 2016	35
Tabla 2.4. Nivel de nitrógeno y fósforo con diseño DCCR	37
Tabla 2.5. Nivel de nitrógeno y fósforo con diseño D3J	37
Tabla 2.6. Nivel de nitrógeno y fósforo con diseño DSC	38
Tabla 2.7. Nivel de nitrógeno y fósforo con DFC	38
Tabla 2.8. Descripción de la composición de los tratamientos con DCCR	38
Tabla 2.9. Descripción de la composición de los tratamientos con D3J	39
Tabla 2.10. Descripción de la composición de los tratamientos con DSC	39
Tabla 2.11. Descripción de la composición de los tratamientos con Factorial Completo	40
Tabla 3.1. Análisis de varianza para frutos de tomate. DCCR	47

Tabla 3.2. Prueba de Duncan para rendimiento de frutos de tomate DCCR	48
Tabla 3.3. ANVA de la regresión para rendimiento de frutos de tomate	48
Tabla 3.4. Coeficientes estimados del modelo polinomial DCCR	49
Tabla 3.5. Estimación de rendimiento por valor real. DCCR	50
Tabla 3.6. Análisis de varianza para frutos de tomate. D3J	52
Tabla 3.7. Prueba de Duncan para rendimiento de frutos de tomate D3J	52
Tabla 3.8. ANVA de la regresión para rendimiento de frutos de tomate D3J	53
Tabla 3.9. Coeficientes estimados del modelo polinomial. D3J	53
Tabla 3.10. Estimación de rendimiento por valor real D3J	55
Tabla 3.11. Análisis de varianza para frutos de tomate. DSC	56
Tabla 3.12. Prueba de Duncan para rendimiento de frutos de tomate DSC	57
Tabla 3.13. ANVA de la regresión para rendimiento de frutos de tomate DSC	57
Tabla 3.14. Coeficientes estimados del modelo polinomial. DSC	57
Tabla 3.15. Estimación de rendimiento por valor real DSC	59
Tabla 3.16. Análisis de varianza para frutos de tomate. DFC	60
Tabla 3.17. Prueba de Duncan para rendimiento de frutos de tomate DFC	61
Tabla 3.18. ANVA de la regresión para rendimiento de frutos de tomate DFC	61
Tabla 3.19. Coeficientes estimados del modelo polinomial. DFC	62
Tabla 3.20. Estimación de rendimiento por valor real DFC	63
Tabla 3.21. Matriz de coeficientes de correlación simple entre de los diseños con 16 puntos	67
Tabla 3.22. Matriz de coeficientes de correlación simple entre de los diseños con 25 puntos	67
Tabla 3.23. Análisis de varianza para materia seca DCCR	68
Tabla 3.24. Prueba de Duncan para rendimiento de materia seca	68
Tabla 3.25. Análisis de varianza para materia seca D3J	69
Tabla 3.26. Prueba de Duncan para rendimiento de materia seca	70
Tabla 3.27. Análisis de varianza para materia seca DSC	71
Tabla 3.28. Prueba de Duncan para rendimiento de materia seca	71
Tabla 3.29. Análisis de varianza para materia seca DFC	72
Tabla 3.30. Prueba de Duncan para rendimiento de materia seca	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1. Diagrama Ombrotérmico T° vs PP y Balance Hídrico.	36
Gráfico 3.1. Niveles de N y P que maximizan el rendimiento de tomate.	49
Gráfico 3.2. Superficie de respuesta rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DCCR	50
Gráfico 3.3. Superficie de Contorno rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo RCCR	51
Gráfico 3. 4. Niveles de N y P que maximizan el rendimiento de tomate. D3J	54
Gráfico 3.5. Superficie de respuesta rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo D3J	55
Gráfico 3.6. Superficie de Contorno rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo D3J	55
Gráfico 3.7. Niveles de N y P óptimos que maximizan el rendimiento de tomate DSC	58
Gráfico 3.8. Superficie de respuesta rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DSC	59
Gráfico 3.9. Superficie de Contorno rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DSC	59
Gráfico 3. 10. Niveles de N y P que maximizan el rendimiento de tomate DFC	62
Gráfico 3.11. Superficie de respuesta rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DFC	63
Gráfico 3.12. Superficie de Contorno rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DFC	64
Gráfico 3.13. Efecto de P en rendimiento de tomate (en ausencia de N)	65
Gráfico 3.14. Efecto de N en rendimiento de tomate (en ausencia de P)	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Disponibilidad de nutrientes según el pH del suelo	18
Figura 2. 2. Ubicación del proyecto	31
Figura 2.1. Croquis de unidad experimental y su distribución de los diseños	40
Figura 2.2. Sección transversal de la unidad experimental	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Costo de producción de tomate por una hectárea	81
Anexo 2. Rendimientos de frutos de tomate (g.maceta ⁻¹)	82
Anexo 4. Gráficos comparativos (DCCR, DSC, D3J, DFC) de la influencia del N o P en el rendimiento de tomate	83
Anexo 5. Rendimientos de materia seca de plantas de tomate (g.maceta ⁻¹)	88
Anexo 6. Fotografía de proceso construcción de tinglado y conducción del experimento	90

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 6.1. Selección se unidad experimental	90
Fotografía 6.2. Conducción almacigo de tomate	90
Fotografía 6.3. Colocación de balde y distanciamiento	90
Fotografía 6.4. Distribución de tratamiento y abonamiento correspondiente	91
Fotografía 6.5. Distanciamiento riego machaque y apertura trasplante propiamente dicha	91
Fotografía 6.6. Campo experimental trasplantado y aforo de agua	91
Fotografía 6.7. Etapa de desarrollo de cultivo de tomate	92
Fotografía 6.8. Etapa de desarrollo de cultivo de tomate	92
Fotografía 6.9. Inicio y floración	92
Fotografía 6.10. Etapa de plena floración del cultivo	93
Fotografía 6.11. Etapa inicio de fructificación	93
Fotografía 6.12. Colocación de tutorados	93
Fotografía 6.13. Plena fructificación y cuajado de fruto de tomate	94
Fotografía 6.14. Etapa inicio de madurez y madurez	94
Fotografía 6.15. Primera y segunda cosecha y pesado de frutos	94
Fotografía 6.16. Pesado de fruto de tomate	95
Fotografía 6.17. Frutos para última cosecha, madurez final y cosecha final	95
Fotografía 6.18. Parcela de experimento después de cosecha final de fruto de tomate	95
Fotografía 6.19. Cosecha de parte raíz y aérea de tomate	96
Fotografía 6.20. Pesado de parte aerea y raíz.	96
Fotografía 6.21. Campo después de cosecha final del trabajo	96

INTRODUCCIÓN

La metodología de superficie de respuesta es un conjunto de métodos, procedimientos estadísticos y matemática que se utiliza con la finalidad de optimizar los factores intervinientes en un proceso. La experimentación con fertilizantes, es uno de los campos, donde el arreglo factorial de tratamientos ha tenido mayor uso, debido principalmente que mayoría de los casos que desea obtener información, para más de un nutriente y el posible interacción existente entre los nutriente en estudio. Por otro lado los investigadores estuvieron interesado solamente en la interpretación cualitativa, esto quiere decir en determinar la diferencia significativa entre los factores (tratamientos), en actualidad el énfasis del estudio es el análisis cualitativo en sentido de determinar el rendimiento en función de nutrientes aplicados al suelo, para que se pueda encontrar el máximo rendimiento.

Se sabe que la principal desventaja de los arreglos factoriales completos es que al aumentar el número de factores o niveles, esto incrementa las combinaciones llegando a imposibilitar la conducción de experimentos de

campo. Este problema fue tratado por diversos investigadores, logrando originar los diseños de superficie de respuesta, inicialmente utilizados en experimentos industriales; actualmente se utiliza bastante en temas agronómicos. La aplicación del Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) en experimentos con fertilizantes presenta algunas desventajas, una de ellas es la de no incluir un tratamiento testigo (sin aplicación de fertilizantes). Debido a estas dificultades se han desarrollado diseños para ser utilizados en el campo agronómico, principalmente en experimentos de fertilización en diversos cultivos; así, Rojas (1961) ideó el Diseño San Cristóbal (DSC), Tineo (2002) el Diseño 03 de Julio (D3J). Para el presente trabajo de fertilización de *Lycopersicum esculentum*, en condiciones de invernadero con dotación de riego localizado, se han utilizado los diseños DCCR, D3J, DSC y factorial completo, para determinar los niveles de N y P que maximiza el rendimiento de tomate

Se han realizado trabajos para comparar la variabilidad y eficiencia de los diferentes diseños de superficie de respuesta respecto a un diseño factorial completo, como el de Briones y Martínez, (2002). De esta manera se podría recomendar el diseño apropiado para este tipo de estudios.

Siendo el problema principal seleccionar un diseño de superficie de respuesta apropiado para determinar los niveles de N y P que maximizan el rendimiento de un cultivo, la comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación permitirá recomendar el o los diseños más adecuados.

En consecuencia, con la siguiente investigación se propone alcanzar los objetivos siguientes:

- Determinar la influencia de nitrógeno y fósforo en el rendimiento de frutos de tomate a 2760 msnm - Ayacucho.
- Determinar los niveles de nitrógeno y fósforo que maximizan el rendimiento de frutos de tomate, estimados mediante cuatro diseños de superficie de respuesta (DCCR, D3J, DSC, DFC) a 2760 msnm – Ayacucho.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Martínez, (1988) indica desde la aparición del trabajo de Box y Wilson, (1951) los agrónomos de área de la fertilidad de suelos han introducido modificaciones a los diseños. La técnica experimental adoptada consta de: i).- elección de un determinado conjunto de puntos experimentales, que constituyen el diseño de tratamientos. ii).- el ensayo del conjunto de puntos experimentales anteriores sobre un diseño experimental estándar como DBCA o algún bloque incompleto.

Gómez y otros, (s/f) señala como un conjunto de técnicas estadísticas – matemáticas, cuyo objetivo es determinar mejores condiciones, en ella opera el proceso para lograr resultados óptimos.

MSR sirve para modelar y analizar aplicaciones donde la respuesta de interés es influenciada por diversas variables. El objetivo es optimizar la respuesta, también determinar función de respuesta, localizar los puntos críticos en el espacio de factor de producción y a partir de esa

informaciones obtener una fórmula de recomendación para los usuarios y/o interesados del área.

Si deseamos obtener el máximo rendimiento de un proceso (Y), que tiene variables relevantes de abonamiento con nitrógeno (X_1), fósforo (X_2) y potasio (X_3). El rendimiento está a función de nitrógeno, fósforo y potasio, de la siguiente manera:

$Y = f(X_1, X_2, X_3) + error$, en donde el rendimiento (Y) depende de variables independientes nitrógeno, fósforo y potasio (X_1, X_2, X_3).

1.1.1 Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR)

El DCCR es un diseño de tratamiento de cinco niveles en cada factor, que tiene 03 grupos característicos de tratamiento; son los siguientes: tratamiento factorial " 2^k ", tratamiento estrella " $2k$ ", y tratamiento central " C ". Donde 2^k es número de tratamiento básico de factorial que combina nivel bajo y alto que son representado por convención -1 y 1, $2k$ que corresponde a parte axial o estrella que combina niveles mínimos y máximos que se representa de la siguiente forma $-\alpha$ y $+\alpha$, que toman diferentes valores, que depende de número de factores que va estudiar, en este caso se va evaluar dos factores, por ende toma valores de -1.414 y +1.414, cuando k toma valor dos, C constituye tratamiento central que combina nivel central, que se repite un número de determinadas veces que depende del número del factor.

Tabla 1.1. Codificación de Niveles

Nivel codificado (xi)	Denominación
- α	Nivel mínimo
-1	Nivel bajo
0	Nivel medio
1	Nivel alto
+ α	Nivel máximo

Fuente: Superficies de Respuesta: El Diseño de 03 Julio. Tineo (2014)

Tabla 1.2. Número de tratamiento según número de factores para DCCR

Tratamiento	Número de factores (dos)	
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	- α	0
6	α	0
7	0	- α
8	0	α
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0

Fuente: Superficies de Respuesta: El Diseño de 03 Julio. Tineo (2014), " $\alpha = 2^{K/4}$ "

Los niveles codificados, X_i ($-\alpha$, -1 , 0 , 1 , $+\alpha$), se utiliza para análisis estadístico para poder simplificar los cálculos. En este caso los niveles y máximos propone el investigador, el nivel central es promedio de nivel máximo y mínimo; y los niveles altos y bajos se calculan con la siguiente ecuación. $X_i = a + bZ_i$, donde X_i es nivel codificado, Z_i es nivel real.

Para el cálculo de valores de **a** y **b**, se forma dos ecuaciones lineales con dos incógnitas, considerando los valores mínimos y máximos de nivel codificado y real (X_i , Z_i), de la siguiente manera:

$$-\alpha = a + b * (\text{nivel mínimo}), \alpha = a + b * (\text{nivel máximo})$$

resolviendo estas ecuaciones se logra calcular los valores de “a y b”, el cálculo se hace para cada nivel. Despejando la ecuación se forma lo siguiente;

$$Z_i = \frac{(X_i - a)}{b}$$

Se adjunta tabla 1.1. Niveles de codificación y número de tratamientos en tabla 1.2.

1.1.2 Diseño 03 de Julio (D3J)

El Diseño 03 de Julio fue propuesto por Tineo, (2000) actualmente es utilizado en estudio de investigación agronómica, básicamente en fertilización de cultivos.

Tineo, (2014) menciona que el D3J es un diseño de superficie de respuesta, cuyo análisis estadístico principal consiste en ajustar; a una función de acuerdo con el modelo matemático de segundo orden.

Tineo, (2014) indica que el diseño está conformado por un conjunto de tratamientos; provenientes de un factorial completo o factorial 2^k , donde k representa número de factores. El diseño consta de cinco niveles simétricamente espaciados alrededor del centro factorial, en donde el número de tratamiento obedece la siguiente formula $T = 2^k + 4k + 1$, y si se denota los niveles de cada factor, por los siguientes valores codificados (0,1, 2,-1,-2). Los tratamientos de factorial 2^k que combina a los niveles (-2, 2), mientras el tratamiento radical o estrella $4k$ combina los siguientes niveles (0,-2, 2, 1,-1) y el punto central combina básicamente al

tratamiento (0), en seguida se adjunta los nivel de codificación en Tabla N° 1.3., numero de tratamiento en Tabla N° 1.4.

Tineo, (2014) indica los niveles codificados está establecido por la estructura del diseño, y los Niveles no codificado los propone el investigador, en función de la naturaleza del problema a solucionar, en dicho estudio según sus objetivos planteados y problemas.

Tabla 1.3. Niveles de codificación del Diseño 03 de Julio.

Nivel codificado (xi)	Nivel del factor
-2	Mínimo
-1	Bajo
0	Medio
1	Alto
2	Máximo

Fuente: Superficies de Respuesta: El Diseño de 03 Julio. Tineo (2014)

Tabla 1.4. Tratamientos según el número de factores a considerarse. D3J

Tratamiento	Numero de factores (dos)	
1	-2	-2
2	2	-2
3	-2	2
4	2	2
5	-2	0
6	-1	0
7	1	0
8	2	0
9	0	-2
10	0	-1
11	0	1
12	0	2
13	0	0

Fuente: Superficies de Respuesta: El Diseño de 03 Julio. Tineo (2014)

1.1.3 Diseño de San Cristóbal (DSC)

El Diseño San Cristóbal fue propuesto por Rojas, (1978) y fue utilizado por diversos investigadores, para el estudio de la respuesta a fertilizantes

en diferentes cultivos; el diseño actualmente es considerado un diseño simple y proporciona información confiable.

Rojas, (1961) presenta una descripción y discusión de la eficiencia del Diseño San Cristóbal, después de considerar que es necesario establecer una relación matemática entre el rendimiento y los nutrientes agregados al suelo, tal que puede obtenerse la combinación óptima de los elementos nutritivos.

Rojas, (1962) considera que los Diseños Rotables son desarrollados para la investigación industrial, no cumple con ciertos requisitos agronómicos, específicamente el de no incluir un tratamiento testigo (sin fertilización). Además, al comparar con un factorial completo 2^k establece que este diseño de tratamiento; provee una información adicional sobre interacciones que no tiene mucha importancia; de allí viene su menor eficiencia.

Tabla 1.5. Tratamientos según el número de factores a considerarse. DSC

Tratamiento	Numero de factores (dos)	
1	0	0
2	2	0
3	0	2
4	2	2
5	1	1
6	3	1
7	1	3

Fuente: Superficies de Respuesta: El Diseño de 03 Julio. Tineo (2014)

Tineo, (2014) considera que el ensayo comprende de **K** factores, cada uno de cuatro niveles igualmente espaciado, en donde el número de

tratamiento obedece siguiente fórmula $T = 2^k + k + 1$, y si se denotan los niveles de cada factor, por los valores codificados 0, 1, 2, 3. Las combinaciones de tratamiento que comprende son los siguientes:

El tratamiento factorial 2^k , que resulta la combinación de los niveles codificados de 0 y 2 de cada uno de los factores, punto central combina al nivel codificado de 1 y los tratamientos axiales o estrella K , combina 3 y 1, se adjunta número de tratamiento de DSC con 2 factores que presenta en tabla N° 1.5.

1.1.4 Factorial Completo 4x4 (DFC)

Cox, (1958) señala “ Diseño Factorial es el que cada combinación de los niveles de un factor es utilizada la misma cantidad de veces, se denomina en un factorial completo”. Factorial es un experimento que se hace todas las combinaciones posibles de tratamientos. Cada combinación de tratamiento, es considerada un grupo experimental, y cobra en este contexto un sentido más complejo, que el concepto que se utiliza en diseño simple.

Steel y Torrie, (1985) mencionan que la factorial está implícito al concepto de un diseño de tratamiento. También citan el número de factores y niveles que pueden compararse en un experimento solo se limita por consideraciones prácticas.

En revista publicada por IICA, (1990) “seminario diseño experimentales y metodología estadística”, se usó los factoriales en experimentos relacionados con la fertilización, en ella los autores Cochran y Cox, (1978) menciona que la experimentación factorial puede ser adecuada en los siguientes casos:

- Cuando se sabe poco sobre niveles óptimos de los factores, o cuando no se conoce la importancia,
- En la investigación de interacciones entre los efectos de varios factores. Ya que por la naturaleza las interacciones no se pueden estudiar, sino probar algunas de las combinaciones que se forman de diferentes factores y frecuentemente, las informaciones se obtiene mejor probando todas las combinaciones.
- En experimentos diseñados para poder llegar a recomendaciones que deben aplicarse a una gran variedad de condiciones.

Tabla 1.6. Tratamientos según el número de factores a considerarse. DFC

Tratamiento	Numero de factores (dos)	
1	0	0
2	0	1
3	0	2
4	0	3
5	1	0
6	1	1
7	1	2
8	1	3
9	2	0
10	2	1
11	2	2
12	2	3
13	3	0
14	3	1
15	3	2
16	3	3

Fuente: Superficies de Respuesta: El Diseño de 03 Julio. Tineo (2014)

1.2 EL TOMATE

1.2.1 Origen

Maroto, (1986); (1992) menciona que el tomate es una planta originaria de Perú, Ecuador y México, en donde se encuentran varias formas silvestres. Fue introducido a Europa en siglo XVI. Al principio se cultivaba como adorno, fue a partir de 1900 cuando se extendió el cultivo como alimento

humano. El nombre de tomate deriva de la lengua Nahuac de México, donde se le llamaba "tomatl" (Van Haeff 1988).

Jaramillo et al. (2007) menciona que el tomate es originario de América del sur, entre las regiones de Chile, Ecuador y Colombia, pero su domesticación se inició en el sur de México y norte de Guatemala. Las formas silvestre de "tomate cereza", *Lycopersicum esculentum var. cerasiforme* es originario de Perú, migraron a través del Ecuador, Colombia, Panamá y América Central hasta llegar a México, donde fue domesticado por el hombre; en la lengua nahua de México era llamado tomatl, que sin lugar a dudas dio origen a su nombre actual.

Jaramillo et al. (2007) menciona sólo a partir del siglo XIX adquirió gran importancia económica mundial, hasta llegar a ser junto con la papa, la hortaliza más difundida y predominante del mundo. "En 1900 surgió la primera variedad mejorada, denominada ponderosa, a partir de la cual se obtuvo la mayoría de las variedades americanas actuales, junto con los materiales colectados en la región de origen durante las décadas de los veinte y los treinta".

1.2.2 Clasificación taxonómica

Jaramillo et al. (2007) menciona el tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia solanáceae y al género *Lycopersicon L. esculentum* es la especie más cultivada y posee un gran número de especies silvestres relacionadas.

Rodríguez, (1984) y Antonio, (1991) clasifican según sus características y valiéndose de los criterios científicos establecidos por la sistemática, la posición taxonómica del tomate es la siguiente:

División : Fanerógamas
Sub división : Angiospermas
Clase : Dicotiledoneas
Orden : Tubiflorales
Familia : Solanáceas
Género : *Lycopersicum*
Especie : *Lycopersicum esculentum L.*
Descriptor (1788) : Miller

1.2.3 Descripción y Morfología

Hernández, (2011) menciona las plantas de tomate son herbáceas perennes, aunque en su hábitat natural muy probablemente se comportan como anuales y pueden morir después de la primera estación de crecimiento debido a las heladas o la sequía.

Von Haeff, (1983) considera que los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo de la planta de tomate dependen de las condiciones del clima, suelo y de las características genéticas de la variedad.

a. Raíz

El sistema radical del tomate es superficial y está constituido por la raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias.

Dentro de la raíz se encuentra la epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, además el cortex y el cilindro central donde se sitúa el xilema

Rodríguez et al. (2001) indica el tomate presenta una raíz principal pivotante simultáneamente se producen raíces adventicias y

ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen.

Rodríguez et al. (2001) menciona el sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad, y se estima que un 75% del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm superiores del suelo.

Holwerda, (2006) menciona las raíces están presentes en los primeros 60 cm de profundidad del suelo, con 70% del volumen de raíces totales en los primeros 20 cm de profundidad.

b. Tallo

Rick, (1978); Rodríguez et al, (1984); Valadéz, (1990) mencionan el tallo es erguido y cilíndrico en planta joven, a medida que ésta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. Presenta tricomas en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática.

El tallo puede llegar a medir de 40 - 250 cm. Muestra ramificación abundante y yemas axilares, si al final del crecimiento todas las ramificaciones exhiben yemas reproductivas, estas se clasifican como de crecimiento determinado; y si terminan con yemas vegetativas; son de crecimiento indeterminado.

Jaramillo et al. (2007) menciona el tallo principal tiene 2 a 4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis; sobre el tallo se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Éste tiene la propiedad de emitir raíces cuando se pone en contacto con el suelo, característica importante que se

aprovecha en las operaciones culturales de aporque dándole mayor anclaje a la planta

c. Hoja

Las hojas de tomate son compuestas imparipinadas con siete a nueve foliolos, los cuales generalmente son peciolados, lobulados y con borde dentado, y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo.

George, (1999) menciona las hojas de tomate son cortas, de tamaño medio o largo y es de tipo patata.

Huerres y Caraballo, (1988) manifiestan que las hojas de tomate son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos. El haz es de color verde y el envés de color grisáceo, su tamaño depende de las características genéticas de la variedad. En tomates más rústicos el tamaño de sus hojas es más pequeño.

Rodriguez et al. (2001); Garza, (1985) Indican la disposición de nervaduras en los foliolos es penninervia.

d. Flor

Jaramillo et al. (2007) menciona la flor de tomate es perfecta o hermafrodita, regular e hipógina y consta de cinco o más sépalos y de seis o más pétalos; tiene un pistilo con cinco estambres, unidos en sus anteras y formando un tubo que encierra el pistilo. Esta conformación favorece la autopolinización. "El pistilo está compuesto de un ovario y de

un estilo largo, simple y levemente engrosado; el ovario tiene entre dos y 20 óvulos formados según la variedad, y éstos reflejan la forma del fruto que podría desarrollarse”.

Rodríguez et al. (2001) señala la flor se presenta formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima multípara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por racimo. Se precisan de 56-76 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales.

e. Fruto

Rodríguez et al. (2001) menciona el fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa contiene una proporción del 33% del peso fresco del fruto.

Desai et al. (1997) señala botánicamente, un fruto de tomate es una baya compuesta de varios lóculos, consistente de semillas dentro de un pericarpio carnoso desarrollado de un ovario. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada; están compuestos de carne (paredes del pericarpio carnoso desarrollado de un ovario). Una variedad comercial contiene alrededor de 150-300 semillas por fruto.

Jaramillo et al. (2007) señala que el fruto del tomate está unido al pedúnculo por medio de una articulación en la que se encuentra un punto de abscisión. Algunas variedades no tienen este punto de abscisión por lo que son definidas como variedades tipo jointless, y se usan

principalmente para procesamiento ya que se requiere que el fruto se separe fácilmente del cáliz.

f. Semilla

Jaramillo et al. (2007) indica la semilla del tomate es pequeña, con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm, éstas pueden ser de forma globular, ovalada, achatada, casi redonda, ligeramente alongada, plana, arriñonada, triangular con la base puntiaguda. La semilla está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal, la cual está recubierta de pelos. Las semillas dentro del lóculo, en sus últimas etapas de desarrollo, aparecen inmersas en una sustancia gelatinosa.

Rodríguez et al. (2001); Huerres y Caraballo, (1988) mencionan la semilla es de diferentes tonalidades en su color, desde el grisáceo, hasta el color paja de forma oval aplastada; tamaño entre 3-5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud, y cubierta de vellosidades. En un gramo puede haber de 300-350 semillas.

Desai et al. (1997) menciona el peso de 1000 semillas es de aproximadamente 2.4 g.

George, (1989); (1999) señala el peso de mil semillas producida en condiciones de invernadero es de 3.3 g en cultivares de tipo determinado y el peso en campo es de 2.5 g

g. Importancia y utilización

La importancia del tomate reside principalmente en los siguientes puntos:

- Es un cultivo hortícola más difundido en el Perú y en el mundo.

- Es el de mayor consumo por ser el más popular.
- Se consume en una gran variedad de formas (fresca o en conserva).
- Su alto contenido vitamínico lo hace como alimento de gran valor.
- Se puede producirlo todo el año.
- Es utilizado en investigaciones ya que responde adecuadamente al tratamiento.

h. Importancia y/o valor medicinal

Jaramillo et al. (2007) indican el tomate es rico en licopeno, pigmento que le proporciona su característico color rojo, y que también se encuentra en la sandía, la zanahoria, el albaricoque y el pomelo; la diferencia es que el tomate tiene mayor proporción de este pigmento, hasta el punto de que proporciona el 90% del necesario para el organismo.

El licopeno tiene la función antioxidante, los estudios realizados se han demostrado que la sustancia previene e incluso combate el cáncer, protegiendo células de efecto de oxidación, también posee el antioxidante glutatión, que ayuda a depurar el organismo de productos tóxicos e impide la acumulación de materiales pesados.

En los estudio realizados por diversos investigadores de tomate mencionan su valor curativo, entre sus propiedades, estimula el sistema inmune, lo cual ayuda a detener las enfermedades degenerativas. Es recomendado además para el manejo de enfermedades como reumatismo, gota, arteriosclerosis, parálisis, úlceras del estómago, tuberculosis, diabetes, estreñimiento, colitis, males de la garganta y el

oído: también disminuye el riesgo de desarrollar cáncer de boca, páncreas, cuello uterino, próstata, pulmón y estómago. El tomate es un conocido remineralizante y desintoxicante. Además de las toxinas que expulsa debido a su efecto diurético, también se encarga de eliminar el ácido úrico y reducir el colesterol.

1.2.4 Composición química (valor nutricional) y medicinal

Jaramillo et al. (2007) menciona el tomate es rica en fuente de vitaminas A, B1, B2, B6, C, E, y de minerales como fósforo, potasio, magnesio, manganeso, zinc, cobre, sodio, hierro y calcio. Tiene importante valor nutricional ya que incluye proteínas, hidratos de carbono, fibra, ácido fólico, ácido tartárico, ácido succínico y ácido salicílico. Ver tabla 1.7.

Tabla 1.7. Composición nutricional por 100 gramos de tomate fresco

Componentes	Cantidad de contenido
Proteína	0.9 g
Fibra	0.8 g
Fósforo	19 mg
Calcio	7 mg
Hierro	0.7 mg
Vitamina A	1.100 UI
Vitamina B1	0.05 mg
Vitamina B2	0.02 mg
Vitamina C	20 mg

Fuente: Libro, producción de tomate bajo condiciones protegidos 2007, página 49

Villareal, (1982) señala que el tomate no es especialmente nutritivo, pero se convierte en una fuente de minerales y vitaminas cuando se estimula su consumo, principalmente en los países de desarrollo, suministrándolos a los precios relativamente bajos.

Maroto, (1986) menciona sobre la composición química del tomate, existen muchas tablas siendo una de las más completas ver tabla 1.8.

Tabla 1.8. Composición nutritiva del fruto de tomate (por 100 g de fruto)

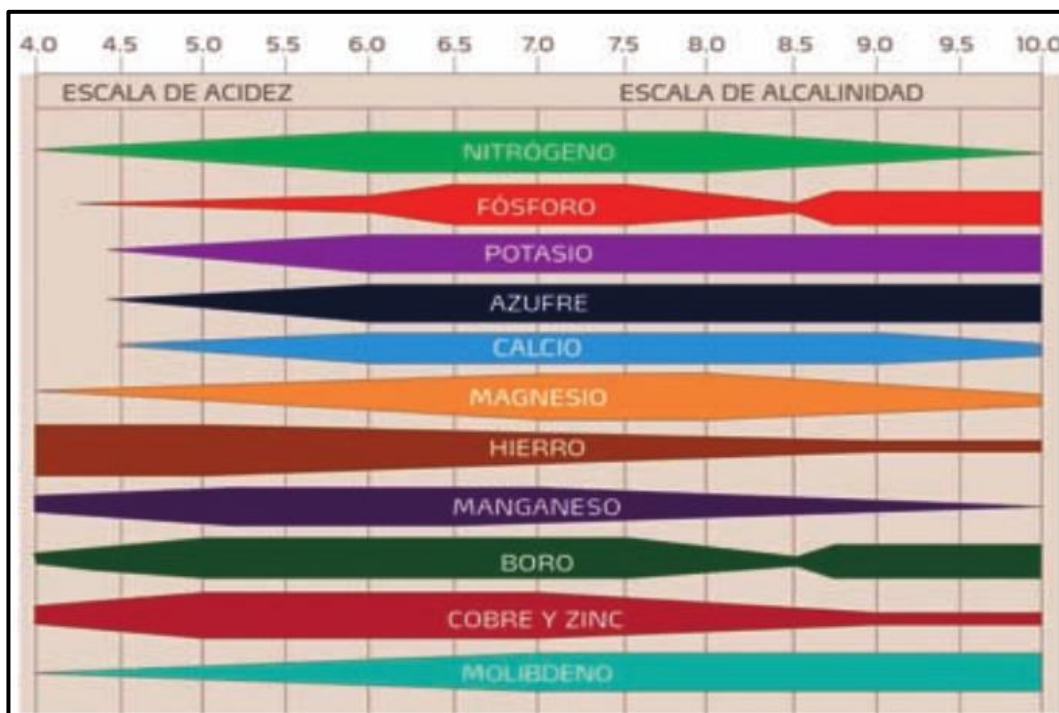
Componentes	Folker 1976	Watt et al 1975
Agua	94.00%	93.50%
Carbohidratos	4.0 g	4.7 g
Grasas	-	0.2 g
Proteínas	1.0 g	1.1 g
Cenizas	0.3 g	0.5 g
Otros	0.7 g	-

Fuente: Maroto en 1986

1.2.5 Requerimiento edafoclimático

a. Suelo

El cultivo tomate, con respecto a exigencia de condiciones de suelo no es tanto, prospera en diferentes tipos de suelo, aunque los más indicados son los suelos sueltos, fértiles, bien aireados y con buen drenaje interno y capacidad de retener humedad, de texturas francas a franco arcillosas, con contenidos de materia orgánica altos, por encima del 5%, y buen contenido de nutrientes. El pH del suelo debe oscilar entre 5,8 a 6,8 para garantizar la máxima disponibilidad de nutrientes, debe estar libre de piedras y malas hierbas y, sobre todo, ser uniforme. A continuación ver figura 1.1.



Fuente: Guía de manejo: Nutrición vegetal de especialidad Tomate. SQM, S.A.

Figura 1.1. Disponibilidad de nutrientes según el pH del suelo

Holwerda, (2006) indica el pH ideal del suelo es 6.0 – 6.5. a un pH>6.5 los micronutrientes metálico como Fe, Zn, Mn, Cu, B y fósforo llega estar menos disponible para la absorción de planta. A un pH<5.5 el fósforo (P) y Molibdeno (Mo) son menos disponibles para absorción de la planta.

Benacchio, (1982) menciona que el cultivo de tomate desarrolla bien en suelos franco-arcillosos pero prefiere suelos franco- arenosos de mediana fertilidad.

AAIC, (2004) menciona que el rango de pH para un desarrollo del cultivo de tomate varia de 5.5 a 7.5, en suelos mayores o menores a esto restringe su crecimiento.

b. Salinidad

Holwerda, (2006) indica el tomate es relativamente tolerante a la salinidad. Para no reducir el rendimiento potencial, la C. E en el extracto

saturado del suelo debe ser $EC_{se} < 2.5$ mS/cm y la CE de agua de riego < 1.7 mS/cm. En seguida de adjunta Tabla N° 1.9.

Tabla 1.9. Reducción potencial de rendimiento por salinidad

Reducción de rendimiento (%)	CE del extracto saturado del suelo (mS/cm)	CE del agua de riego (mS/cm)	Lixiviación necesaria (%)
0	< 2.5	< 1.7	7
10	3.5	2.3	9
25	5.0	3.4	14
50	7.6	5.0	20

Fuente: Guía de manejo: Nutrición vegetal de especialidad Tomate. SQM, S.A.

Doorenbos y Kassam, (1979) menciona el tomate es moderadamente sensible a la salinidad. Para la disminución del rendimiento menciona diversos valores de conductividad eléctrica de la sigue manera: 0% para 2.5 mmhos/cm; 10% para 3.5 mmhos/cm; 25% para 5.0 mmhos/cm; 50% para 7.6 mmhos/cm y 100% para 12.5 mmhos/cm. El periodo más sensible a la salinidad es durante la germinación y desarrollo inicial de la planta.

c. Drenaje

Huerres y Caraballo, (1988) mencionan que el tomate requiere suelos con buen drenaje. Los encharcamientos pueden promover el desarrollo de enfermedades, a las cuales el tomate es muy susceptible.

d. Temperatura

Holwerda, (2006) indica la temperatura ideal va entre 18 - 27 °C, por esta razón la mayoría de los cultivos al aire libre se produce en climas templados, entre los paralelos 30° y 40° en ambos hemisferios. También indica en temperaturas bajo 10°C la formación de flor es afectada

negativamente, mientras que la helada nocturna producirá un daño serio en el cultivo. La temperatura sobre 35°C en condiciones, con baja humedad producirá abortos florales, mientras la viabilidad de polen será fuertemente reducida debido a falta de humedad.

Rodríguez, (1984) menciona el tomate germina entre los 6 a 12 días, la temperatura del suelo para una rápida germinación debe de oscilar de 20 a 25°C, se puede trasplantar entre los 30 a 70 días después de haber germinado y se obtiene la primera cosecha en las variedades de crecimiento lento a los 100 días.

Muñoz y Castellanos, (2003) indica el óptimo térmico para el desarrollo del tomate es de 23 - 25 °C y de 15 - 17 °C, durante el día y la noche respectivamente y una humedad relativa del 70%. Las temperaturas por debajo de 8 °C y por encima de 35 °C, alteran el desarrollo (deficiente fructificación por deficiencias en el desarrollo de los frutos) del tomate y a 0°C se hiela.

Tabla 1.10. Relación de la temperatura en estados de desarrollo

Etapas de desarrollo	Temperatura mínima °C	Temperatura óptima °C	Temperatura máxima °C
Germinación	11	16 - 29	34
Crecimiento	18	21 - 24	32
Cuajado de fruto durante el día	18	23 - 26	32
Cuajado de fruto durante la noche	10	14 - 17	22
Producción de pigmento rojo (licopeno)	10	20 - 24	30
Producción de pigmento amarillo (β caroteno)	10	21 - 23	40
Temperatura del suelo	12	20 - 24	25

Fuente: Libro, producción de tomate bajo condiciones protegidos 2007, página 68

Jaramillo et al, (2007) mencionan el tomate es un cultivo capaz de crecer y desarrollarse en condiciones climáticas variadas. La temperatura óptima

para el crecimiento está entre 21 y 27°C, y para el cuajado de frutos durante el día está entre 23 y 26°C y durante la noche entre 14 y 17°C, para el resto de etapas de desarrollo del cultivo ver Tabla N° 1.10.

e. Humedad

Jaramillo et al. (2007) menciona la humedad relativa ideal para el desarrollo del cultivo de tomate varía entre 65 - 75% para su óptimo crecimiento y fertilidad.

León, (1980) indica la humedad relativa óptima oscila entre un 60% - 80% humedad relativa muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas, agrietamiento del fruto y dificultan en la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores, rajado de frutos y fijación del polen al estigma de la flor.

f. Luminosidad

Huerres y Caraballo, (1988) mencionan la escasez de luz produce debilitamiento en las plantas, las cuales se tornan más susceptibles a enfermedades.

Barandas, (1994) indica los frutos registran el más alto contenido de ácido ascórbico cuando crecen a altas intensidades luminosas.

1.2.6 Crecimiento y fenología de desarrollo

Holwerda, (2006) indica el tomate tiene varias etapas de desarrollo en su ciclo de crecimiento, son lo siguiente: establecimiento de la planta joven, crecimiento vegetativo, floración, desarrollo del fruto y maduración. En seguida se explica cada una de las etapas.

a. Establecimiento de la planta joven

Consiste en desarrollo firme de la raíz y la formación inicial de las partes aéreas de la plántula de tomate.

b. Crecimiento vegetativo

La etapa de desarrollo ocurre a los primeros 40 – 45 días, después los frutos empiezan a desarrollarse continuamente. Este periodo es seguido por otras cuatro semanas de crecimiento rápido, mientras la planta está floreciendo y está desarrollando fruto. Después de 70 días, no hay casi ningún desarrollo vegetativo, ni la acumulación de materia seca en hojas y tallos.

c. Floración

Las condiciones ambientales y el manejo del cultivo, la floración y cuajado comienza alrededor de 20 – 40 días después del trasplante y continúa durante el resto del ciclo de crecimiento.

La polinización se efectúa por medio de abejas, viento y aplicación de hormonas (auxina) para promover el cuajado.

d. Desarrollo del fruto

Esta etapa comienza después de la floración y cuajado, el fruto de tomate comienza a desarrollarse y a crecer, logrando la mayor acumulación de materia seca en el fruto, a un ritmo relativamente estable.

e. Maduración

En promedio, se logra la madurez de fruto a los 80 días después de trasplante. La cosecha continúa permanentemente a menos que se

detenga por razones climáticas (helada) o por razones económicas (precio de tomate).

1.2.7 Labores agronómicas

a. Preparación de terreno

Llanos, (1984) considera como labor secundario, que sirve fundamentalmente para preparar el suelo antes de la siembra. Su objetivo es dejar la superficie en mejor estado de agregación y limpio de hierbas competidoras, también recomienda realizar la siembra en el momento, en que la humedad de suelo se encuentra en condiciones adecuadas.

Bartolini, (1989) menciona que la preparación de suelo le da buen lecho de siembra, es sin duda una de las cuestiones más importantes para el buen éxito del cultivo, porque tiene un buen papel determinante en las primeras fases del desarrollo de la planta es decir en la germinación y enraizamiento.

b. Elección y selección de semilla

Parsons, (1981) sostiene que existen diversas semillas que pueden ser mejorados o certificada. Las semillas certificadas brindan garantía al comprador sobre la calidad a la que permite, un 85% de germinación, 96% de pureza y la seguridad de que esta curada libres de enfermedades. En caso que el horticultor no pueda acceder a esta semilla, debe seleccionar lo mejor de la cosecha anterior y posteriormente desinfectar.

Bartolini, (1989) señala que la elección de la calidad y variedad es, sin duda un elemento fundamental a tener en cuenta en momento de almacenar y/o cultivar.

c. Almacenamiento de semilla

CATIE, (1990) menciona que el uso de almacigos permite tener un mejor control de las condiciones ambientales como humedad y temperatura así como la prevención y manejo de plagas, también facilita la selección de plántulas sanas y uniformes.

“El almacigo se prepara en camas de 10-15 m de largo por 1.0 m de ancho y 20 cm de altura. Estas camas son por lo general, mezclas de tierra franca (50%), arena (30%) y materia orgánica (20%). Se recomienda desinfectar la cama con algún biosida (bromuro de metilo, dazomet, vapor) y aplicar un fertilizante completo antes de desinfección”.

d. Riego

CATIE, (1990) indica que el manejo de agua debe realizarse en forma cuidadosa, pues tanto la falta como el exceso repercuten en la calidad y producción del fruto, Se ha determinado una alta correlación entre sequías prolongadas y rajaduras de frutos; por otra parte, el exceso de agua, favorece el desarrollo de enfermedades de la raíz, lo cual ocasiona bajos rendimientos.

Alvarado, (2009) menciona el riego agrícola como técnica o práctica de producción se puede definir como la aplicación suficiente, oportuna, eficiente y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer el agua que las plantas han consumido durante un tiempo determinado. El propósito

del riego es crear un ambiente adecuado en la zona radical para que las plantas rindan la máxima producción.

e. Trasplante propiamente dicha en campo definitivo

Hugo y Rebeca, (2001) mencionan el trasplante definitivo se realiza aproximadamente a las cuatro o cinco semanas después de la siembra. Un trasplante bien hecho es esencial para obtener una buena cosecha en invernadero.

Hugo y Rebeca, (2001) recomiendan durante el trasplante, una pequeña porción del tallo quede enterrada en el suelo para proporcionar un mejor soporte inicial y permitir a la planta el desarrollo de nuevas raíces, pero teniendo precaución de que las hojas cotiledonales no queden enterradas. Una vez trasplantadas, es necesario regar las plantas lo antes posible para evitar el marchitamiento. En los primeros días después del trasplante, los riegos deben ser corto pero frecuentes para mantener humedad, la zona donde están desarrollándose las raíces.

CATIE, (1990) recomienda antes de trasplantar se debe regar, y también asperjar la plántula con un solución azucarada 10%, para aumentar potencial osmótica de la plántula, finalizando con un riego ligero.

f. Tutorado, poda y control de hiervas competidores con el cultivo

Hugo y Rebeca, (2001) indican la poda es la práctica de remover cualquier tipo de estructura de la planta. El principal objetivo de las podas es balancear el crecimiento reproductivo y vegetativo, permitiendo que los fotoasimilados se canalicen hacia los frutos, pero también tiene otros

beneficios principalmente de tipo fitosanitario. Básicamente existen cuatro tipos de podas: poda de formación, yemas o cupones, flores y frutos y hojas bajas.

g. Plagas y enfermedades importantes en cultivo de tomate

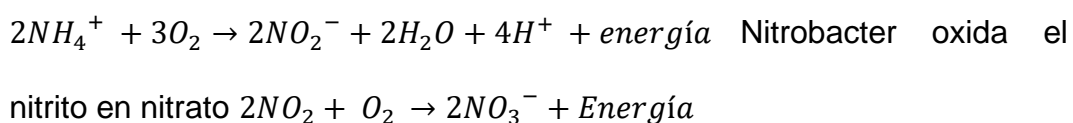
CATIE, (1990) menciona el conocimiento de fenología del cultivo es muy importante para el manejo de plagas y enfermedades, ya que la susceptibilidad del cultivo, al daño por las plagas varía de acuerdo, con su estado de desarrollo. A su vez la incidencia de la plagas, es a función de factores ambientales y de la condición del cultivo.

1.2.8 Requerimiento nutricional, abonamiento y fertilización

a. Nitrógeno

Azabache, (2003) Citado por Villón, (2007) menciona que el nitrógeno es un nutriente importante para la planta, se encuentra deficiente en el suelo. Las plantas contienen entre 10 – 40g de nitrógeno (N) en cada kg de materia seca. El nitrógeno es absorbido por la planta en iones amonio (NH_4) y nitrato (NO_3). El nitrato es una fuente preferencial para el crecimiento de los cultivos.

Las formas amoniacales de nitrógeno son transformados en nitrato por dos grupos distintos de bacterias. *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*; convierten el amoníaco en nitrato, que este último es asimilado por las plantas. Las bacterias transforman siguiendo las siguientes ecuaciones:



Esta reacción de dos etapas se denomina nitrificación. Las reacciones se llevan a cabo rápidamente cuando, las condiciones existentes son de temperatura cálida, oxígeno y humedad adecuada.

b. Fósforo

Azabache, (2003) Citado por Villón, (2007) indica que el fósforo (P) se presenta en la mayoría de las plantas en concentraciones 1 a 4 g por kg de materia seca, estas lo absorben en forma activa, como iones orto fosfato H_2PO_4^- , la absorción de H_2PO_4^- es mayor en pH bajo, mientras que el absorción de $\text{HPO}_4^{=}$ es mayor en pH alto.

CFA, (1995) Sostiene que la mayor parte de la cantidad total de fósforo que existe en el suelo es ligada químicamente a compuestos de solubilidad limitada. En suelo con pH neutros hasta alcalinos se forma fosfato de calcio, en tanto en el suelo ácido se produce fosfato de hierro y aluminio. La cantidad de fósforo disponible en el suelo es apenas 1% o menos de la cantidad total existente. El fósforo estimula el crecimiento temprano y la formación de raíces, acelera la maduración y promueve la producción de semilla.

c. Potasio

Azabache, (2003) Citado por Villón, (2007) manifiesta que el potasio (K^+) es absorbido activamente desde la solución de suelo, por las raíces de las plantas, a una alta tasa. La tasa de absorción depende de la permeabilidad relativa de la membrana al potasio que probablemente resulta de la presencia de iones foros que facilitan la difusión. La retención de potasio en la célula depende principalmente del potencial negativo de

célula. La absorción y retención de potasio en las células de las plantas son también afectadas competitivamente por H^+ , Ca^+ , Mg^+ y Na^+ . La concentración de K^+ en el tejido vegetal a de 10 a 40 g por kg de materia seca. Los requerimientos de potasio en platas son medianamente altos.

d. Fertilización de cultivos

La fertilización tiene el objetivo de restitución de nutrientes al suelo, la cantidad de nutrientes absorbido por la planta. El periodo de mayores necesidades de N, P, K se extiende desde aproximadamente diez días después de la floración hasta justo antes de que el fruto comience a madurar. Las concentraciones de N, P, K son mayores en la hoja, siguiendo del fruto y tallo.

Villón, (2007) menciona que el aporte de abono de base recomienda en cultivo hortícola 30 – 40 t. Ha^{-1} por un año; como abono de fondo aplicar 100 kg de nitrógeno (N); 90 – 150 kg de fósforo (P_2O_5) y 200 – 300 kg de potasio (K_2O); en cobertura realizar 4 aplicaciones de 40 – 50 kg de nitrógeno.

e. Niveles críticos

Tabla 1.11. Nivel crítico o rango de suficiencia de los nutrientes

Rangos de suficiencia	
macronutrientes %	
Nitrógeno (N)	4.00 - 6.00
Fósforo (P)	0.25 - 0.80
Potasio (K)	2.50 - 5.00
Calcio (Ca)	1.00 - 3.00
Magnesio (Mg)	0.40 - 0.90
Azufre (S)	0.30 - 1.20
micronutrientes ppm	
Hierro (Fe)	40 - 300
Manganeso (Mn)	40 - 500
Boro (B)	25 - 75
Zinc (Zn)	20 - 50

Fuente: Vicente bolívar 2007

Mills et al, (2003) citado por Villón, (2007) Indica los niveles críticos de nutrientes de suficiencia, los cuales deben estar disponibles en el suelo en campo abierto son lo siguiente, ver tabla N°1.11.

f. Estudios sobre absorción de nutrientes

Domínguez, (1996) menciona las extracciones del cultivo de tomate son muy variables dependiendo de las condiciones del cultivo y las variedades. Menciona extracciones unitarias de tomate, son lo siguiente:

Nitrógeno 2.5 – 3.6 Kg por cada tn de producción

Fósforo 0.5 – 0.8 kg por cada tn de producción

Potasio 3.5 – 4.0 kg por cada tn de producción

Magnesio 0.5 – 0.8 kg por cada tn de producción.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 De la zona en estudio

2.1.1 Ubicación del experimento

El presente trabajo de investigación se realizó en el ambientes de Programa de Investigación Pastos y Ganadería, en área de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho a 2760 msnm.

La construcción de invernadero y la instalación de tanque clase A, medidor de temperatura y pluviómetro rustico se realizó en Programa de Investigación Pastos y Ganadería, en área de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

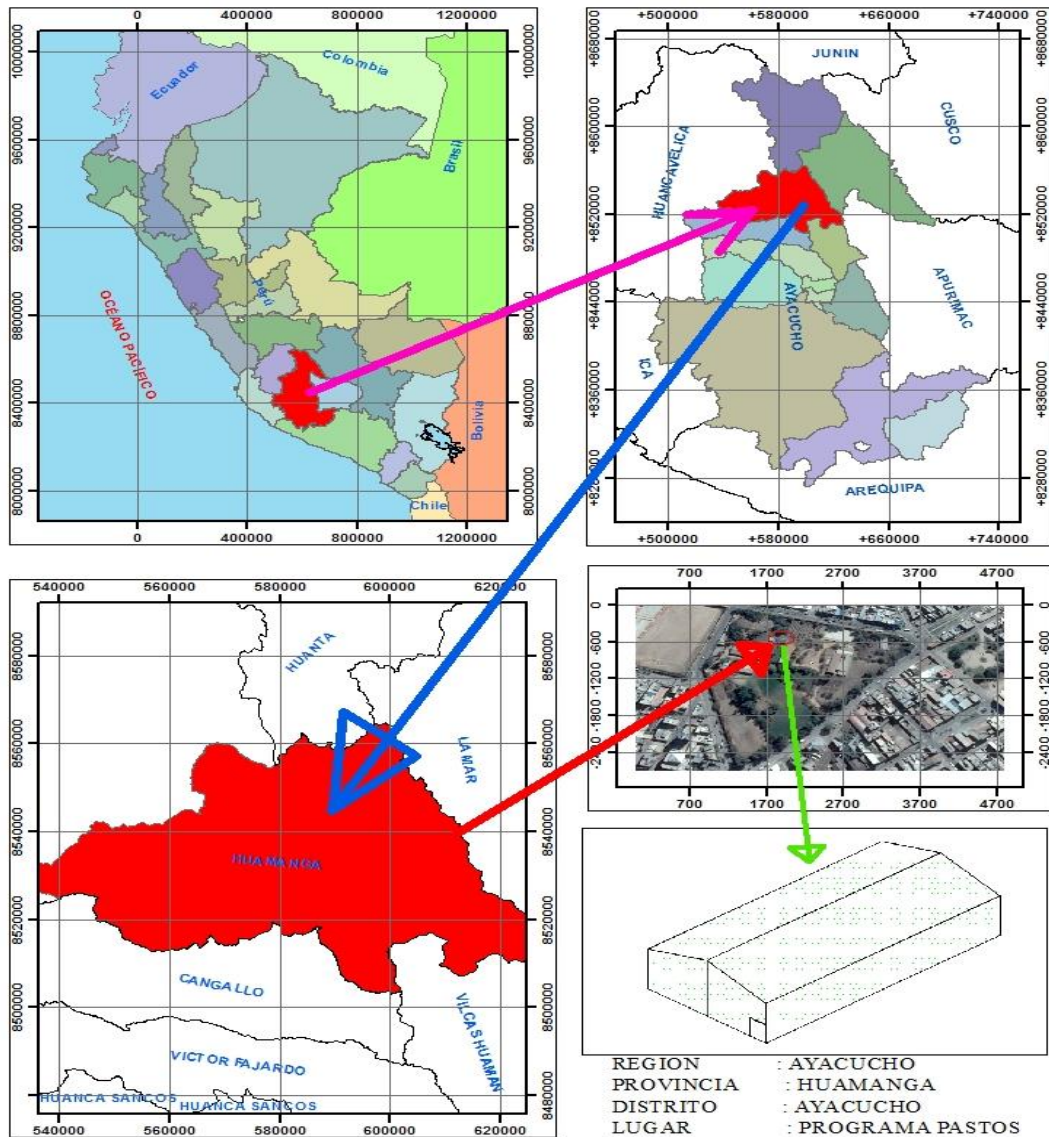


Figura 2. 2. Ubicación del proyecto

2.1.2 Unidad experimental (U.E)

La U.E. consistió en un total de 108 macetas de plástico de 20 kg de capacidad de suelo, en las cuales se cultivó una planta de tomate proveniente de un almácigo, con riego por goteo dentro de un invernadero e instalación de tanque clase A, medidor de humedad relativa y temperatura externa e interna.

En el presente estudio se usó el diseño central compuesto rotatable como diseño experimental, y los diseños D3J, DSC y DFC son diseños de superficie de respuesta.

2.2 Antecedentes y características de suelo

Para la ejecución del presente trabajo, se ha utilizado terreno en cuya campaña anterior se cultivó col. El suelo es de profundidad mediana (para la conducción del trabajo se utilizó maseta de 20 kg), topografía plana, textura franco arcillo arenoso, con pH 8.24, capacidad de campo 27.6%, punto de marchites 15.1% y con densidad aparente 1.32 g/cm³.

2.3 Análisis químico y físico del suelo

Tabla 2.1. Características físicas y químicas del suelo

Características	Resultados		Interpretación
	Contenido	Método	
Características físicas del suelo			
Arena (%)	58.4	Bouyuocos	
Limo (%)	20.5	Bouyuocos	
Arcilla (%)	21.1	Bouyuocos	
Textura	Fr-Ar-Ao		Franco Arcillo Arenoso
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	1.32		
Capacidad de Campo (%)	27.6		
Punto de marchites (%)	15.1		
Características químicas del suelo			
pH	8.24	Potenciómetro	Moderadamente alcalino
M.O (%)	4.34	Walkley- black	Contenido alto
Nt (%)	0.21	Micro-kjeldahl	
P (ppm)	18.80	Bray-Zurtz	Contenido mediano
K (ppm)	188.20	Turbimetría	Contenido mediano
CIC (Cmol(+)/kg)	14.70	saturación	Nivel media

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas PIPG – UNSCH

Para el análisis se tomaron muestra de suelo de 0 a 20 cm de profundidad, con ayuda de pala. Tratando de cubrir todo el área delimitada, luego toda la muestra extraída es combinada y cuarteada para formar la llamada muestra compuesta de 1kg, se secó en sombra en condición de ambiente, luego se tamizó y se procedió con el análisis respectivo, en laboratorio de suelos agua y plantas del Programa de Investigación de Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga cuyo resultado se muestra en la tabla 2.1.

De acuerdo a Ibáñez y Aguirre, (1983) se trata de un suelo moderadamente alcalino, materia orgánica alta, media en fósforo disponible, potasio y contextura Franco – Arcillo - Arenoso.

Las relaciones catiónicas Ca/Mg, Ca/K y Mg/K del suelo, se encuentran dentro del rango para una condición normal.

2.4 Condiciones meteorológicos

Se contó con datos de meteorología del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Huamanga - Ayacucho, cuya información fue proporcionado por la oficina de meteorología y climatología del Gobierno Regional, debido a que no se cuenta con una estación meteorológica en Programa de Investigación de Pastos Y Ganadería.

Muñoz y Castellanos, (2003) indica que el temperatura 23 – 25°C como óptimo para desarrollo de tomate, y la temperatura mínima 10°C.

En la tabla 2.2. y gráfico 2.1., indica exceso y déficit hídrico, y las temperaturas mínimas, máximas y media en cada mes del año, teniendo

en cuenta la referencia climática se instaló riego por goteo e invernadero.

Según la tabla 2.3, Registro tomado en interior de invernadero nos reporta lo siguiente; la temperatura mínima que varía de 11 a 14 °C, temperatura máxima 20 a 27 °C, temperatura media 15.50 hasta 20.50 °C y la humedad relativa registrado 72 a 80%, con la cual logramos regular los requerimiento del cultivo en época de sequía que comprende desde el mes de abril al noviembre, época en el cual coincide la conducción del trabajo de investigación.

Tabla 2.2. Temperatura máxima, mínima y balance hídrico correspondiente para cultivo tomate con datos 2011-2015

DESCRIPCIÓN	BALANCE HIDRICO CON DATOS 2011-2015 ESTACION INIA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PROM
T° Máxima (°C)	23.6	21.4	22.7	24.1	24.3	24.2	23.5	24.4	24.7	25.1	26.2	23.3		24.0
T° Mínima (°C)	10.0	9.9	10.5	9.8	8.3	7.1	7.4	7.6	9.2	10.1	10.4	10.9		9.3
T° Media (°C)	16.8	15.6	16.6	16.9	16.3	15.6	15.5	16.0	16.9	17.6	18.3	17.1		16.6
Factor	4.96	4.48	4.96	4.8	4.96	4.8	4.96	4.96	4.8	4.96	4.8	4.96		
ETP(mm)	83.328	70.056	82.274	81.120	80.848	75.060	76.651	79.422	81.300	87.358	87.960	84.754	970.13	80.8
Precipitación (mm)	97.6	131.3	108.4	41.6	12.8	4.6	6.7	10.2	33.5	37.7	54.7	99.1	638.10	
ETP Ajust. (mm)	54.808	46.079	54.115	53.356	53.177	49.370	50.416	52.239	53.475	57.459	57.855	55.746		
H del suelo (mm)	42.82	85.25	54.31	-11.81	-40.43	-44.77	-43.74	-42.09	-19.95	-19.76	-3.16	43.33		
Déficit (mm)	---	---	---	-	-	-	-	-	-	-	-3.155	---		
Exceso (mm)	42.817	85.246	54.307	---	---	---	---	---	---	---	---	43.329		

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.3. Temperatura máxima, mínima y Humedad relativa registrada dentro de invernadero del mes junio a diciembre 2016

DESCRIPCIÓN	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
T. MÁX	20	21	25	24	25	27	27
T. MIN	11	11	12	11	13	14	14
T. PROM	15.5	16	18.5	17.5	19	20.5	20.5
%HUMEDAD	72	73	74	74	76	76	80

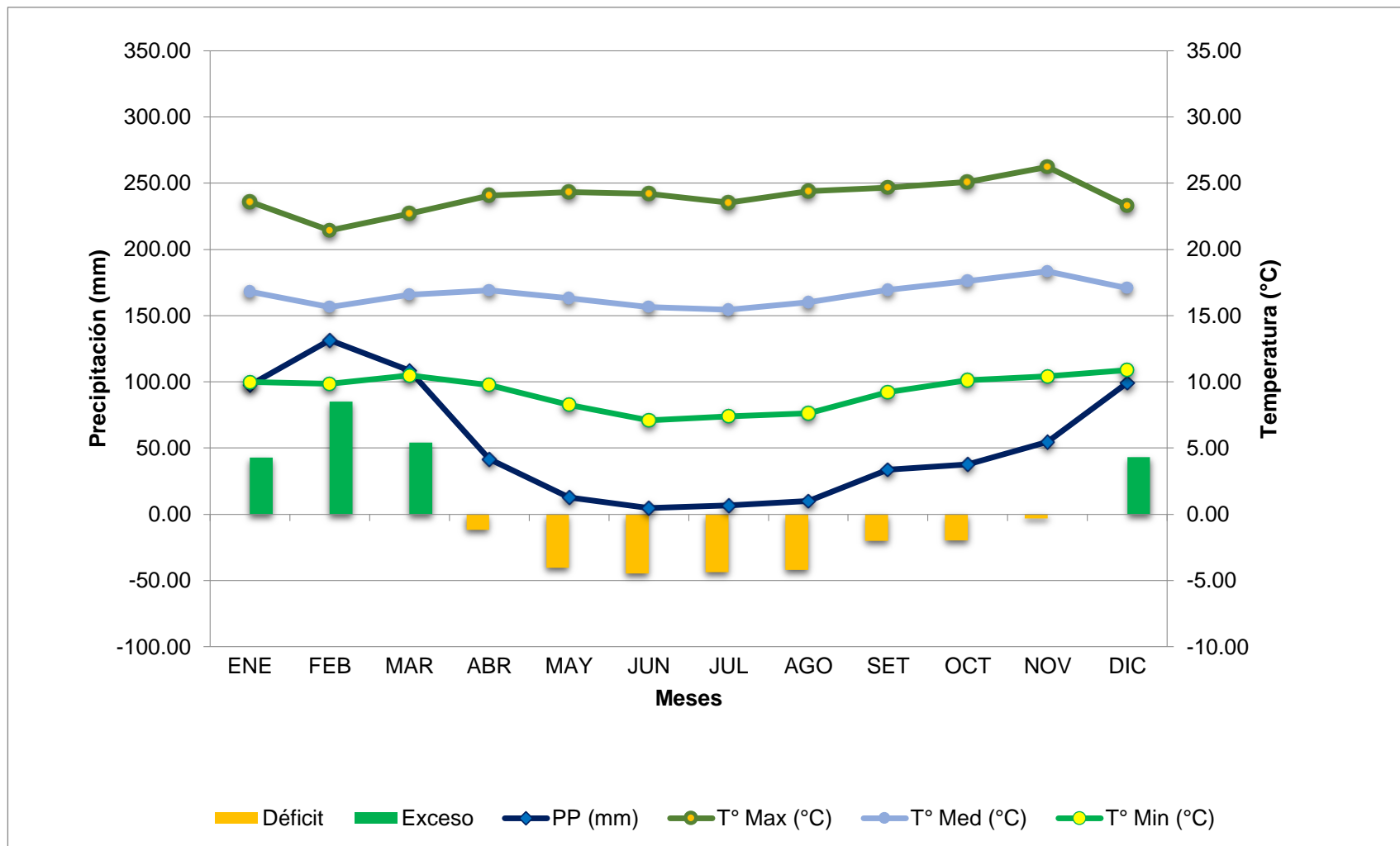


Gráfico 2.1. Diagrama Ombrotérmico T° vs PP y Balance Hídrico.

2.5 Material genético

Para la ejecución del presente estudio, se ha utilizado semilla de tomate, de variedad Rio Grande, con porcentaje de germinación de 88.90%, pureza 90% proveniente de Venezuela.

2.6 Factores en estudio

- Nivel de nitrógeno
- Nivel de fósforo

Donde:

Xi: Valor codificado de los niveles de ensayo

Zi: Niveles no codificado de los factores de estudio (Z1= Nitrógeno; Z2= Fósforo)

Los niveles de los factores Z1 y Z2 se determina de acuerdo a la información bibliográfica de especialistas y al análisis del suelo.

Tabla 2.4. Nivel de nitrógeno y fósforo con diseño DCCR

Nivel	Codificado (Xi)	Niveles del factor Zi (kg.ha ⁻¹)	
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P ₂ O ₅)
1	-1.414	0	0
2	-1	53	53
3	0	180	180
4	1	307	307
5	1.414	360	360

Tabla 2.5. Nivel de nitrógeno y fósforo con diseño D3J

Nivel	Codificado (Xi)	Niveles del factor Zi (kg.ha ⁻¹)	
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P ₂ O ₅)
1	-2	0	0
2	-1	90	90
3	0	180	180
4	1	270	270
5	2	360	360

Tabla 2.6. Nivel de nitrógeno y fósforo con diseño DSC

Nivel	Codificado (Xi)	Niveles del factor Zi (kg.ha ⁻¹)	
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P ₂ O ₅)
1	0	0	0
2	1	120	120
3	2	240	240
4	3	360	360

Tabla 2.7. Nivel de nitrógeno y fósforo con DFC

Nivel	Codificado (Xi)	Niveles del factor Zi (kg.ha ⁻¹)	
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P ₂ O ₅)
1	0	0	0
2	1	120	120
3	2	240	240
4	3	360	360

2.7 Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos se diseñaron de la combinación de niveles y factores de acuerdo al diseño empleado en la investigación. En este caso para la investigación se utiliza métodos de superficie de respuesta, utilizando los siguientes diseños: Diseño Compuesto Central Rotable, Diseño 03 de Julio, Diseño San Cristóbal y Factorial Completo, de acuerdo del diseño se muestra los siguientes Tablas.

Tabla 2.8. Descripción de la composición de los tratamientos con DCCR

N° de tratamiento	Nivel código		kg.ha ⁻¹		Niveles no codificado gr/maceta		Fuente (kg.ha ⁻¹)	
	X ₁	X ₂	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	UREA	ST
1	-1	-1	53	53	0.53	0.53	115.22	115.22
2	1	-1	307	53	3.07	0.53	667.39	115.22
3	-1	1	53	307	0.53	3.07	115.22	667.39
4	1	1	307	307	3.07	3.07	667.39	667.39
5	-1.414	0	0	180	0	1.8	0.00	391.30
6	1.414	0	360	180	3.6	1.8	782.61	391.30
7	0	-1.414	180	0	1.8	0	391.30	0.00
8	0	1.414	180	360	1.8	3.6	391.30	782.61
9	0	0	180	180	1.8	1.8	391.30	391.30

Tabla 2.9. Descripción de la composición de los tratamientos con D3J

N° de tratamiento	Nivel código		Niveles no codificado					
	X ₁	X ₂	kg.ha ⁻¹		gr/maceta		Fuente (kg.ha ⁻¹)	
			N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	Urea	ST
1	-2	-2	0	0	0	0	0.00	0.00
2	2	-2	360	0	3.6	0	782.61	0.00
3	-2	2	0	360	0	3.6	0.00	782.61
4	2	2	360	360	3.6	3.6	782.61	782.61
5	-2	0	0	180	0	1.8	0.00	391.30
6	-1	0	90	180	0.9	1.8	195.65	391.30
7	1	0	270	180	2.7	1.8	586.96	391.30
8	2	0	360	180	3.6	1.8	782.61	391.30
9	0	-2	180	0	1.8	0	391.30	0.00
10	0	-1	180	90	1.8	0.9	391.30	195.65
11	0	1	180	270	1.8	2.7	391.30	586.96
12	0	2	180	360	1.8	3.6	391.30	782.61
13	0	0	180	180	1.8	1.8	391.30	391.30

Tabla 2.10. Descripción de la composición de los tratamientos con DSC

N° de tratamiento	Nivel código		Niveles no codificado					
	X ₁	X ₂	Kg.ha ⁻¹		gr/maceta		Fuente (kg.ha ⁻¹)	
			N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	Urea	ST
1	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
2	2	0	240	0	2.4	0	521.74	0.00
3	0	2	0	240	0	2.4	0.00	521.74
4	2	2	240	240	2.4	2.4	521.74	521.74
5	1	1	120	120	1.2	1.2	260.87	260.87
6	3	1	360	120	3.6	1.2	782.61	260.87
7	1	3	120	360	1.2	3.6	260.87	782.61

Tabla 2.11. Descripción de la composición de los tratamientos con Factorial Completo

N° de tratamiento	Nivel código		Niveles no codificado					
	X ₁	X ₂	kg.ha ⁻¹		gr/maceta		Fuente (kg.ha ⁻¹)	
			N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	Urea	ST
1	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
2	0	1	0	120	0	1.2	0.00	260.87
3	0	2	0	240	0	2.4	0.00	521.74
4	0	3	0	360	0	3.6	0.00	782.61
5	1	0	120	0	1.2	0	260.87	0.00
6	1	1	120	120	1.2	1.2	260.87	260.87
7	1	2	120	240	1.2	2.4	260.87	521.74
8	1	3	120	360	1.2	3.6	260.87	782.61
9	2	0	240	0	2.4	0	521.74	0.00
10	2	1	240	120	2.4	1.2	521.74	260.87
11	2	2	240	240	2.4	2.4	521.74	521.74
12	2	3	240	360	2.4	3.6	521.74	782.61
13	3	0	360	0	3.6	0	782.61	0.00
14	3	1	360	120	3.6	1.2	782.61	260.87
15	3	2	360	240	3.6	2.4	782.61	521.74
16	3	3	360	360	3.6	3.6	782.61	782.61

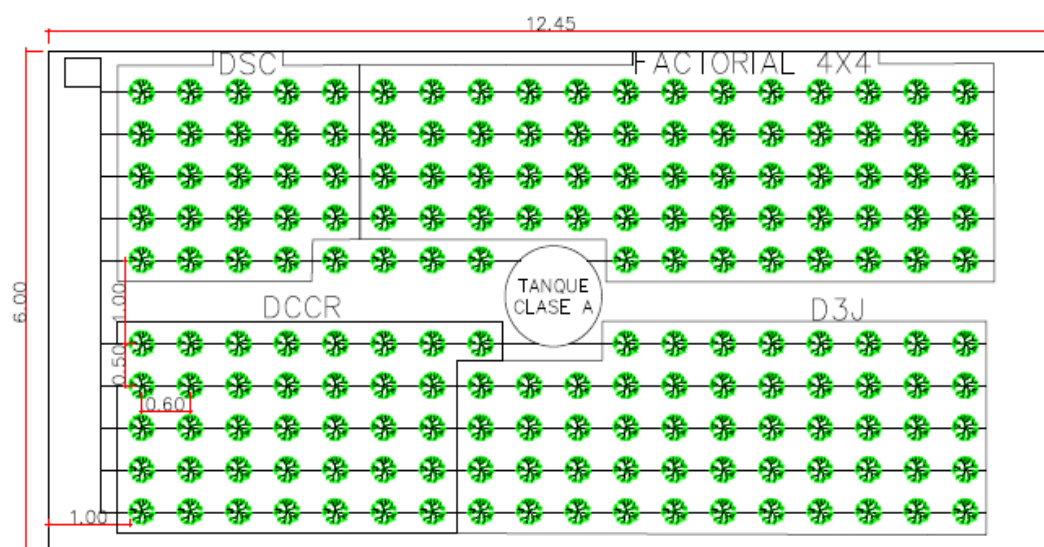


Figura 2.1. Croquis de unidad experimental y su distribución de los diseños

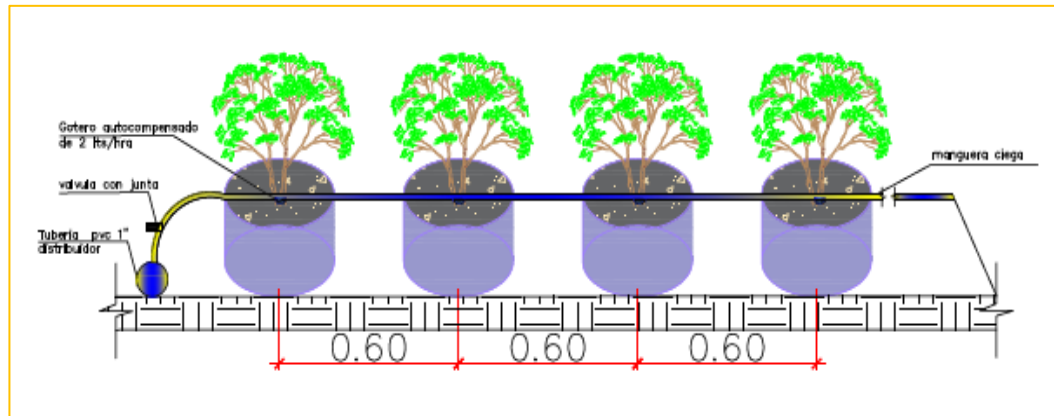


Figura 2.2. Sección transversal de la unidad experimental

2.8 Características del campo experimental

Parcela experimental

Largo	: 13m
Ancho	: 6m
Área	: 78m ²
Perímetro	: 38m
Distanciamiento entre surcos	: 0.50 m
Distanciamiento entre plántulas	: 0.60 m
Número total de plántulas	: 108

2.9 Instalación y conducción del experimento

2.9.1 Construcción de invernadero y riego por goteo

Para la conducción del experimento se construyó invernadero 01 de junio del 2016, con rollizos de 2" de diámetro y con altura de 2.5 m, cubierta costados con arpillera de color blanco y parte superior cubierta con malla rasel de 95% de sombra, la construcción se hizo con la finalidad de dar condiciones apropiadas para el desarrollo adecuado de tomate.

Teniendo en cuenta las características climáticas según la estación meteorológica de INIA, en ella nos reporta desde el mes de abril a noviembre ahí una déficit hídrica, la cual es necesario la instalación de

riego complementario. Se instaló riego por goteo con gotero auto compensado de caudal de 2 lt.hr^{-1} , utilizando tubo de polietileno de alta calidad fabricada especialmente para bajos con racores de mano hidráulico; de diámetro 4 x 6 de código 67227, con cabezal de riego y arco de fertiriego. Así mismo se instaló pluviómetro casero dentro y fuera de invernadero y tanque clase A para medir ETo y ETC.

2.9.2 Preparación del Almacigo

Consistió en la siembra de semillas de tomate en surco corrido, en una caja almaciguera de 40 cm x 50 cm, en cantidad suficiente como para cubrir la totalidad de las unidades experimentales, instalado 15/06/2016, dentro de invernadero construido para la conducción del trabajo.

2.9.3 Abonamiento y trasplante

Previo al trasplante se realizó el abonamiento 19/07/2016, que consistió en aplicar los abonos sintéticos, según los tratamientos establecidos por los diseños de superficie de respuesta (DCCR, DSC, D3J y DFC)

Luego se procedió a realizar el trasplante de las plántulas de tomate del almacigo, dejando una plántula por unidad experimental (maceta), después de 30 días del amacigado. Se trasplantó previo con un riego machacado el día 20/07/2016, luego se aplicó segundo abonamiento a los 40 días después del trasplante (30/08/16) en las macetas de 20 kg.

2.9.4 Conducción del cultivo

Esta etapa se realizó los seis meses en la ejecución del proyecto. Que consiste en control de deshierbo y riego de acuerdo a los requerimientos del cultivo, durante su ciclo; luego se procedió con la cosecha de frutos y evaluación del rendimiento en materia seca de parte área del tomate.

a. Deshierbo

Consistió en eliminar hierbas competidoras de nutrientes, agua y radiación solar a las plántulas de tomate en cada maceta, esta actividad se realiza cada quince días y/o de acuerdo con que densidad lo hace competencia, se inició desde 05 de agosto del 2016, culminado en mes de diciembre del 2016.

b. Poda

La poda es importante en este cultivo, en el presente trabajo se hizo poda de chupones y poda de formación para hacer la retención de crecimiento en caso primero y para airear para evitar ataque de algunas enfermedades.

La poda es una práctica cultural para obtener plantas bien nutridas y equilibradas, a su vez logra que los frutos no queden ocultos entre el follaje manteniendo el cultivo aireado y libre de condensación, evitando la aparición de enfermedades fúngicas como Oidio.

La poda de formación consistió en la eliminación de las hojas inferiores a medida que los frutos de los racimos primarios comienzan a madurar, extendiéndose hasta el término de la cosecha. Esta operación está orientada a favorecer la aireación de la planta, aspecto a tener en cuenta al momento del control de enfermedades como Oidio y Alternaria que afectan tallos y hojas, especialmente cuando el cultivo presenta un follaje muy denso, contribuyendo a su vez en el control de la polilla del tomate (*Tuta absoluta*) y mejorar la maduración de los frutos. Esta actividad se

hizo en crecimiento de tomate y plena floración de 45 días después de trasplante hasta 135 días después días de trasplante.

c. Torturado

Esta actividad consistió colocación de carrizo en cada maceta y amarre con rafia para evitar el tumbado de planta y quiebre de plántula en plena fructificación se hizo ese labor día 28/09/2016.

d. Control fitosanitario

Durante el primer mes se tuvo un ligero ataque de tuta absoluta, el cual se procedió controlar una oportunidad 04/08/2016, para el cual se hizo uso de control ecológico con (ají molido + ajo + un poco de azufre), luego se observó la presencia de Bemisia tabaco comúnmente llamado mosca blanca, la cual se procedió controlar 15/09/2016, se usó Tiametoxan (Actara 25 WG) 250-400 g.ha⁻¹ y Imidacloprid (Confidor 70 WG) 0.21-0.35 kg.ha⁻¹, así mismo se encontró ataque de oídio al inicio de floración, la cual se controló 30/09/2016, con poda de formación y dando aireación y bajando riego dentro del invernadero y uso de fungicida azufrada de manera preventiva.

2.9.5 Cosecha y determinación de rendimiento de fruto y M.S

Consistió en determinar el rendimiento de frutos en cada unidad experimental, para el cual se pesó los frutos cosechados (inicio 20/11/2016 culminando 20/12/2016) a medida que alcanzaban la madurez de cosecha; asimismo se ha extraído la planta completa (20/12/2016), luego se lavó y depositó en bolsas de papel previamente identificadas (28/12/2016) y luego se colocó en estufa (29/12/2016), para proceder a su secado a 70°C, durante 48 horas (hasta peso constante).

2.9.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación se llevó a cabo en condiciones experimentales en ambientes de Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga-Ayacucho a 2760 msnm

Se utilizó registros de rendimiento y peso en materia seca de partes aéreas en fichas de evaluación.

2.10 Variables evaluadas y sus indicadores

Los variables que se evaluó en la investigación son los siguientes:

- Rendimiento de frutos de tomate en g.planta⁻¹ (kg.ha⁻¹).
- Rendimiento de materia seca de la parte aérea del tomate en g/planta (kg.ha⁻¹).

2.11 Análisis estadísticos

Con los resultados evaluados se ha realizado lo siguiente:

- Análisis de variancia: Para determinar el efecto de cada tratamiento sobre el rendimiento del cultivo, es decir la diferencia estadística entre los tratamientos.
- Prueba de Duncan (0.05): Para comparar los promedios de los tratamientos con una significación estadística del 95%.
- Correlación para determinar para similitud entre los cuatro diseños.
- Análisis de regresión para determinar el modelo polinomial de segundo grado (superficie de respuesta) que explica el efecto de las variables en estudio sobre el rendimiento del cultivo:
- $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 - b_{22}X_2^2 - b_{12}X_1 * X_2 + e$

- Análisis del efecto de cada factor, en forma independiente, mediante modelos lineal y cuadrático.
- Para encontrar nivel económico óptimo se hizo las siguientes relaciones:

$$a. \quad \frac{dy}{dx1} = \frac{dN}{dY} \qquad b. \quad \frac{dy}{dx2} = \frac{dP}{dY}$$

Se ha realizado con 04 métodos de superficie de respuesta. Para estos análisis se utilizó el Software SAS 9.4, minitab16, y para los gráficos correspondientes la hoja de cálculo Excel.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Rendimiento de frutos de tomate

3.1.1 Análisis del DCCR

La tabla 3.1., de análisis de varianza (ANVA) muestra alta significación estadística entre los tratamientos, indicando que las diferentes combinaciones de N y P influyeron en el rendimiento en frutos de tomate. El coeficiente de variación 4.25% indica que el experimento se encuentra con alta precisión.

Tabla 3.1. Análisis de varianza para frutos de tomate. DCCR

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamiento	8	349619998.7	43702499.8	441.53	<.0001**
Error	18	1781651.3	98980.6		
Total	26	351401650			

CV 4.25%

Según la prueba de Duncan (tabla 3.2.), el mayor rendimiento (41056 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T4 (307N, 307P), seguido por los tratamientos T8 (180N, 360P) y T9 (180N, 180P), con rendimientos de 37381 kg.ha⁻¹ y 36855 kg.ha⁻¹. El rendimiento más bajo (464.46 kg.ha⁻¹),

se obtuvo con el tratamiento T1 (53N, 53P); apenas superado por los tratamientos T5 (0N, 180P), T3 (53N, 307P) y T2 (307N, 53P) en los que es el nitrógeno está ausente o con un nivel bajo.

Tabla 3.2. Prueba de Duncan para rendimiento de frutos de tomate DCCR

Tratamiento	Promedio	Grupo Duncan
T4 (307N, 307P)	41056	a
T8 (180N, 360P)	37381	b
T9 (180N, 180P)	36855	b
T7 (180N, 0P)	34543	c
T6 (360N, 180P)	34305	c
T2 (307N, 53P)	33044	d
T3 (53N, 307P)	32645	d
T5 (0N, 180P)	30078	e
T1 (53N, 53P)	28584	f

Entre tratamiento con la misma letra, no hay diferencia significativa

Según la prueba de Duncan (tabla 3.2.), el mayor rendimiento (41056 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T4 (307N, 307P), seguido por los tratamientos T8 (180N, 360P) y T9 (180N, 180P), con rendimientos de 37381 kg.ha⁻¹ y 36855 kg.ha⁻¹. El rendimiento más bajo (464.46 kg.ha⁻¹), se obtuvo con el tratamiento T1 (53N, 53P); apenas superado por los tratamientos T5 (0N, 180P), T3 (53N, 307P) y T2 (307N, 53P) en los que es el nitrógeno está ausente o con un nivel bajo.

Tabla 3.3. ANVA de la regresión para rendimiento de frutos de tomate

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Modelo	5	306825762	61365152.4	28.91	<.0001**
X1	1	52861255.14	52861255.1	24.9	<.0001**
X2	1	3721046.94	3721046.94	1.75	0.1997ns
X11	1	49872420.78	49872420.8	23.5	<.0001**
X22	1	2259091.45	2259091.45	1.06	0.314ns
X1X2	1	11709776.33	11709776.3	5.52	0.0287*
Error	21	44575888	2122661.3		
Total	26	351401650			

El análisis de varianza para la regresión (Tabla 3.3.) para estimar la influencia de la fertilización nitrogenada (N) y fosfórica (P), en el rendimiento de frutos de tomate, muestra significación estadística para los

componentes lineales y cuadráticos del nitrógeno, así como para la interacción N x P; no se encontró significación estadística para los componentes lineales y cuadráticos del fósforo.

Tabla 3.4. Coeficientes estimados del modelo polinomial DCCR

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t
T. independiente	26848.3359	1461.992893	18.36	<.0001
X1	60.71797	12.16715	4.99	<.0001
X2	16.10946	12.16715	1.32	0.1997
X11	-0.14783	0.030497	-4.85	<.0001
X22	-0.03146	0.030497	-1.03	0.314
X1X2	0.06125	0.026076	2.35	0.0287

De acuerdo a la tabla 3.4., el modelo polinomial para la influencia de la fertilización nitrogenada (N) y fosfórica (P), en el rendimiento de frutos, sería:

$$Y = 26848.3359 + 60.71797N + 16.10946P - 0.1478N^2 - 0.0315P^2 + 0.06125NP$$

Luego de procesar con Minitab 16 se encontró los niveles que maximizan el rendimiento de frutos de tomate (40155.30 kg.ha⁻¹), con 280 kg(N).ha⁻¹ y 360 kg (P₂O₅).ha⁻¹.

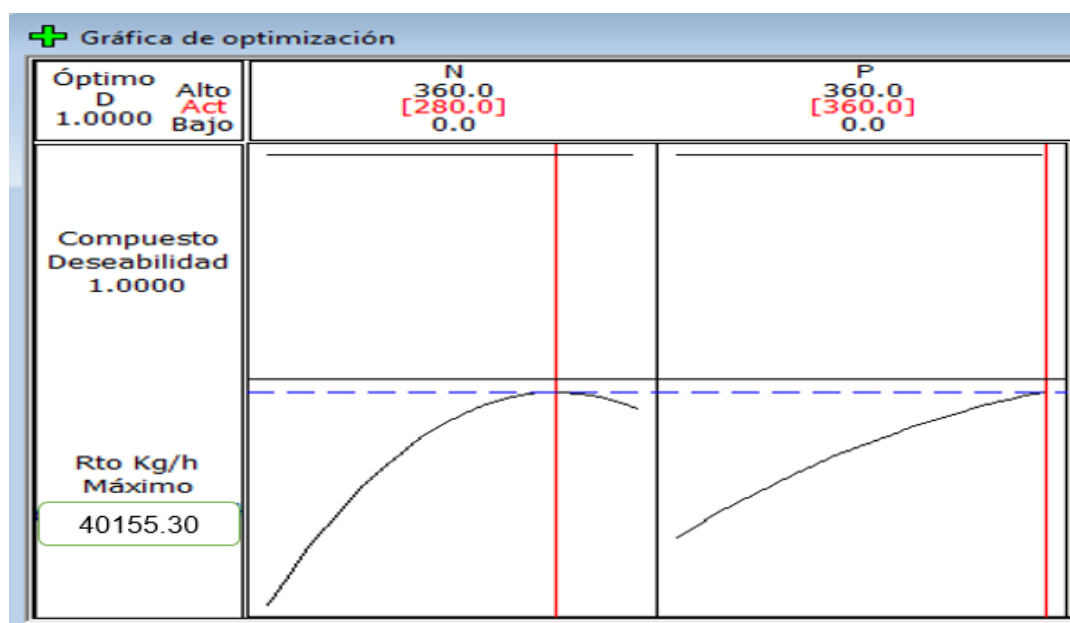


Gráfico 3.1. Niveles de N y P que maximizan el rendimiento de tomate.

En el gráfico 3.1, se observa que el componente nitrógeno obedece a una ecuación cuadrática, indicando que se encontró el nivel que maximiza, mientras el componente fósforo obedece a una ecuación lineal por lo que no se encontró el nivel que maximiza (sigue pidiendo mayor nivel de fósforo); esto puede deberse a problemas de fijación del fósforo en el suelo, ya que el experimento se condujo en un pH 8.24.

A partir de este modelo, se elaboraron los gráficos 3.2. y 3.3., que muestra la superficie de respuesta en términos de peso de frutos de tomate, debido al efecto de la incorporación de niveles crecientes de nitrógeno y fósforo.

Tabla 3.5. Estimación de rendimiento por valor real. DCCR

	0	90	180	270	360
0	26848	31116	32988	32465	29548
90	28043	32807	35175	35149	32728
180	28729	33988	36853	37323	35397
270	28904	34660	38021	38987	37558
360	28571	34822	38679	40141	39208

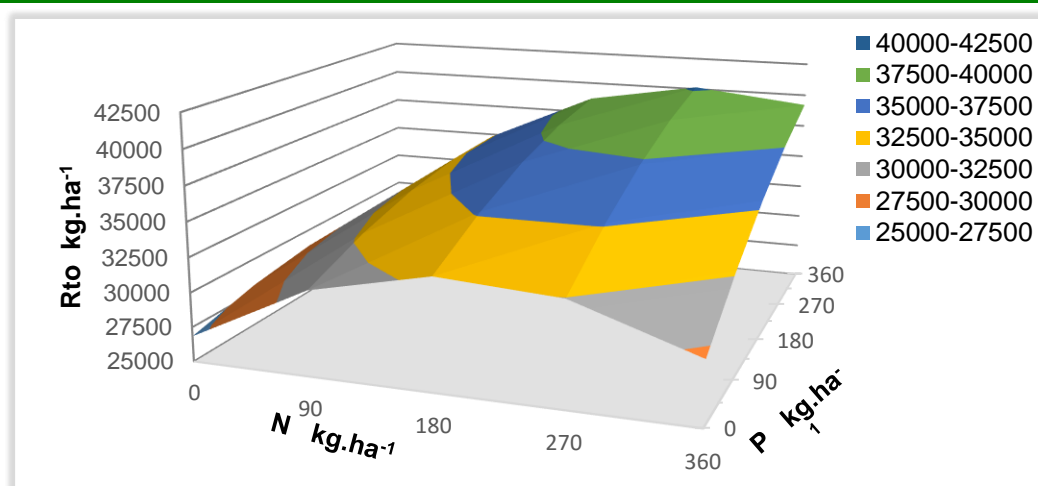


Gráfico 3.2. Superficie de respuesta rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DCCR

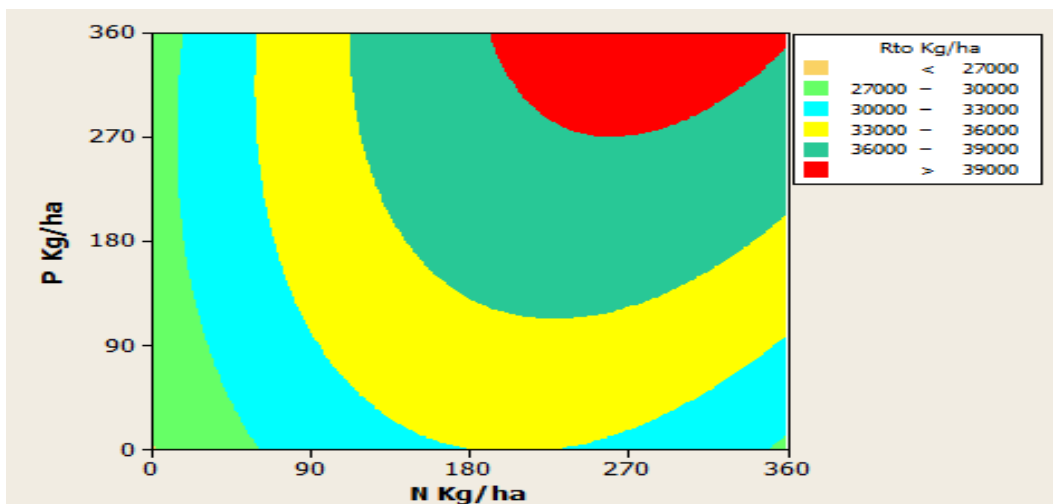


Gráfico 3.3. Superficie de Contorno rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo RCCR

De la tabla 3.5. y los gráficos 3.2. y 3.3., el rendimiento máximo pronosticado de los frutos de tomate es $39208 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y el mínimo es $26848 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tineo, (2014) utilizando niveles de N y P que varían de 0 a $360 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ha logrado producir $46013 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, instalado una planta de tomate en un área de 0.025 m^2 (equivalente a 40000 plantas por hectárea). El presente trabajo se condujo con los mismos niveles utilizados por Tineo, (2014), instalando una planta en un área de 0.30 m^2 (equivalente a 33333 plantas por hectárea) alcanzando rendimientos entre 28584 y $41056 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; estos rendimientos superan al promedio regional ($12940 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) aunque no al promedio nacional ($44294 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), tampoco alcanzan al reportado por Sánchez y otros, (2006) quienes obtuvieron rendimientos entre 50000 y $70000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; los reportados por estos últimos autores fueron en mejores condiciones de manejo del suelo, agua, coberturas vivas y fertilizantes.

3.1.2 Análisis del D3J

En la tabla 3.6., análisis de varianza (ANVA) se observa diferencia estadística significativa entre tratamientos; indicando que las diferentes combinaciones de N y P influyeron en el rendimiento en frutos de tomate. El coeficiente de variación 10.96% indica que el experimento se realizó con alta precisión.

Tabla 3.6. Análisis de varianza para frutos de tomate. D3J

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamiento	12	3512571789	292714316	2086.57	<.0001**
Error	26	3647406	140285		
Total	38	3516219195			

CV 10.96%

Tabla 3.7. Prueba de Duncan para rendimiento de frutos de tomate D3J

Tratamiento	Promedio	Grupo Duncan
T12 (180N, 180P)	45384	a
T8 (360N, 180P)	44408	b
T4 (360N, 360P)	44304	b
T7 (270N, 180P)	41964	c
T11 (180N, 270P)	35813	d
T13 (180N, 180P)	33584	e
T10 (180N, 90P)	33006	e
T3 (0N, 360P)	29438	f
T9 (180N, 0P)	29177	f
T2 (360N, 0P)	24601	g
T6 (90N, 180P)	24144	g
T5 (0N, 180P)	22560	h
T1 (0N, 0P)	13255	i

Entre tratamiento con la misma letra, no hay diferencia significativa

Según la prueba de Duncan (tabla 3.7.), el mayor rendimiento (45384 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T12 (180N, 360P), seguido por los tratamientos T8 (360N, 180P) y T4 (360N, 360P), con rendimientos de 44408 kg.ha⁻¹ y 44304 kg.ha⁻¹. El rendimiento más bajo (13255 kg.ha⁻¹) se obtuvo con el tratamiento T1 (0N, 0P); apenas superado por los

tratamientos T5 (0N, 180P), T6 (90N, 180P) y T2 (360N, 0P) en los que es el nitrógeno está ausente o con un nivel bajo.

Tabla 3.8. ANVA de la regresión para rendimiento de frutos de tomate D3J

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Modelo	5	3098750588	619750118	48.99	<.0001**
X1	1	522268048	522268048	41.28	<.0001**
X2	1	153536044	153536044	12.14	0.0014**
X11	1	212652249	212652249	16.81	0.0003**
X22	1	12584593.4	12584593.4	0.99	0.3258ns
X1X2	1	9295547.6	9295547.6	0.73	0.3975ns
Error	33	417468607	12650564		
Total	38	3516219195			

El análisis de varianza para la regresión (tabla 3.8.), para estimar la influencia de fertilización nitrogenada (N) y fosforada (P), en el rendimiento de frutos de tomate, se encontró significación estadística para los componentes lineales y cuadráticos del nitrógeno; no se encontró significación estadística para los componentes cuadráticos del fósforo; así como para interacción NxP.

Tabla 3.9. Coeficientes estimados del modelo polinomial. D3J

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t
T. independiente	13121.3973	1804.91439	7.27	<.0001
X1	100.95278	15.71182	6.43	<.0001
X2	54.73646	15.71182	3.48	0.0014
X11	-0.15875	0.03872	-4.1	0.0003
X22	-0.03862	0.03872	-1	0.3258
X1X2	0.02716	0.03169	0.86	0.3975

De acuerdo a la tabla 3.9., modelo polinomial para la influencia de la fertilización nitrogenada (N) y fosfórica (P), en el rendimiento de frutos de tomate, sería:

$$Y = 13121.3973 + 100.95278N + 54.73646P - 0.15875N^2 - 0.03862P^2 + 0.02716NP$$

Luego de procesar con Minitab 16 se encontró los niveles que maximizan el rendimiento de frutos de tomate (471301.00 kg.ha⁻¹), con 349.09 kg(N).ha⁻¹ y 360 kg(P₂O₅).ha⁻¹.

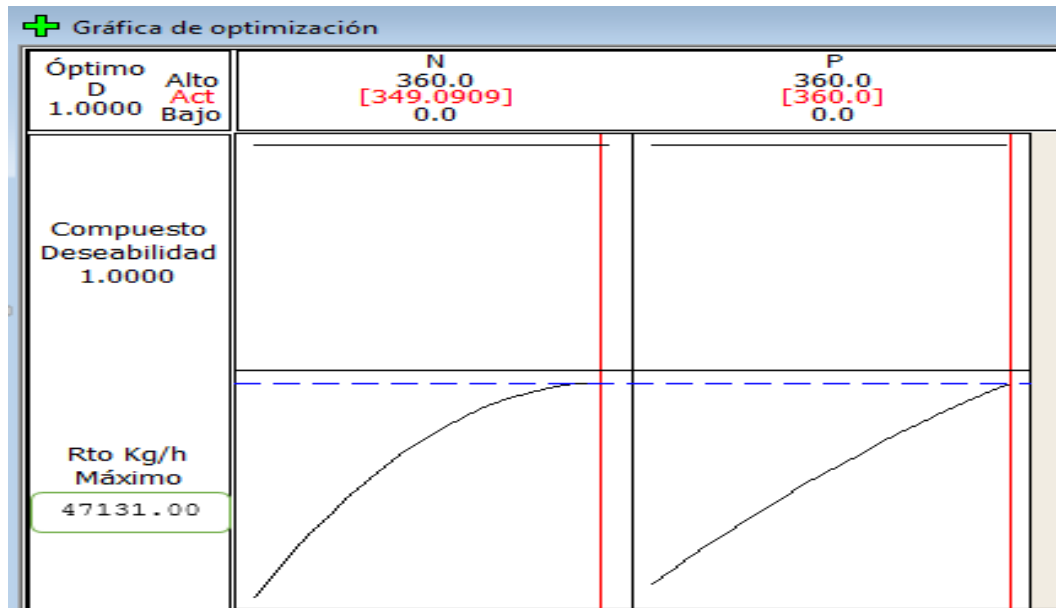


Gráfico 3. 4. Niveles de N y P que maximizan el rendimiento de tomate. D3J

En el gráfico 3.4, se observa que el componente nitrógeno obedece a una ecuación cuadrática, indicando que se encontró nivel que maximiza, mientras el componente fósforo obedece a una ecuación lineal por lo que indica que no se encontró el nivel que maximiza (sigue pidiendo mayor nivel de fósforo); esto puede deberse a problemas de fijación del fósforo en el suelo, ya que el experimento se condujo en un pH 8.24.

A partir de este modelo se elaboraron los gráficos 3.5. y 3.6, que muestran la superficie de respuesta en términos de peso de frutos de tomate, debido al efecto de la incorporación de niveles crecientes de nitrógeno y fósforo.

Tabla 3.10. Estimación de rendimiento por valor real D3J

	0	90	180	270	360
0	13121	20921	26149	28806	28890
90	17735	25755	31203	34079	34384
180	21723	29963	35631	38727	39252
270	25085	33545	39433	42749	43494
360	27821	36501	42609	46146	47110

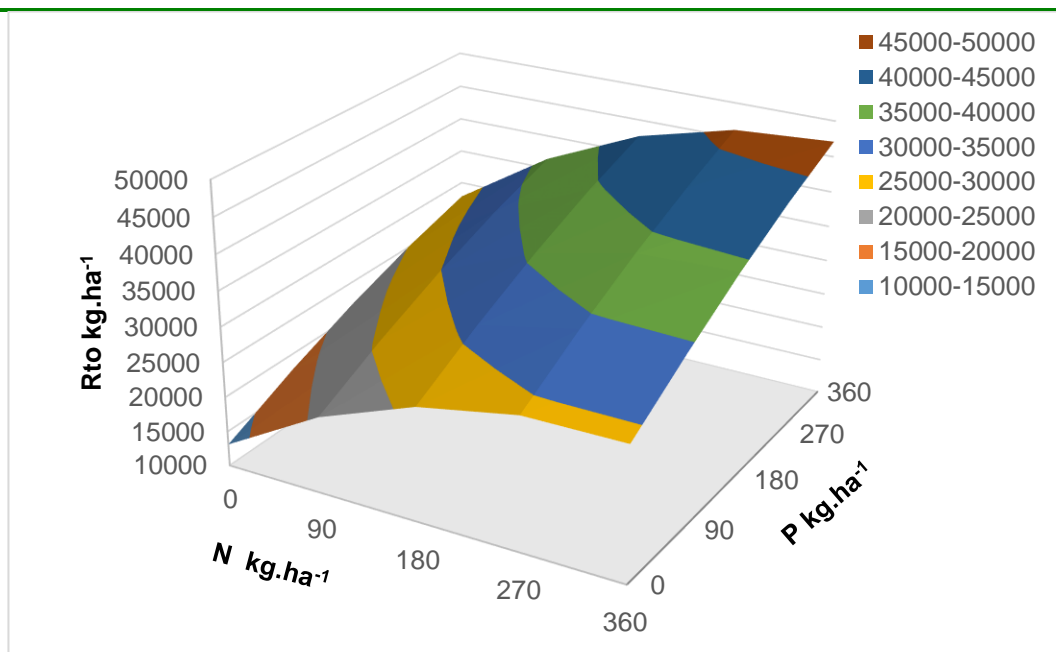


Gráfico 3.5. Superficie de respuesta rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo D3J

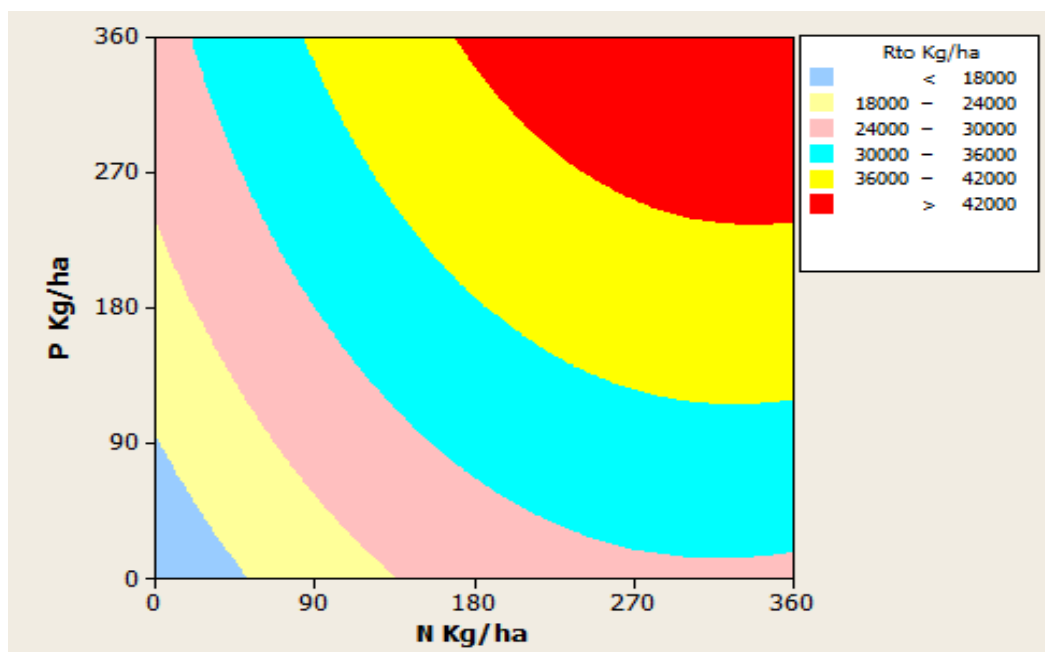


Gráfico 3.6. Superficie de Contorno rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo D3J

De la tabla 3.10. y los gráficos 3.5. y 3.6., el rendimiento máximo pronosticado de los frutos de tomate es 47110 kg.ha⁻¹ y el mínimo es 13121 kg.ha⁻¹.

Tineo, (2014) utilizando niveles de N y P que varían de 0 a 360 kg.ha⁻¹, ha logrado producir 46067 kg.ha⁻¹, instalado una planta de tomate en un área de 0.025 m² (equivalente a 40000 plantas por hectárea). El presente trabajo se condujo con los mismos niveles utilizados por Tineo, (2014), instalando una planta en un área de 0.30 m² (equivalente a 33333 plantas por hectárea) alcanzando rendimientos entre 13255 y 45384 kg.ha⁻¹); estos rendimientos superan al promedio regional (12940 kg.ha⁻¹) y al promedio nacional (44294 kg.ha⁻¹), tampoco alcanzan al reportado por Sánchez y otros, (2006) quienes obtuvieron rendimientos entre 50000 y 70000 kg.ha⁻¹; los reportados por estos últimos autores es en mejores condiciones de manejo del suelo, agua, coberturas vivas y fertilizantes.

3.1.3 Análisis del DSC

La tabla 3.11., de análisis de varianza (ANVA) muestra alta significativa estadística entre los tratamientos; indicando que las diferentes combinaciones de N y P influyeron en el rendimiento en frutos de tomate. El coeficiente de variación 4.40% indica que el experimento se encuentra con alta precisión.

Tabla 3.11. Análisis de varianza para frutos de tomate. DSC

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamiento	6	1993556766	332259461	1320.31	<.0001**
Error	14	3523126	251652		
Total	20	1997079891			

CV 4.40%

Tabla 3.12. Prueba de Duncan para rendimiento de frutos de tomate DSC

Tratamiento	Promedio	Grupo Duncan
T4 (240N, 240P)	43086	a
T7 (120N, 360P)	43050	a
T6 (360N, 120P)	38943	b
T5 (120N, 120P)	37839	c
T3 (0N, 240P)	31582	d
T2 (240N, 0P)	29009	e
T1 (0N, 0P)	13255	f

Entre tratamiento con la misma letra, no hay diferencia significativa

Según la prueba de Duncan (tabla 3.12.), el mayor rendimiento (43086 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T4 (240N, 240P), seguido por los tratamiento T7 (120N, 360P) con una producción de 43050 kg.ha⁻¹. El rendimiento más bajo (13255 kg.ha⁻¹) se obtuvo en el tratamiento T1 (0N, 0P); apenas superado por los tratamientos T2 (240N, 0P), T3 (0N, 240P) y T5 (120N, 120P) en los que es el nitrógeno está ausente o un nivel bajo.

Tabla 3.13. ANVA de la regresión para rendimiento de frutos de tomate DSC

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Modelo	5	1963805790	392761158	177.06	<.0001**
X1	1	369520425	369520425	166.58	<.0001**
X2	1	396313202	396313202	178.66	<.0001**
X11	1	156876662	156876662	70.72	<.0001**
X22	1	120820426	120820426	54.47	<.0001**
X1X2	1	13547312.3	13547312.3	6.11	0.0259*
Error	15	33274101	2218273		
Total	20	1997079891			

El análisis de varianza para la regresión (Tabla 3.13.) indica significación estadística para los componentes lineal y cuadrático del nitrógeno y fósforo; así como para la interacción NxP.

Tabla 3.14. Coeficientes estimados del modelo polinomial. DSC

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t
T. independiente	13254.9786	859.89794	15.41	<.0001
X1	121.61742	9.4228893	12.91	<.0001
X2	125.94932	9.4228893	13.37	<.0001
X11	-0.21745	0.0258574	-8.41	<.0001
X22	-0.19083	0.0258574	-7.38	<.0001
X1X2	-0.07379	0.0298576	-2.47	0.0259

De acuerdo a la (tabla 3.14.), el modelo polinomial para la influencia de la fertilización nitrogenada (N) y fosfórica (P), en el rendimiento de frutos de tomate, sería:

$$Y = 13254.9786 + 121.61742N + 125.94932P - 0.21745N^2 - 0.19083P^2 - 0.07379NP$$

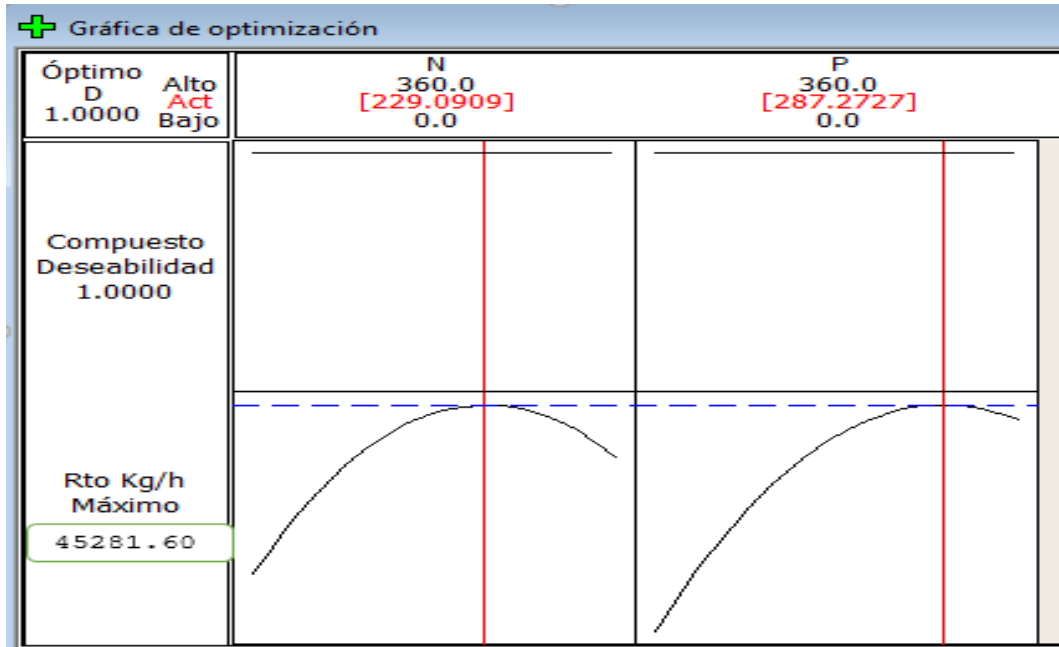


Gráfico 3.7. Niveles de N y P óptimos que maximizan el rendimiento de tomate DSC

Luego de procesar con Minitab 16 se encontró los niveles que maximizan el rendimiento de frutos de tomate ($13255 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), con $229.09 \text{ kg(N)} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $287.27 \text{ kg(P}_2\text{O}_5) \cdot \text{ha}^{-1}$.

En el gráfico 3.7, se observa que los componentes nitrógeno y fósforo obedecen a una ecuación cuadrática, indicando que se encontró niveles que maximizan el rendimiento de frutos de tomate.

A partir de este modelo, se elaboraron los gráficos 3.8. y 3.9., que muestra la superficie de respuesta en términos de peso de frutos de tomate, debido al efecto de la incorporación de niveles crecientes de nitrógeno y fósforo.

Tabla 3.15. Estimación de rendimiento por valor real DSC

	0	90	180	270	360
0	13255	22439	28101	30240	28856
90	23045	31631	36695	38236	36255
180	29743	37732	42198	43141	40562
270	33350	40741	44609	44955	41778
360	33865	40659	43929	43677	39903

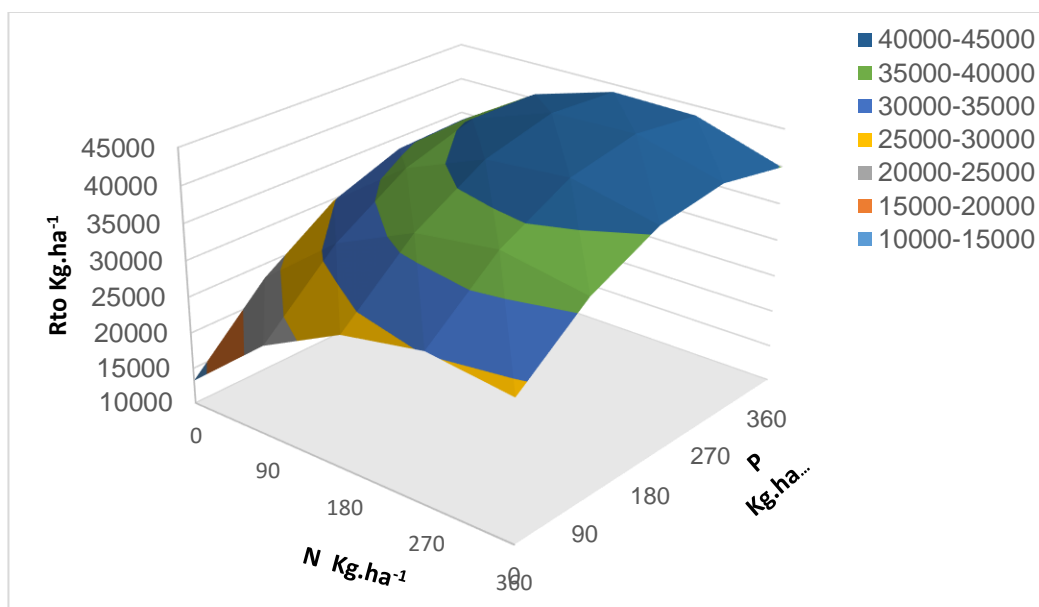


Gráfico 3.8. Superficie de respuesta rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DSC

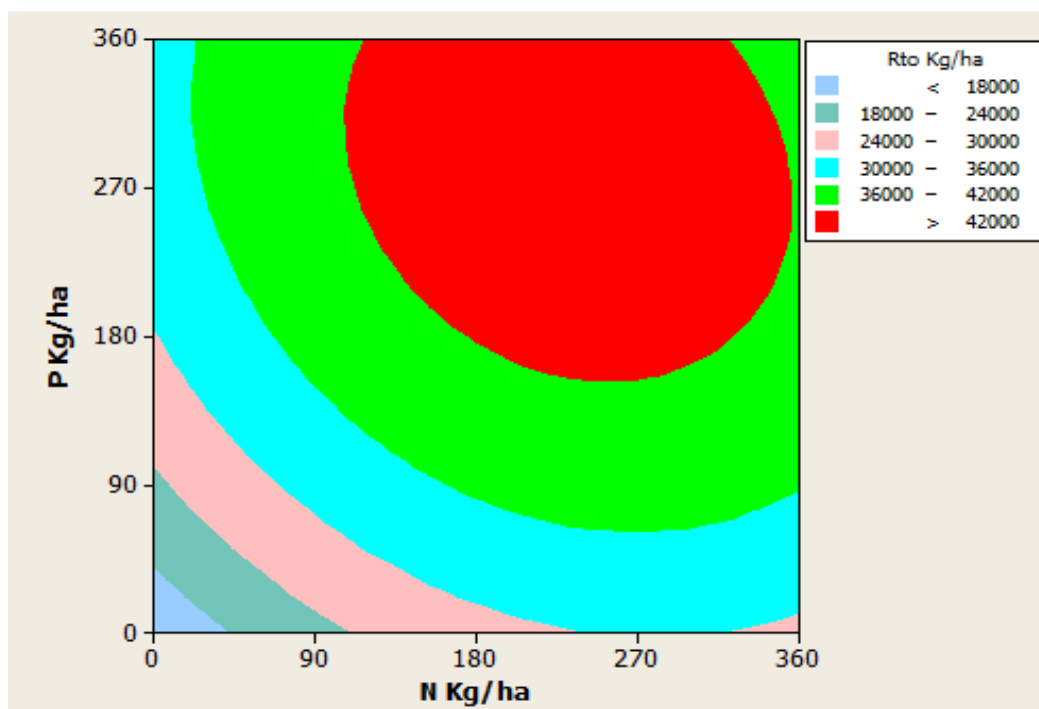


Gráfico 3.9. Superficie de Contorno rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DSC

De la tabla 3.15. y los gráficos 3.8. y 3.9., el rendimiento máximo pronosticado de los frutos de tomate es 39903 kg.ha⁻¹ y el mínimo es 13255 kg.ha⁻¹.

Tineo, (2014) utilizando niveles de N y P que varían de 0 a 360 kg.ha⁻¹, ha logrado producir 43227 kg.ha⁻¹, instalado una planta de tomate en un área de 0.025 m² (equivalente a 40000 plantas por hectárea). El presente trabajo se condujo con los mismos niveles utilizados por Tineo, (2014), instalando una planta en un área de 0.30 m² (equivalente a 33333 plantas por hectárea) alcanzando rendimientos entre 13255 y 43086 kg.ha⁻¹); estos rendimientos superan al promedio regional (12940 kg.ha⁻¹) aunque no al promedio nacional (44294 kg.ha⁻¹), tampoco alcanzan al reportado por Sánchez y otros, (2006) quienes obtuvieron rendimientos entre 50000 y 70000 kg.ha⁻¹; los reportados por estos últimos autores es en mejores condiciones de manejo del suelo, agua, coberturas vivas y fertilizantes.

3.1.4 Análisis de DFC

En la tabla 3.16., análisis de varianza (ANVA) se observa diferencia estadística entre los tratamientos; indica que las diferentes combinaciones de N y P influyeron en el rendimiento en frutos de tomate. El coeficiente de variación 10.06% indica que el experimento se encuentra con alta precisión.

Tabla 3.16. Análisis de varianza para frutos de tomate. DFC

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamiento	15	5464101466	364273431	1280.51	<.0001 **
Error	32	9103196	284475		
Total	47	5473204662			

CV 10.06%

Tabla 3.17. Prueba de Duncan para rendimiento de frutos de tomate DFC

Tratamiento	Promedio	Grupo Duncan
T16 (360N, 360P)	52270	a
T15 (360N, 240P)	44333	b
T12 (240N, 360P)	44194	b
T11 (240N, 240P)	41234	c
T7 (120N, 240P)	39145	d
T14 (360N, 120P)	35597	e
T8 (120N, 360P)	34707	f
T6 (120N, 120P)	29045	g
T10 (240N, 120P)	28604	g
T13 (360N, 0P)	27458	h
T9 (240N, 0P)	26372	i
T3 (240N, 0P)	26060	i
T2 (120N, 0P)	23032	j
T5 (120N, 0P)	19060	k
T4 (360N, 0P)	16051	l
T1 (0N, 0P)	13255	m

Entre tratamiento con la misma letra, no hay diferencia significativa

Según la prueba de Duncan (tabla 3.17.), el mayor rendimiento (52270 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T16 (360N, 360P), seguida por los tratamientos T15 (360N, 240P) y T9 (240N, 360P), con rendimientos de 44333 kg.ha⁻¹, 44194 kg.ha⁻¹. El rendimiento (13255 kg.ha⁻¹) más bajo se obtuvo con el tratamiento T1 (0N, 0P); apenas superado por los tratamientos T4 (0N, 360P), T5 (120N, 0P) y T2 (0N, 120P) en los que es el nitrógeno está ausente o con un nivel bajo.

Tabla 3.18. ANVA de la regresión para rendimiento de frutos de tomate DFC

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Modelo	5	5057261334	1011452267	102.13	<.0001**
X1	1	256367057	256367057	25.89	<.0001**
X2	1	300878118	300878118	30.38	<.0001**
X11	1	110765290	110765290	11.18	0.0017**
X22	1	212735468	212735468	21.48	<.0001**
X1X2	1	377434033	377434033	38.11	<.0001**
Error	42	415943328	9903413		
Total	47	5473204662			

El análisis de varianza para la regresión (Tabla 3.18.) para estimar la influencia de la fertilización nitrogenada (N) y fosfórica (P), en el

rendimiento de frutos de tomate, se encontró significación estadística para los componentes lineal y cuadrático del nitrógeno y fósforo, así como para la interacción N x P.

Tabla 3.19. Coeficientes estimados del modelo polinomial. DFC

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t
T. independiente	14700.7858	1424.85072	10.32	<.0001
X1	64.56727	12.690354	5.09	<.0001
X2	69.94821	12.690354	5.51	<.0001
X11	-0.10549	0.031543	-3.34	0.0017
X22	-0.1462	0.031543	-4.63	<.0001
X1X2	0.15579	0.025235	6.17	<.0001

De acuerdo a la tabla 3.19., modelo polinomial para la influencia de la fertilización nitrogenada (N) y fosfórica (P), en el rendimiento de frutos de tomate, sería:

$$Y = 14700.7858 + 64.5673N + 69.94821P - 0.10549N^2 - 0.1462P^2 + 0.15579NP$$

Luego de procesar con Minitab 16 se encontró los niveles que maximizan el rendimiento de frutos de tomate (50697.40 kg.ha⁻¹), con 360 kg(N).ha⁻¹ y 360 kg(P₂O₅).ha⁻¹.

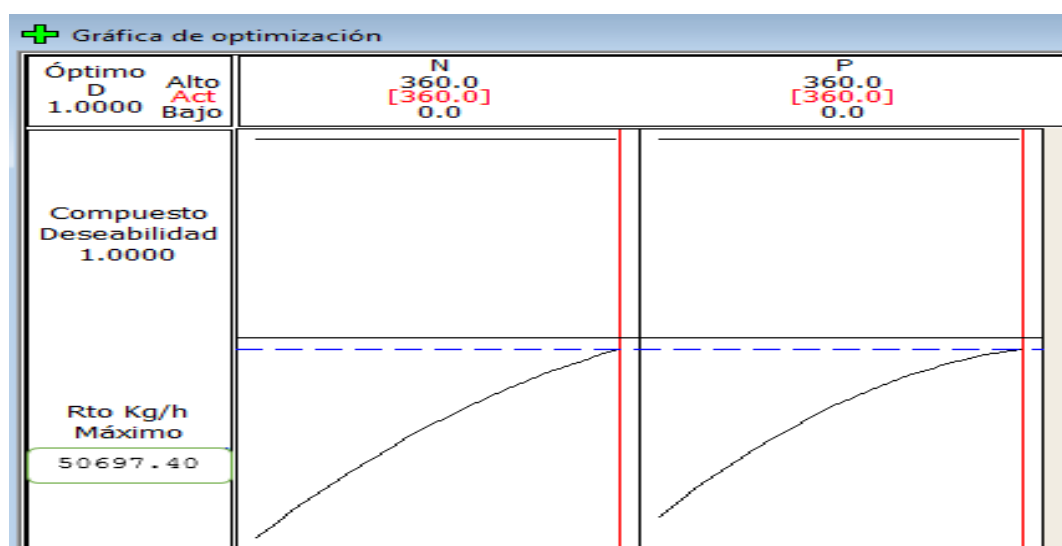


Gráfico 3. 10. Niveles de N y P que maximizan el rendimiento de tomate DFC

Tabla 3.20. Estimación de rendimiento por valor real DFC

	0	90	180	270	360
0	14701	19657	22905	24444	24273
90	19812	26030	30540	33341	34432
180	22555	30035	35806	39869	42222
270	22929	31671	38704	44029	47644
360	20935	30939	39234	45820	50698

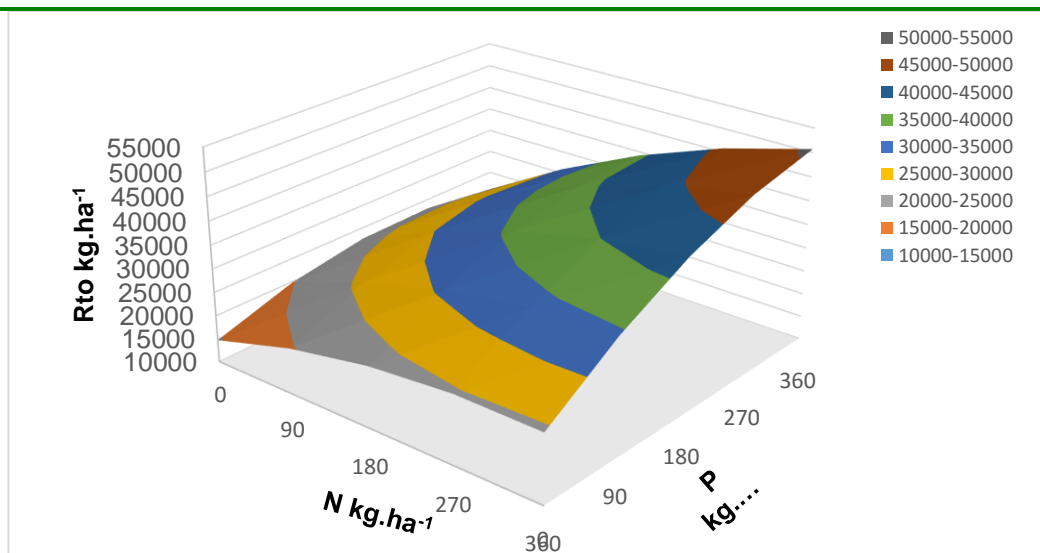


Gráfico 3.11. Superficie de respuesta rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DFC

En el gráfico 3.10, se observa que los componentes nitrógeno y fósforo obedecen a una ecuación lineal que indica que no se encontró los niveles que maximiza (sigue pidiendo mayor nivel de fósforo); esto puede deberse a problemas de fijación del fósforo en el suelo, ya que el experimento se condujo en un pH 8.24. A partir de este modelo, se elaboró los gráficos 3.11. y 3.12., que muestra la superficie de respuesta en términos de peso de frutos de tomate, debido al efecto de la incorporación de niveles crecientes de nitrógeno y fósforo.

De la tabla 3.20. y los gráficos 3.11. y 3.12., el rendimiento máximo pronosticado de los frutos de tomate es 14701 kg.ha⁻¹ y el mínimo es 14701 kg.ha⁻¹.

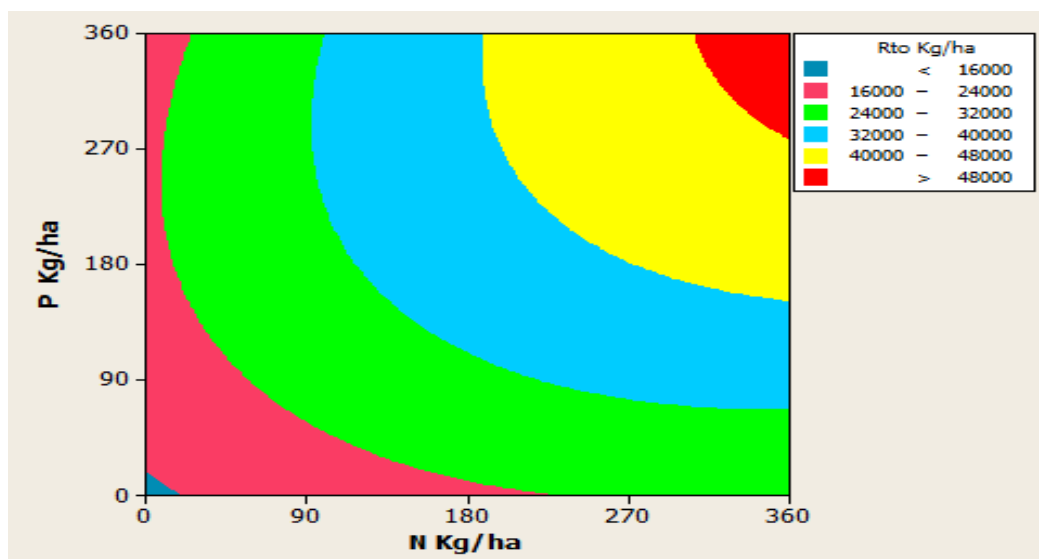


Gráfico 3.12. Superficie de Contorno rendimiento de fruto de tomate con nitrógeno, fósforo DFC

Tineo, (2014) utilizando niveles de N y P que varían de 0 a 360 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ha logrado producir 46013 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, instalado una planta de tomate en un área de 0.025 m^2 (equivalente a 40000 plantas por hectárea). El presente trabajo se condujo con los mismos niveles utilizados por Tineo, (2014), instalando una planta en un área de 0.30 m^2 (equivalente a 33333 plantas por hectárea) alcanzando rendimientos entre 13255 y 52270 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; estos rendimientos superan al promedio regional (12940 $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y al promedio nacional (44294 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), tampoco alcanzan al reportado por Sánchez y otros, (2006) quienes obtuvieron rendimientos entre 50000 y 70000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; los reportados por estos últimos autores es en mejores condiciones de manejo del suelo, agua, coberturas vivas y fertilizantes.

3.1.5 Comparación de los diseños de superficie en base al rendimiento de frutos de tomate

3.1.5.1 Diferencia total de rendimientos estimados en base a los modelos

Se hace necesario ver la compatibilidad de los cuatro diseños (Diseño Central Compuesto Rotable: DCCR, Diseño 03 de Julio: D3J, Diseño San

Cristóbal: DSC, Factorial Completo: DFC); se encontró mejor grado de similitud, entre el diseño factorial completo con el Diseño 03 de Julio como se observa en los gráficos 3.13, 3.14, en ausencia de nitrógeno y fósforo; así como en los gráficos (4.1 al 4.10) del anexo 4.

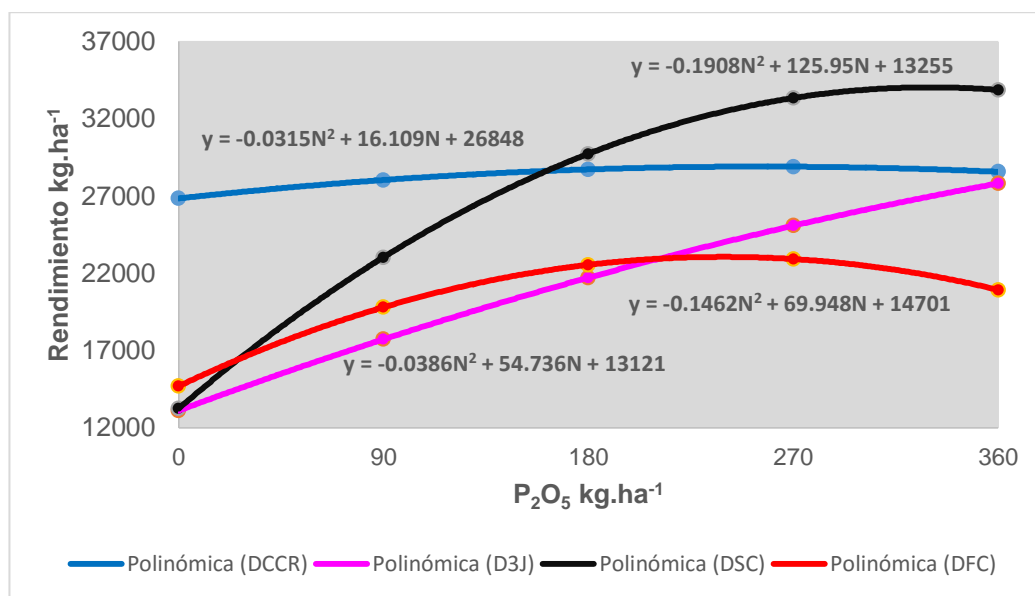


Gráfico 3.13. Efecto de P en rendimiento de tomate (en ausencia de N)

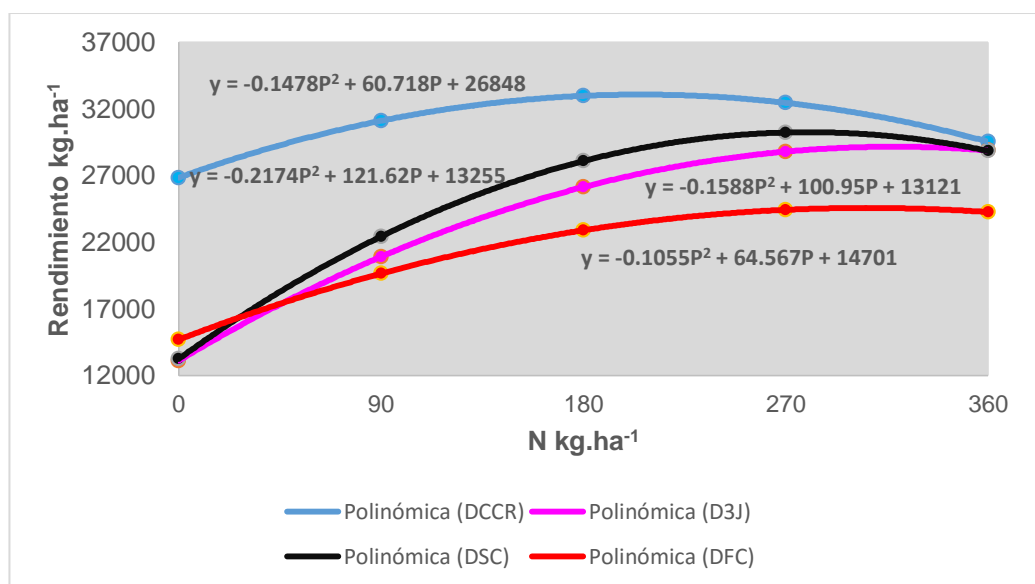


Gráfico 3.14. Efecto de N en rendimiento de tomate (en ausencia de P)

Se midió la similitud en base a 25 puntos estimados por los modelos de los cuatro diseños de superficie, observando mayor acercamiento del

Diseño 03 de Julio al Factorial Completo. La variación del D3J respecto al DFC es $17605.71 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que la variación del DCCR y DSC respecto al DFC es 3.15 – 5.47 veces mayor que el D3J.

Se midió la similitud en base a 16 puntos estimados por los modelos de los cuatro diseños de superficie, observando mayor acercamiento del Diseño 03 de Julio al Factorial Completo. La variación del D3J respecto al DFC es $3220.75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que la variación del DCCR y DSC respecto al DFC es 15.17 – 19.58 veces mayor que el D3J.

Tineo, (2014), estudió el comportamiento del tomate (a nivel de invernadero) por influencia de NPK, utilizando tres diseños de superficie de respuesta (Diseño San Cristóbal, Diseño Compuesto Central Rotable y Diseño 03 de Julio); encontró que existe mejor grado de similitud entre los diseños DCCR y D3J, principalmente para el caso de N y P.

Como era de esperar, los modelos matemáticos no son los mismos para los cuatro diseños empleados; sin embargo, hay algún grado de correspondencia entre los mismos, la misma que se manifiesta principalmente en los niveles medios de ambos factores (N y P).

Montgomery, (2004), que el ajuste y análisis de superficies de respuesta se facilita en gran medida con la elección apropiada del diseño experimental. Cuando se selecciona un diseño de superficie de respuesta, es necesario considerar algunas características deseables. Debe considerarse que el DSC y DFC sólo utiliza 4 niveles (0, 1, 2 y 3) en cada factor, mientras que los otros diseños utilizan 5 niveles en cada factor (-2, -1, 0, 1 y 2 en el D3J; -1.414, -1, 0, 1 y 1.414 en el DCCR). Esta

característica hace que el número de tratamientos en cada uno de estos diseños sea diferente (7 en el DSC, 16 en el DFC, 9 en el DCCR y 13 en el D3J).

3.1.5.2 Análisis de correlación simple entre los valores estimados en base a los modelos

Tabla 3.21. Matriz de coeficientes de correlación simple entre de los diseños con 16 puntos

Coeficientes de correlación, N = 16 Prob > r suponiendo H0: Rho=0				
	DCCR	D3J	DSC	DFC
DCCR	1.000000	0.91539 <.0001	0.88704 <.0001	0.89549 <.0001
D3J		1.000000	0.93566 <.0001	0.9695 <.0001
DSC			1.000000	0.89915 <.0001
DFC				1.000000

En la tabla 3.21, se midió la similitud en base a 16 puntos estimados por los modelos de los cuatro diseños de superficie, se encontró mayor acercamiento del Diseño 03 de Julio al Factorial Completo, con una probabilidad 0.9695, seguida por DSC, así mismo se observa menor similitud respecto a DFC es el DCCR con probabilidad 0.89549

Tabla 3.22. Matriz de coeficientes de correlación simple entre de los diseños con 25 puntos

Coeficientes de correlación, N = 25 Prob > r suponiendo H0: Rho=0				
	DCCR	D3J	DSC	DFC
DCCR	1.00000	0.92509 <.0001	0.85679 <.0001	0.91784 <.0001
D3J		1.00000	0.91047 <.0001	0.96041 <.0001
DSC			1.00000	0.84918 <.0001
DFC				1.00000

En la tabla 3.22, se midió la similitud en base a 25 puntos estimados por los modelos de los cuatro diseños de superficie, se encontró mayor acercamiento del Diseño 03 de Julio al Factorial Completo, con una probabilidad 0.96041, seguida por DCCR, así mismo se observa menor similitud respecto a DFC es el DSC con probabilidad 0.84918.

3.2 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (kg.ha⁻¹)

3.2.1 Análisis del DCCR

La tabla 3.21., de análisis de variancia (ANVA) muestra alta significación entre los tratamientos, indicando que las diferentes combinaciones de N y P influyeron en el rendimiento en materia seca. El coeficiente de variación 4.51% indica que el experimento se encuentra con alta precisión.

Tabla 3.23. Análisis de variancia para materia seca DCCR

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamiento	8	406474.8144	50809.3518	166.74	<.0001
Error	18	5485.0421	304.7246		
Total	26	411959.8565			

CV 4.51%

Tabla 3.24. Prueba de Duncan para rendimiento de materia seca

Tratamiento	Promedio	Grupo Duncan
T4 (307N, 307P)	849.77	a
T2 (307N, 53P)	798.10	b
T6 (360N, 180P)	773.07	b
T7 (180N, 0P)	742.89	c
T8 (180N, 360P)	674.05	d
T9 (180N, 180P)	641.40	e
T1 (53N, 53P)	622.51	e
T5 (0N, 180P)	509.61	f
T3 (53N, 307P)	464.46	g

Entre tratamiento con la misma letra, no hay diferencia significativa

Según la prueba de Duncan (tabla 3.22.), el mayor rendimiento (849.77 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T4 (307N, 307P), seguida por los tratamientos T2 (307N, 307P) y T6 (360N, 180P), con rendimientos 798.10 kg.ha⁻¹, 773.07 kg.ha⁻¹. El rendimiento más bajo (464.46 kg.ha⁻¹)

se obtuvo con el tratamiento T3 (53N, 53P), apenas superado por los tratamientos T5 (0N, 180P), T1 (53N, 53P) y T9 (180N, 180P) en los que es el nitrógeno está ausente o con un nivel bajo.

Tineo, (2014) utilizando niveles de N y P que varían de 0 a 360 kg.ha⁻¹, ha logrado producir 1620 kg.ha⁻¹, instalado una planta de tomate en un área de 0.025 m² (equivalente a 40000 plantas por hectárea). El presente trabajo se condujo con los mismos niveles utilizados por Tineo, (2014), instalando una planta en un área de 0.30 m² (equivalente a 33333 plantas por hectárea) alcanzando rendimientos entre 464.46 y 849.77 kg.ha⁻¹.

3.2.2 Análisis del D3J

Tabla 3.25. Análisis de varianza para materia seca D3J

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamiento	12	231740.856	19311.738	323.15	<.0001
Error	26	1553.792	59.7612		
Total	38	233294.648			

CV 8.77%

La tabla 3.23., de análisis de varianza (ANVA) muestra alta significación estadística entre los tratamientos; indicando que las diferentes combinaciones de N y P influyeron en el rendimiento en materia seca. El coeficiente de variación 8.77% indica que el experimento se encuentra con alta precisión.

Según la prueba de Duncan (tabla 3.24.), el mayor rendimiento (795.59 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T4 (360N, 360P), seguida por los tratamientos T5 (0N, 180P) y T8 (360N, 180P), con rendimiento de 771.11 kg.ha⁻¹, 767.12 kg.ha⁻¹. El rendimiento más bajo (511.94 kg.ha⁻¹) se obtuvo con el tratamiento T1 (0N, 0P); apenas superado por los

tratamientos T6 (0N, 90P), T10 (180N, 90P) y T1 (180N, 270P) en los que es el nitrógeno está ausente o con un nivel bajo.

Tabla 3.26. Prueba de Duncan para rendimiento de materia seca

Tratamiento	Promedio	Grupo Duncan
T4 (360N, 360P)	795.59	a
T5 (0N, 180P)	771.11	b
T8 (360N, 180P)	767.12	b
T12 (180N, 360P)	736.75	c
T2 (360N, 0P)	709.26	d
T9 (180N, 0P)	704.23	d
T3 (0N, 360P)	673.80	e
T13 (180N, 180P)	652.20	f
T7 (270N, 180P)	651.04	f
T11 (180N, 270P)	639.57	f
T10 (180N, 90P)	607.29	g
T6 (90N, 180P)	599.07	g
T1 (0N, 0P)	511.94	h

Entre tratamiento con la misma letra, no hay diferencia significativa

Tineo, (2014) utilizando niveles de N y P que varían de 0 a 360 kg.ha⁻¹, ha logrado producir 1619 kg.ha⁻¹, instalado una planta de tomate en un área de 0.025 m² (equivalente a 40000 plantas por hectárea). El presente trabajo se condujo con los mismos niveles utilizados por Tineo, (2014), instalando una planta en un área de 0.30 m² (equivalente a 33333 plantas por hectárea) alcanzando rendimientos entre 511.94 y 795.59 kg.ha⁻¹.

3.2.3 Análisis del DSC

La tabla 3.25., de análisis de varianza (ANVA) muestra alta significación estadística entre los tratamientos, indicando que las diferentes combinaciones de N y P influyeron en el rendimiento en materia seca. El coeficiente de variación 3.92% indica que el experimento se encuentra con alta precisión.

Tabla 3.27. Análisis de varianza para materia seca DSC

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamiento	6	53467.195	8911.19916	268.31	<.0001
Error	14	464.97472	33.21248		
Total	20	53932.1697			

CV 3.92%

Tabla 3.28. Prueba de Duncan para rendimiento de materia seca

Tratamiento	Promedio	Grupo Duncan
T4 (240N, 240P)	685.335	a
T6 (360N, 120P)	635.76	b
T7 (120N, 360P)	618.458	c
T3 (0N, 240P)	608.396	c
T2 (240N, 0P)	589.069	d
T5 (120N, 120P)	568.085	e
T1 (0N, 0P)	511.944	f

Entre tratamiento con la misma letra, no hay diferencia significativa

Según la prueba de Duncan (tabla 3.26.), el mayor rendimiento (685.34 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T4 (240N, 240P, seguida por los tratamiento T6 (307N, 307P) y T7 (360N, 180P), con rendimientos de 635.76 kg.ha⁻¹, 618.458 kg.ha⁻¹. El rendimiento más bajo (511.944 kg.ha⁻¹) se obtuvo con el tratamiento T1 (0N, 0P); apenas superado por los tratamientos T5 (0N, 120P) y T2 (240N, 0P) en los que es el nitrógeno está ausente o con un nivel bajo.

Tineo, (2014) utilizando niveles de N y P que varían de 0 a 360 kg.ha⁻¹, ha logrado producir 1269 kg.ha⁻¹, instalado una planta de tomate en un área de 0.025 m² (equivalente a 40000 plantas por hectárea). El presente trabajo se condujo con los mismos niveles utilizados por Tineo, (2014), instalando una planta en un área de 0.30 m² (equivalente a 33333 plantas por hectárea) alcanzando rendimientos entre 511.94 y 685.34 kg.ha⁻¹.

3.2.4 Análisis del DFC

La tabla 3.27., de análisis de varianza (ANVA) muestra alta significación estadística entre los tratamientos, indicando que las diferentes combinaciones de N y P influyeron en el rendimiento en materia seca. El coeficiente de variación 3.57% indica que el experimento se encuentra con alta precisión.

Tabla 3.29. Análisis de varianza para materia seca DFC

Fuente	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamiento	15	224926.991	14995.1327	337.07	<.0001
Error	32	1423.5715	44.4866		
Total	47	226350.562			

CV 3.57%

Tabla 3.30. Prueba de Duncan para rendimiento de materia seca

Tratamiento	Promedio	Grupo Duncan
T16 (360N, 360P)	781.294	a
T15 (360N, 240P)	724.97	b
T12 (240N, 360P)	691.838	c
T11 (240N, 240P)	676.5	d
T14 (360N, 120P)	658.523	e
T8 (120N, 360P)	654.78	e
T7 (120N, 240P)	624.593	f
T10 (240N, 120P)	621.157	f
T6 (120N, 120P)	596.247	g
T4 (0N, 360P)	594.039	g
T9 (240N, 0P)	579.804	h
T3 (0N, 240P)	578.332	h
T13 (360N, 0P)	576.736	h
T2 (0N, 120P)	556.735	i
T5 (120N, 0P)	549.74	i
T1 (0N, 0P)	511.944	j

Entre tratamiento con la misma letra, no hay diferencia significativa

Según la prueba de Duncan (tabla 3.28.), el mayor rendimiento (781.294 kg.ha⁻¹) corresponde al tratamiento T16 (360N, 360P), seguida por los tratamientos T15 (360N, 240P) y T12 (240N, 360P), con rendimientos de 724.97 kg.ha⁻¹, 691.838 kg.ha⁻¹. El rendimiento más bajo (511.944 kg.ha⁻¹) se obtuvo con el tratamiento T1 (0N, 0P); apenas superado por los

tratamientos T5 (120N, 0P), T2 (0N, 120P) y T13 (0N, 360P) en los que es el nitrógeno está ausente o con un nivel bajo.

Tineo, (2014) utilizando niveles de N y P que varían de 0 a 360 kg.ha⁻¹, alcanzó los rendimientos siguientes: 1620 kg.ha⁻¹ (DCCR); 1619 kg.ha⁻¹ (D3J), 1269 kg.ha⁻¹ (DSC), instalando una planta de tomate en un área de 0.025 m² (equivalente a 40000 plantas por hectárea). En el presente trabajo se condujo con los mismos niveles utilizados por Tineo, (2014), instalando una planta por 0.30 m² de área (equivalente a 33333 plantas por hectárea) alcanzando rendimientos entre 511.94 y 781.294 kg.ha⁻¹.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Los resultados encontrados en el presente estudio permiten arribar a las siguientes conclusiones:

1. El nitrógeno (urea) tiene mayor influencia que los niveles de fósforo (superfosfato triple), en el rendimiento de frutos de tomate
2. Los modelos que predicen los rendimientos de tomate por la aplicación de N y P son:

- Para el DCCR:

$$Y = 26848.3359 + 60.71797*N + 16.10946*P_2O_5 - 0.14783*N^2 - 0.03146*P_2O_5^2 + 0.06125N*P_2O_5$$

- Para el D3J:

$$Y = 13121.3973 + 100.95278*N + 54.73646*P_2O_5 - 0.15875*N^2 - 0.03862*P_2O_5^2 + 0.02716*N*P_2O_5$$

- Para el DSC:

$$Y = 13254.9786 + 121.61742*N + 125.94932*P_2O_5 - 0.21745*N^2 -$$

$$0.19083 \cdot P_2O_5^2 - 0.07379 \cdot N \cdot P_2O_5$$

- Para el DFC:

$$Y = 14700.7858 + 64.56727 \cdot N + 69.94821 \cdot P_2O_5 - 0.10549 \cdot N^2 - 0.1462 \cdot P_2O_5^2 + 0.15579 \cdot N \cdot P_2O_5$$

3. A partir de estos modelos, los niveles que maximizan el rendimiento de tomate, son:

- Para el DCCR:

$$N = 280. \text{ kg.ha}^{-1}, P_2O_5 = 360 \text{ kg.ha}^{-1}, \text{ Rdto} = 40155.30 \text{ kg.ha}^{-1}.$$

- Para el D3J:

$$N = 349.09 \text{ kg.ha}^{-1}, P_2O_5 = 360 \text{ kg.ha}^{-1}, \text{ Rdto} = 47130.36 \text{ kg.ha}^{-1}.$$

- Para el DSC:

$$N = 229.09 \text{ kg.ha}^{-1}, P_2O_5 = 287.27 \text{ kg.ha}^{-1}, \text{ Rdto} = 45281.28 \text{ kg.ha}^{-1}.$$

- Para el DFC:

$$N = 360 \text{ kg.ha}^{-1}, P_2O_5 = 360 \text{ kg.ha}^{-1}, \text{ Rdto} = 50697.73 \text{ kg.ha}^{-1}.$$

4. Se encontró mayor grado de similitud en las estimaciones de los rendimientos de fruto de tomate, obtenidos con los modelos correspondientes al DFC y D3J.

4.2 Recomendaciones

1. Para estudios que buscan determinar niveles de nitrógeno y fósforo que maximizan el rendimiento de tomate, utilizando diseños de superficie de respuesta, se recomienda utilizar el D3J.
2. Para tener resultados concluyentes sería necesario repetir el ensayo en otras condiciones (campo libre y diferentes agroecologías), con niveles de nitrógeno y fósforo sintético con niveles mayores a los utilizados en el presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antonio, J. (1991). Efecto de la fertilización Inorgánica y Orgánica en el rendimiento del tomate (*Lycopersicum sculentum*) y extracción de N, P, K, Ca y Mg, por este cultivo, en condiciones de Invernadero y Bajo Riego por Goteo. Ayacucho: Tesis Ingeniero Rural, UNSCH.

Bartolini, R. (1989). El tomate (2^{da} edición) Madrid- España: Mundi presa
California fertilizer asociation, (1995). Manual de fertilizantes para horticultura; nutrientes esenciales para las plantas. . México: M guzmán. Camp. DF.

Cárdenas, F. (1979). Respuesta de tomate (*Lycopersicum esculentum mill*) a la fertilización nitrogenada y fosforada en diferentes distancias de siembra, en el valle de río Portoviejo – Tesis ingeniería agronómica, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.

CATIE, (1990). Guía para manejo de integrado de plagas del cultivo de tomate – informe técnico N° 151, Turrialba – Costa Rica.

Crespo, M.; Lujan, R.; y Lino, B. (2010). Guía para el manejo del cultivo de tomate en invernadero. Cochabamba. PROINPA.

Domínguez, V. (1996). Fertilización. (2^{da} edición) Barcelona, Es. Mundi. presa

Godoy, N. (2013). El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. Argentina.

Escobar, H. y Lee, R. (2001). Manual de producción de tomate bajo invernadero. (2^{da} edición) Editorial Jaime Melo (E), de fundación universidad de Bogotá Jorge Toledo Lozano.

Lara, E. (2001). Manejo integrado de enfermedades en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum mill*) en la parroquia Pedro J. Montero de cantón Guayaquil. Tesis Ingeniera Agronómica, UAE. Ecuador

FAO, (2002). Los fertilizantes y su uso: Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. (4^{ta} edición) Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, FAO. Roma.

Hayward, H. (1953). Estructura de las Plantas Útiles. Buenos Aires: Editorial Acme S.A.

Holwerda y H. (2006). Guía de manejo: Nutrición vegetal de especialidad Tomate. SQM, S.A.

Ibar, L. y Juscafresca, B. (1987). Tomate pimiento berenjenas cultivos y comercialización. Barcelona. Biblioteca agrícola Aedos

Ibáñez, R. y Aguirre, G. (1983). Fertilidad de suelos: Manual de Prácticas. Programa Académico de Agronomía, UNSCH. Ayacucho.

Jaramillo, J.; Rodríguez, V.; Gusman, M. y Zapata, M. (2007). Producción de tomate bajo condiciones protegidas. Corpoica mana gobernación de Antioquia, FAO

Velarde, J. (2007). Riego y drenaje. (1^{ra} edición) Universidad Estatal a Distancia, San José Costa Rica: editorial Carlos Fco.

José J. y Cardenas, F. (1984). Abonamiento nitrogenado, fosfórico y densidad poblacional para el cultivo de tomate en el valle del río Portoviejo. INIA, Ecuador: Edic. Impresiones INIAP.

Martínez, A. (1988). Diseños experimentales, métodos y elementos de teoría. (1^{ra} edición). México: Editorial Trillas, S.A. de C.V

Maroto, J. (1986). Horticultura herbácea especial. Madrid: Ediciones Mundi prensa.

Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. (2^{da} edición) México: Editorial Limusa S.A.

Pardavé, C. (2004). Cultivo y comercialización de la papa. Colección Agro negocios. Lima: Editora Palomino E.I.R.L.

Rodríguez, R. (1984). Cultivo Moderno del Tomate. Madrid, España: Ediciones Mundi Prensa.

Robayo, E. (2004). Proceso de fertilización en el cultivo de tomate en invernadero (2^{da} edic.) Ecuador: Editorial Abya yala.

Tineo, A. (2002). Diseños de Superficies de Respuesta, para determinar niveles de N-P-K que maximizan la producción. Informe final de investigación 2002. IIFCA. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho.

Tineo, A. (2014). Superficies de Respuesta: El Diseño 03 de Julio (Aplicaciones agronómicas). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho.

Tisdale, S., Nelson, W. (1987). Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. México: Edit. UTEHA.

Villón, V. (2007). Determinación de dosis óptimas de nitrógeno y potasio en cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) y pimiento (*Capsicum annum*) en rio verde cantón santa Elena. Tesis ingeniería agronómica, USPE. Guayas, Ecuador.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Costo de producción de tomate por una hectárea

ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
COSTO DIRECTO				
1. ALMACIGADO				155
Mano de obra				
Preparado de sustrato y siembra	Jor.	2	35	70
Materiales e insumos				
Caja almaciguera	unid.	1	35	35
Semilla	kg	0.25	200	50
2. TRANSPLANTE				1385
Mano de obra				
Preparado de sustrato y trasplante	Jor.	4	35	140
Materiales e insumos				
Trasplantador	unid.	2	35	70
baldes de 20kg	unid.	200	5	1000
Recipiente	unid.	2	5	10
Urea	kg	50	1.8	90
Súper fosfato triple	kg	50	1.5	75
3. MANEJO AGRONOMICO				110
Mano de obra				
Desh., abto, riego y toma de datos	Jor.	2	35	70
Materiales e insumos				
Regadora y/o recipientes	unid.	1	5	5
Podadora	unid.	1	35	35
4. COSECHA				185
Mano de obra				
Recojo de fruto y parte aérea para m. s	Jor.	3	35	105
Materiales				
Recipiente para fruto	unid.	2	20	40
Recipiente para parte aérea	unid.	2	20	40
5. GASTOS GENERALES				183.5
Imprevistos (10% gastos de cultivo)				183.5
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS				2018.5
COSTO INDIRECTO				0
COSTO TOTAL DE PRODUCCION				2018.5

Anexo 2. Rendimientos de frutos de tomate (g.maceta⁻¹)

Para DCCR

Tratamiento	X1	X2	I	II	III
T1	-1	-1	868.86	850.10	853.59
T2	1	-1	994.00	990.24	989.74
T3	-1	1	986.03	964.50	987.52
T4	1	1	1230.26	1230.90	1233.94
T5	-1.414	0	900.06	901.76	905.24
T6	1.414	0	1020.85	1042.96	1023.68
T7	0	-1.414	1024.14	1057.86	1026.84
T8	0	1.414	1124.43	1118.68	1121.18
T9	0	0	1107.25	1101.12	1108.60

Para D3J

Tratamiento	X1	X2	I	II	III
T1	-2	-2	394.26	390.52	408.18
T2	2	-2	743.86	733.56	736.65
T3	-2	2	872.98	884.49	891.96
T4	2	2	1328.64	1334.22	1324.53
T5	-2	0	675.62	679.44	675.32
T6	-1	0	721.94	726.27	724.74
T7	1	0	1241.68	1267.36	1267.76
T8	2	0	1336.62	1311.77	1348.34
T9	0	-2	879.40	869.14	877.42
T10	0	-1	988.64	990.74	991.16
T11	0	1	1076.88	1066.72	1079.58
T12	0	2	1389.22	1335.14	1360.20
T13	0	0	1009.58	1010.56	1002.42

Para DSC

Tratamiento	X1	X2	I	II	III
T1	0	0	394.26	390.52	408.18
T2	2	0	885.56	861.38	863.9
T3	0	2	954.36	944.8	943.24
T4	2	2	1263.21	1328.32	1286.24
T5	1	1	1137.48	1146.04	1122.06
T6	3	1	1161.74	1172.94	1170.26
T7	1	3	1294.86	1292.15	1287.48

Para DFC

Tratamiento	X1	X2	I	II	III
T1	0	0	394.26	390.52	408.18
T2	0	1	694.58	696.80	681.50
T3	0	2	783.08	785.14	777.16
T4	0	3	461.82	490.46	492.28
T5	1	0	567.30	575.51	572.58
T6	1	1	871.68	873.58	868.80
T7	1	2	1172.36	1179.88	1170.85
T8	1	3	1037.38	1066.50	1019.74
T9	2	0	798.41	778.14	796.98
T10	2	1	870.10	870.16	834.14
T11	2	2	1247.46	1212.43	1251.20
T12	2	3	1313.89	1357.52	1306.06
T13	3	0	821.38	832.90	816.94
T14	3	1	1054.77	1060.87	1088.12
T15	3	2	1306.38	1327.50	1356.14
T16	3	3	1556.46	1585.51	1562.40

Anexo 3. Gráficos comparativos (DCCR, DSC, D3J, DFC) de la influencia del N o P en el rendimiento de tomate

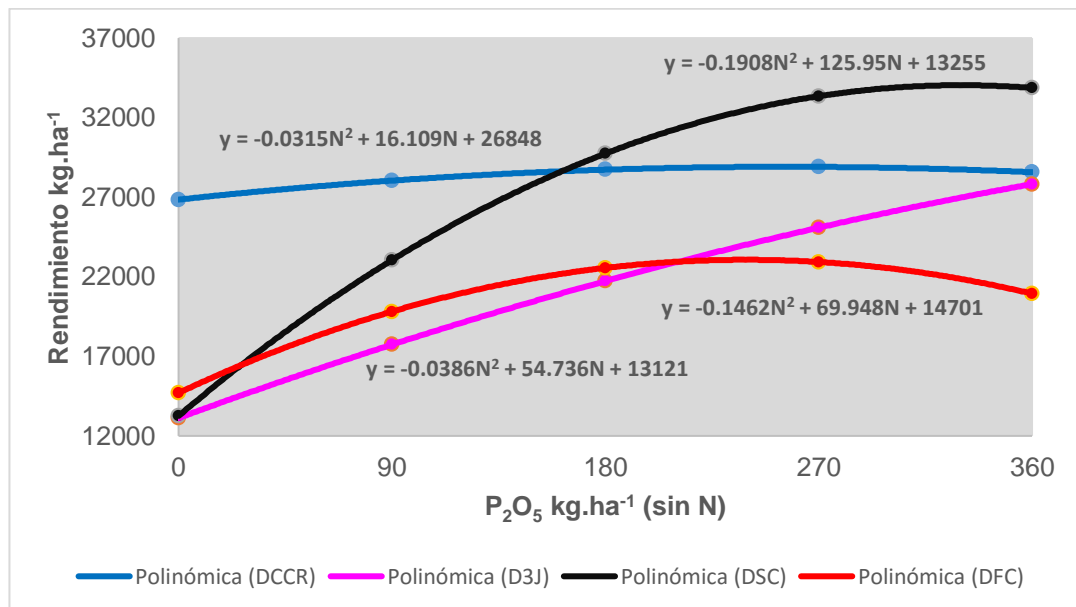


Gráfico 4.1. Respuesta del tomate al abonamiento con P_2O_5 (en ausencia de N).

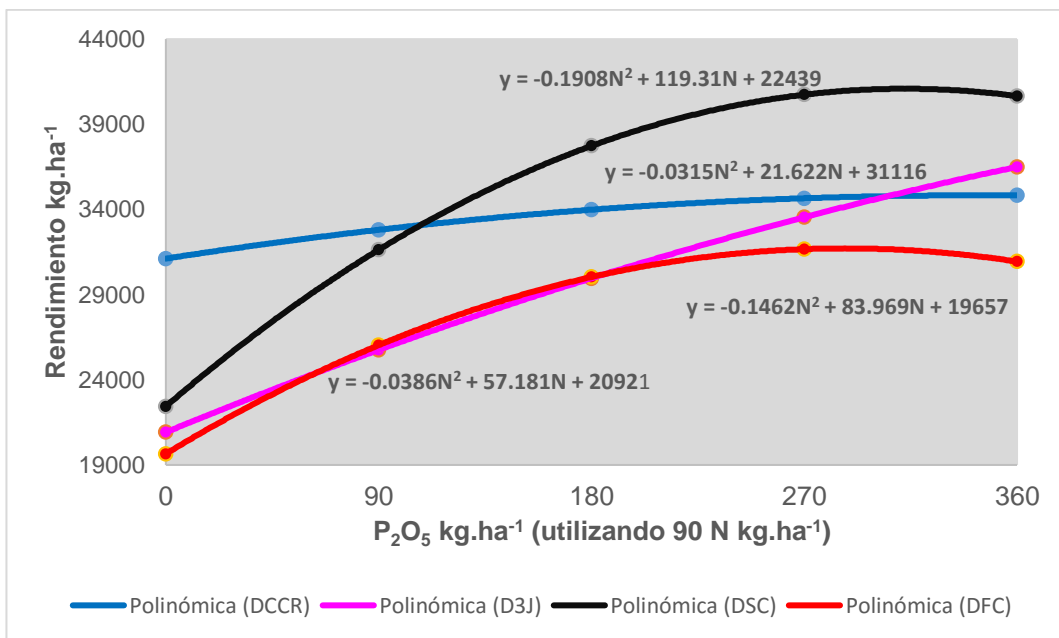


Gráfico 4.2. Respuesta del tomate al abonamiento con P₂O₅ (utilizando 90 kg N.ha⁻¹).

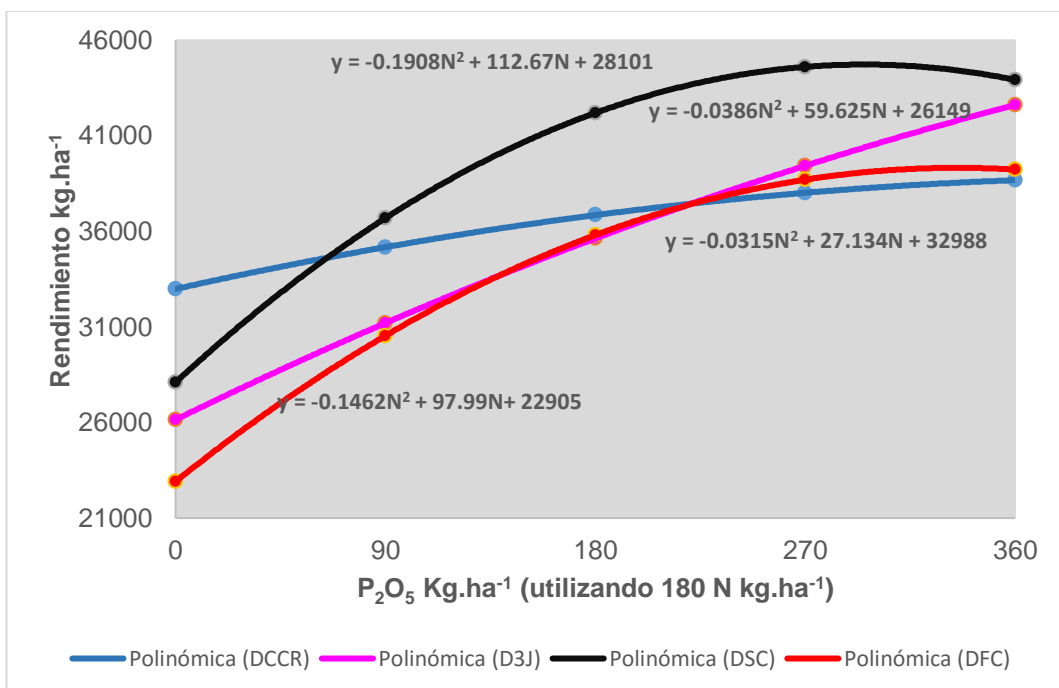


Gráfico 4.3. Respuesta del tomate al abonamiento con P₂O₅ (utilizando 180 kg N.ha⁻¹).

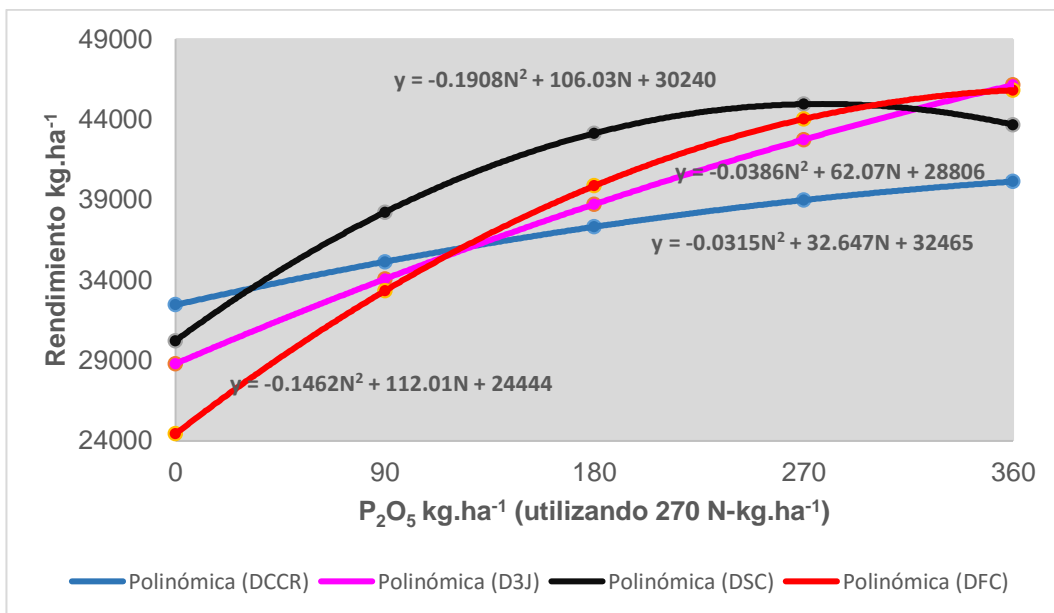


Gráfico 4.4. Respuesta del tomate al abonamiento con P₂O₅ (utilizando 270 kg N.ha⁻¹).

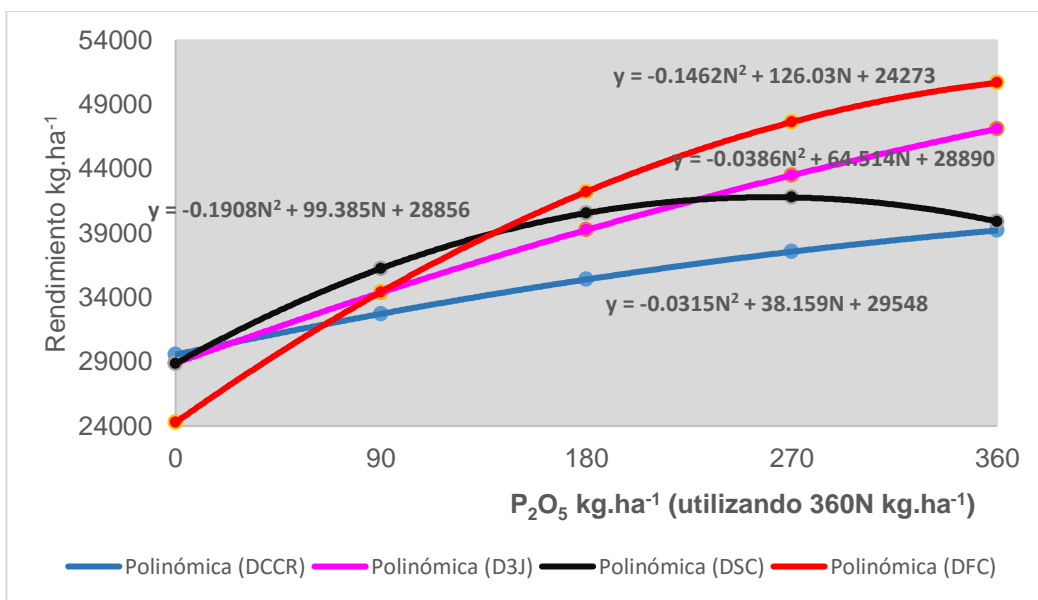


Gráfico 4.5. Respuesta del tomate al abonamiento con P₂O₅ (utilizando 360 kg N.ha⁻¹).

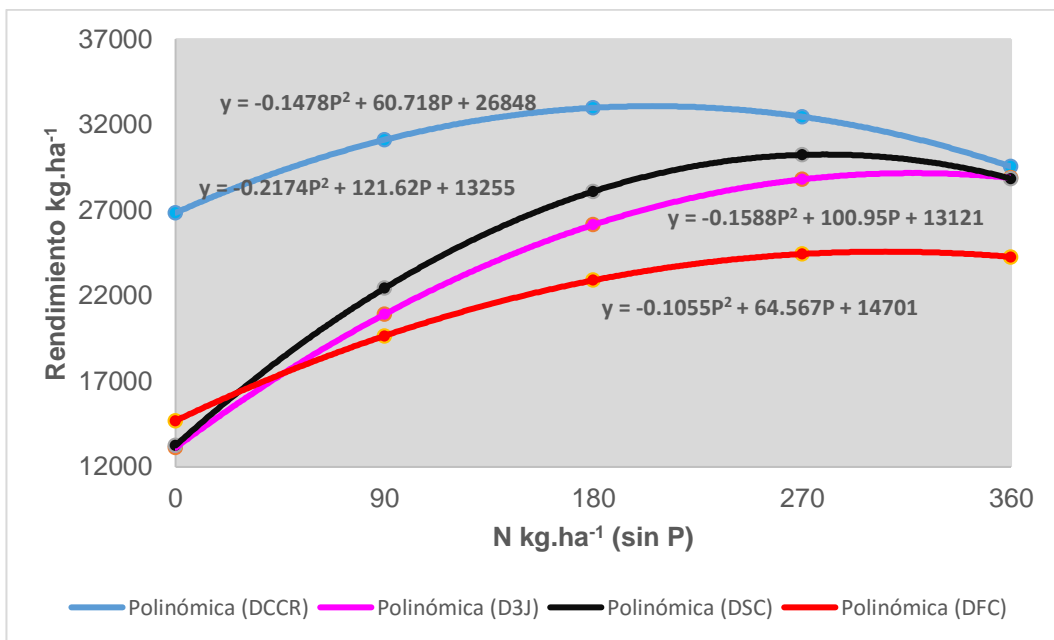


Gráfico 4.6. Respuesta del tomate al abonamiento con N (en ausencia de P).

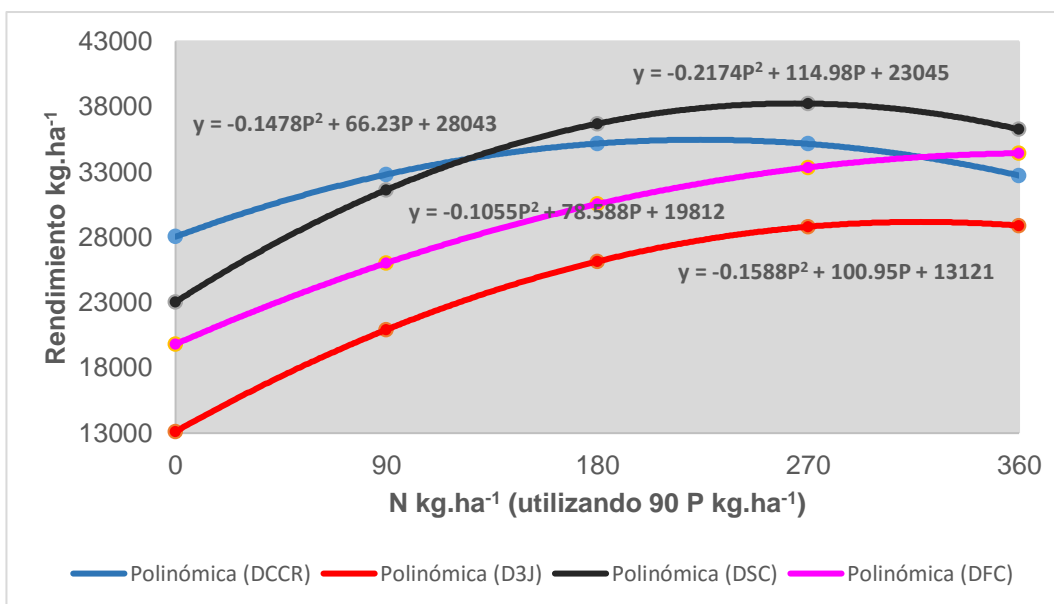


Gráfico 4.7. Respuesta del tomate al abonamiento con N (utilizando 90 kg P.ha⁻¹).

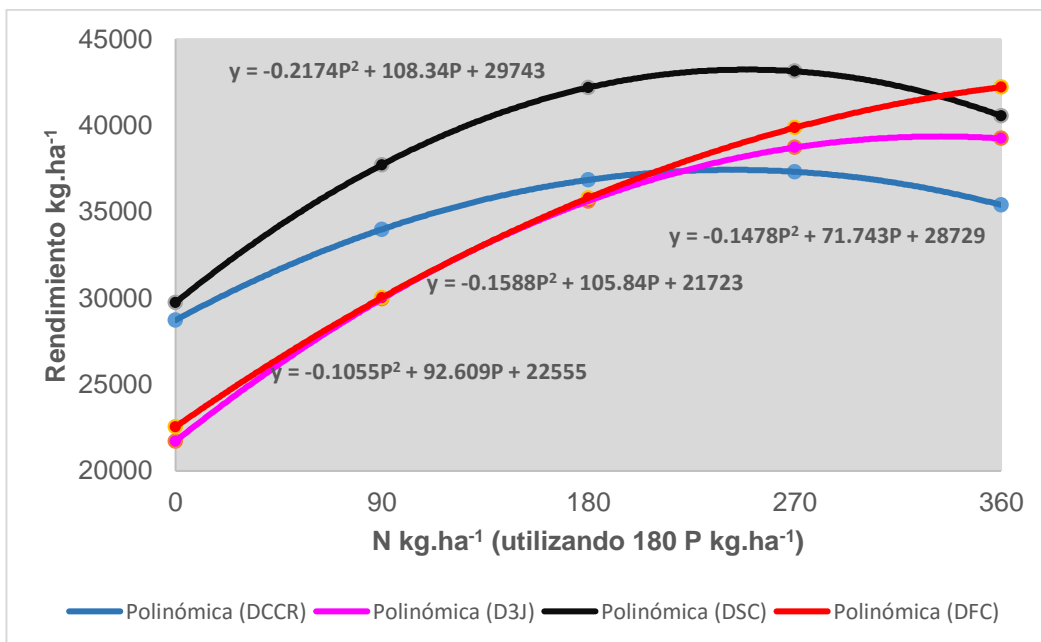


Gráfico 4.8. Respuesta del tomate al abonamiento con N (utilizando 180 kg P.ha⁻¹).

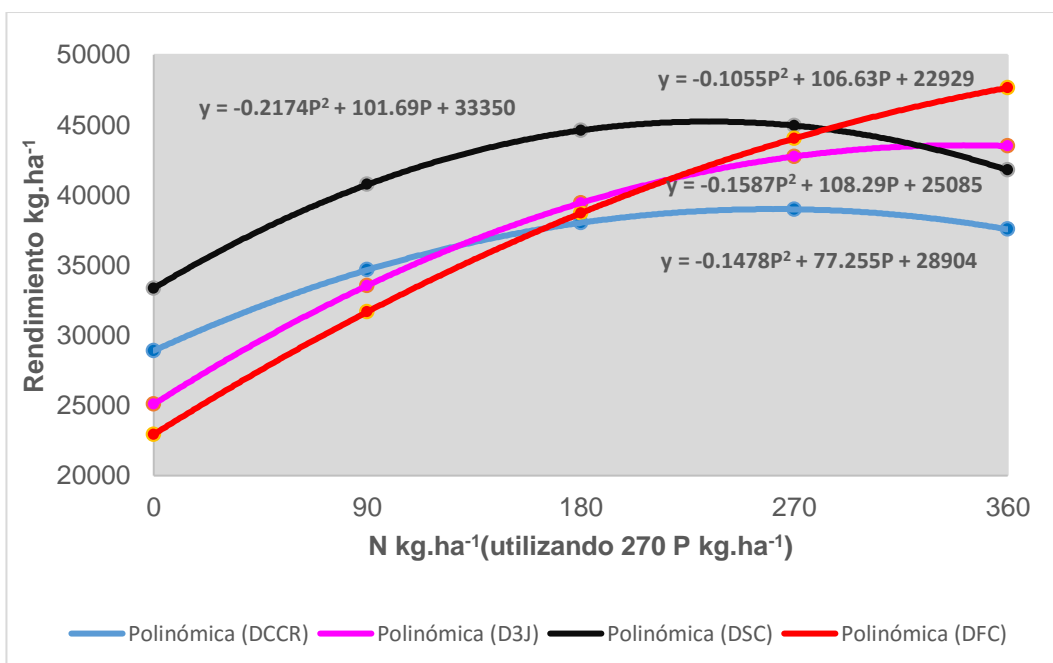


Gráfico 4.9. Respuesta del tomate al abonamiento con N (utilizando 270 kg P.ha⁻¹).

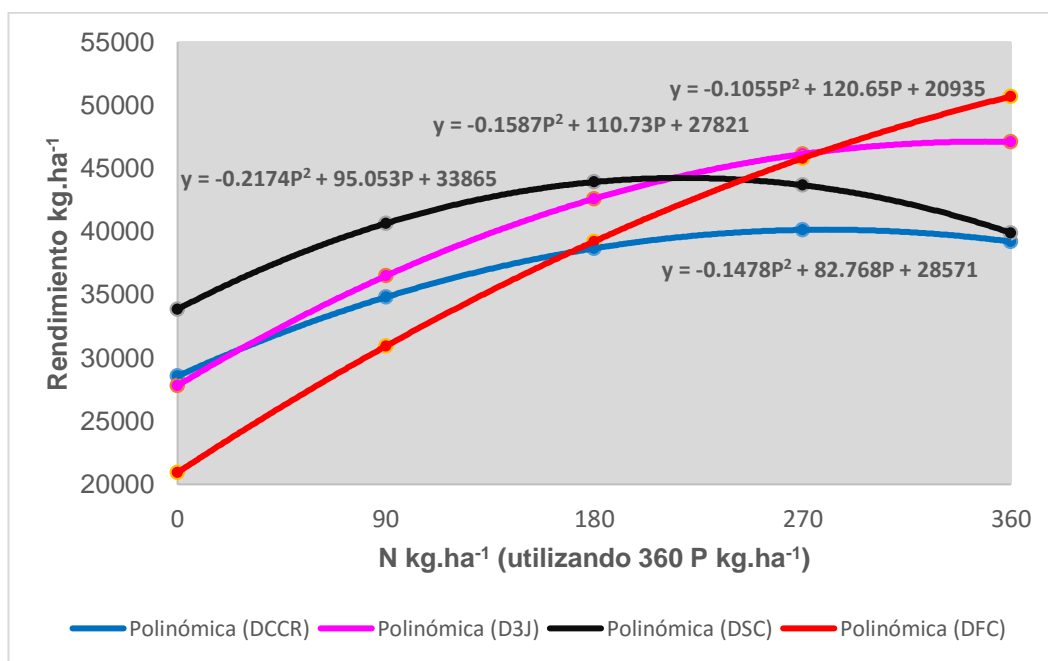


Gráfico 4.10. Respuesta del tomate al abonamiento con N (utilizando 360 kg P.ha⁻¹).

**Anexo 4. Rendimientos de materia seca de plantas de tomate (g.maceta⁻¹)
Para DCCR**

Tratamiento	X1	X2	I	II	III
1	-1	-1	18.83	18.49	18.71
2	1	-1	23.32	24.08	24.43
3	-1	1	14.30	13.64	13.86
4	1	1	25.06	24.96	26.46
5	-1.414	0	15.56	15.03	15.27
6	1.414	0	23.18	22.33	24.06
7	0	-1.414	22.02	22.85	21.99
8	0	1.414	20.77	19.87	20.02
9	0	0	19.32	19.16	19.25

Para D3J

Tratamiento	X1	X2	I	II	III
1	-2	-2	15.41	15.26	15.41
2	2	-2	21.36	21.19	21.28
3	-2	2	20.38	19.76	20.51
4	2	2	23.99	23.88	23.73
5	-2	0	23.48	22.81	23.12
6	-1	0	18.10	18.16	17.66
7	1	0	19.57	19.35	19.67
8	2	0	23.40	23.07	22.57
9	0	-2	21.01	21.29	21.08
10	0	-1	18.32	18.10	18.23
11	0	1	19.26	19.38	18.92
12	0	2	22.05	22.07	22.19
13	0	0	19.40	19.66	19.64

Para DSC

Tratamiento	X1	X2	I	II	III
1	0	0	15.41	15.26	15.41
2	2	0	17.60	17.68	17.74
3	0	2	18.26	18.23	18.27
4	2	2	20.45	20.70	20.53
5	1	1	17.06	17.01	17.06
6	3	1	19.24	18.87	19.11
7	1	3	18.34	19.00	18.32

Para DFC

Tratamiento	X1	X2	I	II	III
1	0	0	15.41	15.26	15.41
2	0	1	16.67	16.70	16.74
3	0	2	17.28	17.53	17.24
4	0	3	17.84	17.84	17.79
5	1	0	16.50	16.53	16.44
6	1	1	17.70	17.69	18.27
7	1	2	19.04	18.54	18.63
8	1	3	19.77	19.43	19.74
9	2	0	17.27	17.26	17.65
10	2	1	18.65	18.80	18.45
11	2	2	20.37	20.42	20.10
12	2	3	20.70	20.92	20.65
13	3	0	17.14	17.66	17.11
14	3	1	19.60	19.69	19.97
15	3	2	22.08	21.59	21.58
16	3	3	23.68	23.40	23.24

Anexo 5. Fotografía de proceso construcción de tinglado y conducción del experimento



Fotografía 6.1. Selección se unidad experimental



Fotografía 6.2. Conducción almacigo de tomate



Fotografía 6.3. Colocación de balde y distanciamiento



Fotografía 6.4. Distribución de tratamiento y abonamiento correspondiente



Fotografía 6.5. Distanciamiento riego machaque y apertura trasplante propiamente dicha



Fotografía 6.6. Campo experimental trasplantado y aforo de agua



Fotografía 6.7. Etapa de desarrollo de cultivo de tomate



Fotografía 6.8. Etapa de desarrollo de cultivo de tomate



Fotografía 6.9. Inicio y floración



Fotografía 6.10. Etapa de plena floración del cultivo



Fotografía 6.11. Etapa inicio de fructificación



Fotografía 6.12. Colocación de tutorados



Fotografía 6.13. Plena fructificación y cuajado de fruto de tomate



Fotografía 6.14. Etapa inicio de madurez y madurez



Fotografía 6.15. Primera y segunda cosecha y pesado de frutos



Fotografía 6.16. Pesado de fruto de tomate



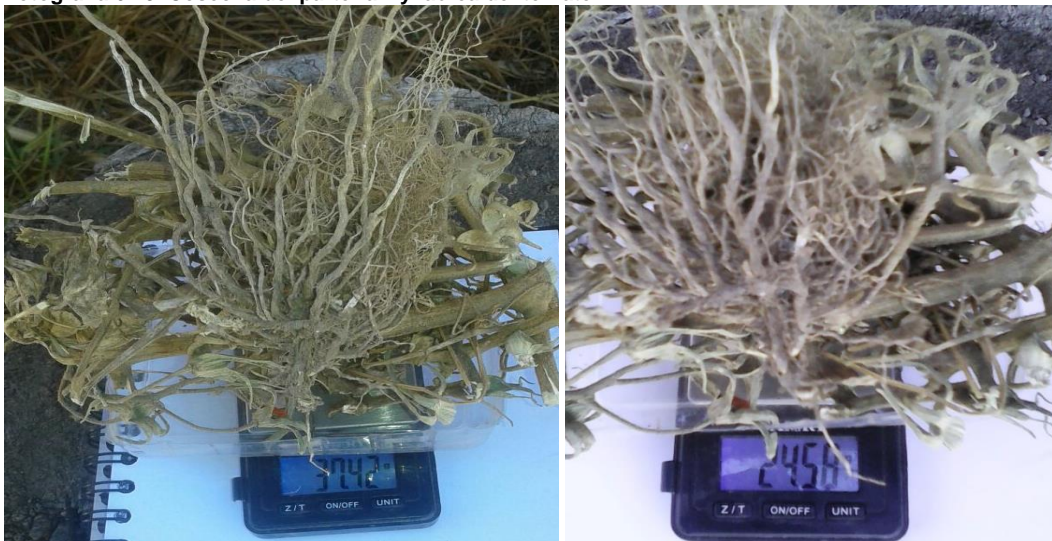
Fotografía 6.17. Frutos para última cosecha, madurez final y cosecha final



Fotografía 6.18. Parcela de experimento después de cosecha final de fruto de tomate



Fotografía 6.19. Cosecha de parte raíz y aérea de tomate



Fotografía 6.20. Pesado de parte aérea y raíz.



Fotografía 6.21. Campo después de cosecha final del trabajo