

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**



**“CURVA DE EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES EN PIMIENTO
PAPRIKA (*Capsicum annum* L.) BAJO CONDICIONES DEL VALLE DE
PATIVILCA, PERÚ”**

Presentada por:

LUIS ALBERTO GOÑY AMERI

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

Lima – Perú

2020

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**“CURVA DE EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES EN PIMIENTO
PAPRIKA (*Capsicum annuum* L.) BAJO CONDICIONES DEL VALLE DE
PATIVILCA, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE**

**Presentada por:
LUIS ALBERTO GOÑY AMERI**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Mg.Sc. Julián Chura Chuquija
PRESIDENTE**

**M.Sc. Andrés Casas Díaz
ASESOR**

**Dr. Oscar Loli Figueroa
MIEMBRO**

**Mg.Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO**

DEDICATORIA

A Dios por alimentar mi fe y su sabiduría en todas mis decisiones

A Andrea mi hija por su incomparable sacrificio y comprensión

A Elisa por su amor y apoyo en esta carrera emprendida

A mi madre y hermanos por su aliento y bendiciones

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento especial a la Universidad Nacional Agraria La Molina fuente del saber de las Ciencias Agrarias, por permitirme ser parte de ella y haber cumplido una aspiración propuesta.

A la Escuela de posgrado y en especial a la Maestría de Producción Agrícola por su invaluable apoyo durante mi estancia académica.

A mi asesor M.Sc. Andrés Casas Díaz, por sus consejos, paciencia y orientaciones durante el desarrollo y culminación de este proyecto académico.

A los miembros del Jurado y Comité Consejero a los Docentes Mg. Sc. Julián Chura Chuquija, Dr. Oscar Loli Figueroa y Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto, por sus recomendaciones y mejora en el trabajo de investigación.

A la Jefatura del departamento de Horticultura de la Universidad Nacional Agraria La Molina y sus colaboradores quien sin ellos no podría haber alcanzado las metas propuestos.

Al Ph.D. Sady García Bendezu, Jefe del departamento de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por el apoyo y confianza brindada con los colaboradores en los ambientes de los laboratorios de fertilidad de suelos y análisis de suelo, agua y planta.

A todos los docentes de la Maestría de Producción Agrícola gracias por compartir sus enseñanzas y experiencias.

Al Sr. Iván Bazán Ocaña, amigo y agricultor del valle de Pativilca sector de Santa Elena Sur, gracias por su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades del pimiento.....	3
2.1.1 Origen.....	3
2.1.2 Taxonomía.....	3
2.1.3 Morfología.....	4
2.2 Crecimiento y desarrollo.....	4
2.3 Fenología del pimiento.....	6
2.4 Nutrición mineral.....	8
2.4.1 Nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal.....	9
2.4.2 Fertilidad de suelo y nutricion vegetal.....	10
2.4.3 Actividad metabólica en la nutrición mineral.....	10
2.4.4 Transporte de los iones en la nutrición mineral.....	11
2.4.5 Absorción de los elementos nutritivos.....	12
2.4.6 Factores influyentes en la absorción mineral.....	13
2.4.7 Adsorción y de cambio de iones en el suelo.....	14
2.5 Rol de los macronutrientes.....	15
2.5.1 Nitrógeno.....	16
2.5.2 Fósforo.....	18
2.5.3 Potasio.....	20
2.5.4 Calcio.....	22

2.5.5 Magnesio.....	24
2.5.6 Azufre.....	25
2.6 Contenido mineral de los tejidos vegetales.....	26
2.7 Diagnostico y análisis foliar de las plantas.....	27
2.8 Formación y distribución de la materia seca.....	28
2.9 Extracción de nutrientes en el pimiento.....	30
2.10 Rendimiento del pimiento paprika.....	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1 Ubicación.....	36
3.2 Características del suelo.....	36
3.3 Características del agua de riego.....	38
3.4 Características del clima.....	39
3.5 Características del material vegetal.....	40
3.6 Materiales.....	40
3.6.1 De campo.....	40
3.6.2 De laboratorio.....	41
3.7 Instalación del experimento.....	41
3.7.1 Preparación del terreno.....	41
3.7.2 Trasplante.....	41
3.7.3 Momento y forma de aplicación de los fertilizantes.....	41
3.7.4 Labores culturales.....	42
3.8 Metodología.....	43
3.8.1 Factores en estudio.....	43

3.8.2	Diseño experimental.....	43
3.8.3	Características del campo experimental.....	43
3.8.4	Procedimiento experimental.....	44
	a. Muestras foliares.....	44
	b. Trabajo de laboratorio.....	45
3.9	Características evaluadas.....	45
3.9.1	Rendimiento total de fruto fresco.....	45
3.9.2	Determinación de la acumulación periódica de materia seca.....	46
3.9.3	Determinación de la extracción de nutrientes.....	46
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1	Rendimiento de fruto fresco.....	47
4.2	Formación y acumulación de materia seca.....	49
4.2.1	Materia seca total.....	49
4.2.2	Acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta.....	51
4.3	Concentración de nutrientes.....	54
4.3.1	Concentración de nitrógeno (%).....	54
4.3.2	Concentración de fósforo (%).....	56
4.3.3	Concentración de potasio (%).....	58
4.3.4	Concentración de calcio (%).....	60
4.3.5	Concentración de magnesio (%).....	63
4.3.6	Concentración de azufre (%).....	65
4.4	Extracción de nutrientes.....	67
4.4.1	Extracción de nitrógeno (kg/ha).....	67

4.4.2 Extracción de fósforo (kg/ha).....	70
4.4.3 Extracción de potasio (kg/ha).....	73
4.4.4 Extracción de calcio (kg/ha).....	76
4.4.5 Extracción de magnesio (kg/ha).....	80
4.4.6 Extracción de azufre (kg/ha).....	83
4.4.7 Extracción total de macronutrientes (kg/ha).....	87
V. CONCLUSIONES.....	91
VI. RECOMENDACIONES.....	93
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	94
VIII. ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rangos de concentraciones de macronutrientes en pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.)	26
Tabla 2: Características físicas y químicas del suelo donde se realizó el ensayo.....	38
Tabla 3: Análisis del agua de riego.....	39
Tabla 4: Datos climáticos del sector de Santa Elena Sur, valle de Pativilca 2016-2017.....	40
Tabla 5: Programa de fertilización establecidos en el campo experimental.....	42
Tabla 6: Fertilizantes empleados en el campo experimental.....	42
Tabla 7: Cronograma de muestreo foliar del cultivo durante la investigación.....	42
Tabla 8: Niveles de fertilización evaluados en el estudio (kg/ha).....	43
Tabla 9: Rendimiento de fruto fresco de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) empleando cuatro niveles de fertilización (t/ha).....	48
Tabla 10: Materia seca total (kg/ha) en pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) empleando cuatro niveles de fertilización bajo condiciones del valle de Pativilca.....	50
Tabla 11: Acumulación periódica de materia seca (kg/ha) en los diferentes órganos de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	52
Tabla 12: Acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	54
Tabla 13: Concentración de nitrógeno (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	56
Tabla 14: Concentración de fósforo (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	58
Tabla 15: Concentración de potasio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	60
Tabla 16: Concentración de calcio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	62

Tabla 17: Concentración de magnesio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	64
Tabla 18: Concentración de azufre (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	66
Tabla 19: Extracción de nitrógeno (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	67
Tabla 20: Extracción de nitrógeno en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	69
Tabla 21: Extracción de fósforo (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	70
Tabla 22: Extracción de fósforo en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	72
Tabla 23: Extracción de potasio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	74
Tabla 24: Extracción de potasio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	76
Tabla 25: Extracción de calcio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	77
Tabla 26: Extracción de calcio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	79
Tabla 27: Extracción de magnesio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	81
Tabla 28: Extracción de magnesio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	83
Tabla 29: Extracción de azufre (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	84

Tabla 30: Extracción de azufre en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	86
Tabla 31: Extracción total de macronutrientes (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	88
Tabla 32: Extracción de macronutrientes para los niveles de fertilización (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estados fenológicos de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>).....	8
Figura 2. Ubicación del campo experimental Santa Elena sur valle de Pativilca-Perú.....	36
Figura 3. Parámetros climáticos zona de Santa Elena sur valle de Pativilca 2016-2017.....	40
Figura 4. Rendimiento de fruto fresco de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) empleando cuatro niveles de fertilización (t/ha).....	48
Figura 5. Materia seca total (kg/ha) en pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) empleando cuatro niveles de fertilización bajo condiciones del valle de Pativilca.....	50
Figura 6. Acumulación periódica de materia seca (kg/ha) en los diferentes órganos de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	52
Figura 7. Acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo condiciones del valle de Pativilca....	54
Figura 8. Concentración de nitrógeno (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo condiciones del valle de Pativilca....	56
Figura 9. Concentración de fósforo (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	58
Figura 10. Concentración de potasio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	60
Figura 11. Concentración de calcio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	62
Figura 12. Concentración de magnesio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo condiciones del valle de Pativilca...64	
Figura 13. Concentración de azufre (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	66

Figura 14. Extracción de nitrógeno (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	68
Figura 15. Extracción de nitrógeno en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	69
Figura 16. Extracción de fósforo (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	71
Figura 17. Extracción de fósforo en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	72
Figura 18. Extracción de potasio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	74
Figura 19. Extracción de potasio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	76
Figura 20. Extracción de calcio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	78
Figura 21. Extracción de calcio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	80
Figura 22. Extracción de magnesio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	81
Figura 23. Extracción de magnesio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	83
Figura 24. Extracción de azufre (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	85
Figura 25. Extracción de azufre en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	87
Figura 26. Extracción total de macronutrientes (kg/ha) de pimiento paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....	88

Figura 27. Extracción de macronutrientes para los niveles de fertilización (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca.....90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Actividades realizadas durante el trabajo de investigación.....	102
ANEXO 2. Análisis de varianza para rendimiento de fruto fresco.....	104
ANEXO 3. Análisis de varianza para rendimiento total de fruto seco (t/ha).....	104
ANEXO 4. Análisis de varianza para materia seca total.....	105
ANEXO 5. Acumulación periódica de materia seca total.....	105
ANEXO 6. Análisis de varianza para concentración de nitrógeno.....	106
ANEXO 7. Acumulación periódica de la concentración de nitrógeno total.....	106
ANEXO 8. Análisis de varianza para concentración de fósforo.....	107
ANEXO 9. Acumulación periódica de la concentración de fósforo total.....	107
ANEXO 10. Análisis de varianza para concentración de potasio.....	108
ANEXO 11. Acumulación periódica de la concentración de potasio total.....	108
ANEXO 12. Análisis de varianza para concentración de calcio.....	109
ANEXO 13. Acumulación periódica de la concentración de calcio total.....	109
ANEXO 14. Análisis de varianza para concentración de magnesio.....	110
ANEXO 15. Acumulación periódica de la concentración de magnesio total.....	110
ANEXO 16. Análisis de varianza para concentración de azufre.....	111
ANEXO 17. Acumulación periódica de la concentración de azufre total.....	111
ANEXO 18. Análisis de varianza para extracción de nitrógeno.....	112
ANEXO 19. Acumulación periódica de la extracción de nitrógeno total.....	112
ANEXO 20. Análisis de varianza para extracción de fósforo.....	113
ANEXO 21. Acumulación periódica de la extracción de fósforo total.....	113

ANEXO 22. Análisis de varianza para extracción de potasio.....	114
ANEXO 23. Acumulación periódica de la extracción de potasio total.....	114
ANEXO 24. Análisis de varianza para extracción de calcio.....	115
ANEXO 25. Acumulación periódica de la extracción de calcio total.....	115
ANEXO 26. Análisis de varianza para extracción de magnesio.....	116
ANEXO 27. Acumulación periódica de la extracción de magnesio total.....	116
ANEXO 28. Análisis de varianza para extracción de azufre.....	117
ANEXO 29. Acumulación periódica de la extracción de azufre total.....	117
ANEXO 30. Distribucion de los tratamientos y bloques de la parcela experimental.....	118
ANEXO 31. Periodos de muestreo foliar del pimiento paprika.....	119
ANEXO 32. Cosecha de frutos en la parcela experimental.....	119
ANEXO 33. Proceso de obtención de la materia seca del pimiento paprika.....	120
ANEXO 34. Trabajo de laboratorio.....	121

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el sector de Santa Elena Sur, ubicado en el distrito y provincia de Barranca, valle de Pativilca, Lima-Perú. Se evaluó cuatro niveles de fertilización: 0-0-0; 200-100-200; 250-150-250 y 300-200-300 kg/ha de NPK. Durante el desarrollo del cultivo de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) se programaron cuatro muestreos, a los 42, 77, 112, 147 días después del trasplante, recolectándose las muestras de hojas, tallos y frutos. Se empleó el diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cuatro bloques. Evaluándose el rendimiento de fruto fresco, la acumulación periódica de la materia seca y extracción de nutrientes. La acumulación de materia seca total en los distintos periodos de evaluación se encontró respuestas de manera creciente a medida que la planta manifestaba cambios en su crecimiento y desarrollo de órganos, siendo el tallo el que alcanzó su máxima acumulación. La mayor extracción de nutrientes se dio con el tratamiento 4 (300–200–300 kg/ha de NPK), continuando en forma decreciente con los demás tratamientos. Todos los nutrientes considerados comienzan a extraer en cantidades significativas desde inicio del ciclo de planta siendo a partir de los 112 días después del trasplante del cultivo los elementos N, K y P, quienes muestran su máxima extracción, mientras que a los 147 días después del trasplante del cultivo, manifiesta su mayor extracción el Ca, S y Mg. Si bien el tratamiento 4 es quien muestra mayor rendimiento con respecto a los demás tratamientos. La secuencia de extracción de nutrientes observado en el estudio fue: K>N>Ca>S>Mg>P. La extracción de los elementos considerados en el estudio para producir una tonelada de fruto fresco según la máxima respuesta obtenida en el tratamiento 4 de los elementos N, P, K, Ca, Mg, S en kg/ha fueron en promedio de: 11.31, 1.26, 15.06, 8.71, 2.30, 2.72.

Palabras claves: *Capsicum*, pimiento paprika, macronutrientes, materia seca, extracción.

ABSTRACT

A trial was carried out at Santa Elena Sur, located in Barranca province, Pativilca Valley, Lima-Peru. Four levels of fertilization were evaluated: 0-0-0; 200-100-200; 250-150-250 and 300-200-300 kg/ha of NPK. During the development of the paprika pepper crop (*Capsicum annuum* L.) four samplings were scheduled, at 42, 77, 112, 147 days after transplant, collecting samples of leaves, stems and fruits. A randomized block experimental design was used, with four treatments and four blocks. Fresh fruit, yield dry matter content, and nutrient extraction were determined. Total dry matter accumulation at different evaluation periods increased along crop development. Stem had the highest dry matter content. The highest nutrients extraction was observed in treatment 4 (300-200-300 kg/ha of NPK). Decreasing results were observed in the other treatments. Maximum extraction was observed 112 days after transplanting for N, K and P. For Ca, S and Mg maximum extraction occurred 147 days after transplanting. Nutrient extraction from highest to low was: K>N>Ca>S>Mg>P. A ton of fresh fruits considering a supply of 300 – 200 – 300 kg/ha of NPK, extracted on average 11.31, 1.26, 15.06, 8.71, 2.30, 2.72 kg/ha of N, P, K, Ca, Mg, S.

Key words: *Capsicum*, paprika pepper, macronutrients, dry matter, extraction.

I. INTRODUCCIÓN

Los valles del Perú otorga condiciones perfectas para la producción de diversidades de especies agrícolas propias originarias del continente americano y en especial de los *Capsicum*, destacando a los pimientos (*Capsicum annuum* L.) que han manifestado en los últimos años un atractivo en la gastronomía y oferta comercial a los mercados externos y que esta contribuye en la generación de divisas en la economía nacional, sin duda una posición ganada gracias al esfuerzo de los sectores comprometidos. Como consecuencia de estas acciones los productores locales de los *Capsicum* están interesados en alcanzar las expectativas que les permitan lograr la competitividad exigidas en aspectos de gestión, tecnología, inocuidad, uso adecuado de los recursos empleados y contribuya el desarrollo y aumento de sus ingresos.

En particular los sistemas de producción del pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) en la costa central mantienen un nivel de productividad aceptable e incrementable, que satisface las necesidades prevalentes y está adaptándose a las necesidades futuras. Sin embargo las tecnologías agrícolas que conducen a un crecimiento en la capacidad de recuperación han agotado sus posibilidades en muchas áreas irrigadas de alto potencial. Para elevar el potencial de rendimientos se requiere mayor atención en el manejo de insumos externos, y que pueda contribuir a una mayor productividad, y a la vez reducir los problemas existente que han aparecido en áreas de agricultura intensiva.

Uno de los factores fundamentales que permite mejorar la producción y calidad de los cultivos es su manejo nutricional, el cual debe ser acorde a cada especie y condición de crecimiento. Aunque existe una escasa o poca difusión sobre los requerimientos nutricionales durante el ciclo de la planta y sobre los periodos de máxima extracción de los diferentes nutrientes en el valle de Pativilca, Provincia de Barranca.

Por lo expuesto, en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- Establecer la curva de extracción de macronutrientes en el cultivo de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo las condiciones del valle de Pativilca.
- Identificar el efecto de los niveles de fertilización en la extracción y distribución de macronutrientes en las diferentes etapas fenológicas.
- Determinar la adecuada respuesta de la fertilización del pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) sobre el rendimiento de frutos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del pimiento

2.1.1 Origen

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es originario de América tropical, América central y principalmente México, en donde se encuentra la mayoría de las especies del género *Capsicum*, también se las ubica a lo largo de los andes, desde México hasta el norte de Chile (Castagnino, 2009).

Ramírez (2000) refiere que al menos cinco de sus especies son cultivadas en mayor o menor grado en el ámbito mundial, casi la totalidad de ajíes y pimientos está dada por una sola especie, *Capsicum annuum* L. siendo esta especie ampliamente conocida y la de mayor importancia económica, ya que presenta una distribución mundial.

2.1.2 Taxonomía

La taxonomía dentro del género *Capsicum* es compleja, debido a la gran variabilidad de formas existentes en las especies cultivadas y a la diversidad de criterios utilizados en la clasificación (Nuez *et al.*, 2003). Así mismo describen que todas las formas de pimiento, chile o ají utilizados por el hombre incluye en la extensa familia de las Solanáceas; el pimiento pertenece a la división *Spermatophyta*, línea XIV *Angiospermae*, Clase A *Dicotyledones*, Rama 2 *Malvales-Tubiflorae*, orden XXI *Solanales (Personatae)*, familia *Solanaceae*, género *Capsicum* y nombre científico *Capsicum annuum* L.

Guillen (2014) menciona que son cinco las especies cultivadas por el hombre, dentro de los cuales el *Capsicum annuum* L. especie ya mencionada posee $2n = 24$ cromosomas que permite controlar la confusión a la falta de una taxonomía estable y que permite obtener un acuerdo dentro de los distintos taxones.

2.1.3 Morfología

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una planta anual herbácea, que van de 0.6 m a 1.50 m de altura, este carácter es dependiente de la variedad, condiciones climáticas y manejo. La planta de pimiento es monoica, tiene los dos sexos incorporados en una misma planta, y es autogama (Ramírez, 2000).

Posee un sistema radicular pivotante y profundo que puede llegar hasta 70 a 120 centímetros, provisto y reforzado de un número elevado de raíces adventicias. El tallo de crecimiento limitado y erecto, con un porte que en término medio puede variar entre 0.5 y 1.5 metros. Cuando la planta adquiere una cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente. Las hojas son lampiñas, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un largo o poco aparente (Zapata *et al.*, 1992).

Asimismo describen que las flores posee la corola blanquecina, aparecen solitarias en cada nudo y son de inserción aparentemente axilar. Su fecundación es claramente autogama no superando el porcentaje de alogamia en un 10 por ciento. El fruto es una baya semi cartilaginosa, primero son verdes y a medida que maduran se vuelven rojos, brillantes y carnosos y llegan a medir unos 25 centímetros de largo que se inserta en forma pendular o enhiestamente y tamaño muy variable. La madurez de los frutos en la planta se inicia desde el tercio inferior hacia el tercio superior. Las semillas son de forma redondeadas y ligeramente reniformes, suelen tener de 3 a 5 milímetros de longitud, se insertan sobre una placenta cónica de disposición central, y son de un color amarillo pálido (Nicho y Valencia, 2009).

2.2 Crecimiento y desarrollo

Durante el ciclo de la planta ocurren una serie de cambios evidentes que van desde la germinación de la semilla hasta la fructificación y senescencia.

El crecimiento vegetativo consiste principalmente en la formación de nuevas hojas, tallos y raíces. Los tejidos meristemáticos tienen un metabolismo de proteínas muy activo y los fotosintatos transportados a estos puntos se usan predominantemente en la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas. A medida que se da el crecimiento vegetativo, el nivel de

carbohidratos de las plantas anuales generalmente aumentan. La senescencia temprana de las plantas no es por la falta de nitrógeno, sino que es inducida por una depresión de síntesis de hormonas (Mengel y Kirby, 2001).

Barceló *et al.* (2001) y Taiz y Zeiger (2006) señalan que el principal componente del crecimiento vegetal es la expansión celular dirigida por la presión de turgencia. Durante este proceso, las células aumentan en volumen varias veces y llegan a estar muy vacuolizadas. Sin embargo el peso fresco de las plantas puede variar debido a cambios en el estado hídrico. En estas situaciones, la medida del peso seco suele ser mucho más adecuada.

Para el modelado dinámico del crecimiento de cultivos también es preciso disponer de información sobre las tasas de crecimientos potenciales de las plantas y sus órganos, en relación con la influencia ejercida por factores tales como la temperatura, la luz, y el nivel de nutrientes (Evans, 1983).

Bleasdale (1973) y Magalhaes (1978) sostienen que al examinar una curva hipotética de crecimiento de un vegetal expresa en términos de peso seco, en altura de planta, observándose que existe un periodo inicial en que el crecimiento es lento, seguido de una fase de rápido aumento de tamaño y, finalmente de un decrecimiento no acumulado de materia seca o no altura de planta.

El crecimiento típico de un cultivo anual se caracteriza por una curva sigmoide con tres fases. En primer lugar, en una fase inicial las plantas crecen lentamente, ya que la planta depende de las reservas de las semillas. En segundo lugar el crecimiento aumenta muy rápidamente hasta llegar a una fase lineal cuando el dosel y sistema radical son suficiente grandes para capturar una gran cantidad de recursos. Más tarde, el crecimiento del cultivo se ralentiza conforme el dosel y sistema radical envejecen, entrando a una fase de senescencia en paralelo con la acumulación de carbono y nitrógeno en los órganos reproductivos. La senescencia de las hojas y raíces se regula genéticamente en un proceso conocido como senescencia *monocarpica*, aunque los estreses tales como la escasez de agua o de nutrientes puedan acelerar el proceso. En general la escasez de recursos (agua o nutrientes) y las limitaciones del suelo (compactación y salinidad) reducen el crecimiento de los cultivos mediante la

reducción de la captura de recursos, en lugar de afectar a la eficiencia en el uso de los recursos (Villalobos y Fereres, 2017).

Las necesidades de nutrientes minerales durante el periodo de crecimiento vegetativo se ven influenciado por la tasa de asimilación de CO₂. Si la producción de fotosintatos es alta la cantidad de nutrientes inorgánicos deben ser también alta para convertir los fotosintatos en los numerosos metabolitos necesarios para el crecimiento vegetativo. El crecimiento y el desarrollo en los estados iniciales de las plantas son fuertemente dependiente de la temperatura, intensidad luminosa y el genotipo y que tiende a influenciar en el crecimiento, que a su vez resulta en la dilución de los carbohidratos y de la clorofila. A medida que la planta crece y progresa desde el estado vegetativo hacia la madurez, los fotosintatos se dirigen cada vez más lejos de los tejidos meristemáticos, hacia los tejidos de reserva (Mengel y Kirby, 2001).

2.3 Fenología del pimiento

La importancia práctica de la fenología del cultivo radica en que el conocimiento de la tasa de absorción de nutrimentos y la dinámica de estos en el suelo, así como la producción de materia seca por planta, son de gran utilidad para la realización de los aportes de agua y nutrimentos de acuerdo a las exigencias nutrimentales del cultivo durante sus etapas fenológicas (Valentín, 2011).

El interés de los estudios fenológicos se centran en la observación de los cambios en la morfología externa de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos (Elías y Castellvi, 1996; Torres, 2006). Así mismo Fuentes (2000) señala que el estudio de los cambios fenológicos se centran en el interés como la adaptación de cultivos, determinación de periodos críticos, crecimiento y desarrollo, en la determinación de las características nutritivas de los cultivos, etc.

Las respuestas de las plantas al ambiente varían con su estado fenológico, de manera que un mismo factor puede ser perjudicial para el cultivo en ciertos periodos e indiferente y hasta favorables en otros. Esta realidad constituye de los llamados periodos críticos y que un factor de intensidad dada, como la falta de agua, humedad relativa, estrés hídrico, etc., tiene un

efecto máximo en el resultado final en el desarrollo y rendimiento del cultivo (Campos, 2005).

Los estados fenológicos del pimiento (figura 1) se describe de la siguiente forma; Para la primera etapa de germinación y emergencia describe como el periodo de preemergencia varía entre ocho a doce días, y es más rápido cuando la temperatura es mayor durante el periodo entre la germinación y la emergencia de la semilla (Nuez *et al.*, 2003).

En la segunda etapa que corresponde a crecimiento de la plántula, se inicia el crecimiento de las hojas verdaderas, que son alternas y más pequeñas que las hojas de una planta adulta, se detecta un crecimiento lento de la parte aérea.

La tercera etapa de crecimiento vegetativo rápido, se presenta a partir de la producción de la sexta a octava hoja, la tasa de crecimiento del sistema radicular se reduce gradualmente, en cambio la del follaje y de los tallos se incrementa, las hojas alcanzan el máximo tamaño, el tallo principal se bifurca en nueve a doce hojas, después que el brote ha terminado por una flor o vástago floral (botón floral). A medida que crece la planta ambas ramas se subramifican produciendo un número específico de órganos florales, vuelve a iniciarse una continuación vegetativa del proceso. Este ciclo se trata de un crecimiento simpodial. En el botoneo, la planta absorbe niveles altos de nitrógeno y potasio (Nuez *et al.*, 2003).

La cuarta etapa corresponde a floración y fructificación, al iniciar la etapa de floración, el pimiento produce abundantes flores terminales en la mayoría de las ramas. Cuando los primeros frutos comienzan a madurar, se inicia una nueva fase de crecimiento vegetativo y de producción de flores. De esta manera el cultivo de pimiento tiene ciclos de producción de frutos que se traslapan con los siguientes ciclos de floración y crecimiento vegetativo. Este patrón de fructificación da origen a frutos con distintos grados de madurez en las plantas. El mayor número de frutos y los frutos de mayor tamaño se producen durante el primer ciclo de fructificación, aproximadamente entre los 90 a 100 días. Los ciclos posteriores tienden a producir progresivamente menos frutos de menor tamaño, como resultado del deterioro y agotamiento de la planta (Nuez *et al.*, 2003).



Siembra trasplante Crecimiento vegetativo Floración Fructificación Maduración

Figura 1. Estados fenológicos de pimiento paprika (*Capsicum annum* L.)

Según Vigliola (2007) y Matarin *et al.* (2008) el pimiento es un cultivo de clima cálido, por tanto, exigente de calor para su óptimo desarrollo y producción, depende de las distintas fases en las que se encuentra el cultivo siendo estas la que a continuación se cita. La temperatura media mensual que debe existir para conseguir una buena cosecha tiene que ser de 18° a 22°C, siendo la temperatura ideal de 20° a 25°C por el día y 16 ° a 18°C por la noche, con temperaturas más bajas, el desarrollo vegetativo disminuye; con temperaturas nocturnas comprendidas entre 8° a 10°C, el polen se hace inviable para la fecundación. Asimismo Porter (2006) refiere que la temperatura afecta el crecimiento directamente, al cambiar la velocidad de procesos tales como la división celular, la expansión de las hojas y la fotosíntesis del cultivo, e indirectamente al afectar el desarrollo fenológico y a la duración de las fenofases. Por lo tanto, los efectos de la temperatura y del fotoperiodo sobre el desarrollo (duración del ciclo) tienen un papel dominante en el crecimiento estacional.

2.4 Nutrición Mineral

Los nutrientes minerales son elementos incorporados en forma de iones inorgánicos. Aunque los nutrientes minerales siguen un ciclo a través de todos los organismos. Los altos rendimientos agrícolas dependen en gran medida de la fertilización con nutrientes minerales. De hecho, los rendimientos de la mayoría de los cultivos aumentan linealmente con la cantidad de fertilizante que absorben (Taiz y Zeiger, 2006).

La importancia de los nutrientes en el crecimiento y desarrollo vegetal tiene importantes repercusiones en el establecimiento de los cultivos por lo que se pone mucha atención a las correlaciones entre las concentración de nutrientes en el suelo, o en la disolución nutritiva, y la producción obtenida. La que se conoce como ley de mínimo para indicar la ausencia de un elemento indispensable para la vida vegetal bloquea todo el desarrollo. La forma cuantitativa constituye la llamada ley de los factores limitantes, que dice que el crecimiento es función de la cantidad del elemento que se halla en proporción relativamente menor (Navarro y Navarro, 2013).

2.4.1 Nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal

Solo algunos elementos son considerados esenciales para el crecimiento vegetal, como aquel cuya ausencia impide a la planta completar su ciclo vital. La disponibilidad de estos elementos esenciales y la energía de la luz del sol permiten a las plantas la síntesis de todos los compuestos que son necesarias para su crecimiento normal (Taiz y Zeiger, 2006).

En el suelo existen por tanto, dos fuentes generales de nutrientes fácilmente asimilables por la planta. Por una parte, nutrientes absorbidos por los coloides, y por lo que forman parte de la disolución del suelo. En ambos casos, los elementos están presentes como iones, pero con la particularidad de que los cationes son absorbidos por los coloides en su mayor parte, mientras que los aniones, y una pequeña fracción del suelo se hallan en la disolución del suelo (Navarro y Navarro, 2013).

Lavado (2016) indica que son 17 los nutrientes que cumplen con el criterio de esencialidad en las plantas: (a) estar implicados en funciones metabólicas específicas (como componentes de enzimas o cofactores); (b) no poder ser reemplazados en esa función por otro mineral y (c) la incapacidad de la planta de completar su ciclo en ausencia del elemento. Estos elementos incluyen los elementos no minerales (carbono, hidrógeno y oxígeno) provenientes del aire y el agua, que representan aproximadamente el 95 por ciento del peso seco de las plantas, y los elementos minerales que deben ser tomados del suelo a través de las raíces.

2.4.2 Fertilidad del suelo y nutrición vegetal

La demanda nutricional de un cultivo aumentara a medida que aumentan el rendimiento y la producción de la biomasa asociada con este. Consecuente el primer paso en el diseño de un plan de manejo nutricional de un cultivo debe ser definir los rendimientos máximos posibles. El segundo aspecto que debe ser dilucidado al estructurar el plan de manejo nutricional es conocer qué proporción de dicha demanda puede ser cubierta por el suelo. Se sabe que la demanda de muchos de los elementos esenciales puede ser satisfecha por la fertilidad intrínseca de los suelos (Navarro y Navarro, 2013). Así mismo Mengel y Kirby (2001) refieren que los componentes principales del balance de nutrientes vegetales provienen de su liberación en el suelo por la meteorización y la mineralización, la aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales.

La nutrición de cultivos reside en la capacidad de abastecimiento nutricional que poseen los suelos y los requerimientos nutricionales de los cultivos. Esta tarea cae dentro del área llamada diagnóstico de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. Si el diagnóstico señala que el abastecimiento mediante la aplicación de fertilizantes o corregirlo directamente con aplicaciones al cultivo. La provisión de nutrientes disponible puede variar dentro de ciertos límites, modificando la composición de las plantas sin afectar el rendimiento, de manera apreciable. La variación que excede tales límites provoca, sin embargo, una reducción de la cosecha (Thompson y Troeh, 2015).

2.4.3 Actividad metabólica en la nutrición mineral

A fin de que iones y otros solutos se acumulen contra una gradiente de concentración se requiere un gasto de energía sea directa o indirectamente. La principal fuente de energía en células y tejidos no fotosintetizantes es la respiración. De este modo, todos los factores que puedan afectar la respiración pueden también influir la acumulación iónica como el bajo contenido de oxígeno en el sustrato que puede limitar el crecimiento vegetal, la disponibilidad de carbohidratos que vienen hacer los principales sustratos energéticos para la respiración, la temperatura que a través de sus condiciones permiten las reacciones químicas en el proceso de toma de iones (Marschner, 2012).

De acuerdo a lo descrito por Mengel y Kirby (2001) refieren que las plantas son capaces de absorber iones selectivamente, las concentraciones de varias especies iónicas son considerablemente más altas en las vacuolas que en el medio externo. Esto indica que la acumulación ha tenido lugar en contra de un gradiente de concentración, el proceso de absorción en sí mismo requiere energía. Por lo que se genera del metabolismo celular, así mismo también indican que la función más importante es la síntesis de adenosin trifosfato (ATP) del adenosin difosfato (ADP) y del fosfato inorgánico. Todos los procesos bioquímicos que necesitan energía, incluyendo la síntesis de moléculas y la absorción y el transporte de algunas especies iónicas, dependen del suministro de ATP o de otros compuestos análogos.

2.4.4 Transporte de los iones en la nutrición mineral

Las plantas toman del suelo los componentes esenciales de su biomasa, a excepción del carbono. Los nutrientes esenciales son incorporados desde la solución suelo hasta el interior de las células, donde son almacenados, metabolizados o transportados a otras células, tejidos u órganos. Una característica que comparten todas las células vivas es su capacidad para mantener en su interior iones y moléculas notablemente fuera de equilibrio. Esta propiedad se debe en gran medida, a las características estructurales y funcionales de la membrana plasmática denominada plasmalema y que a través de las cuales existe un continuo tráfico de iones que permite a las células incorporar y acumular nutrientes, excluir iones o sustancias tóxicas, o intervenir en diversas respuestas a los estímulos hormonales o medioambientales (Azcón y Talón, 2008). Así mismo también mencionan que algunos iones son transportados y acumulados en condiciones cercanas del equilibrio denominado también transporte pasivo y otros se transportan y se acumulan por encima o muy por debajo del equilibrio o también llamado transporte activo.

Los iones en solución están sujetas a dos fuerzas físicas principales; una proviene del gradiente de potencial químico la otra del gradiente de potencial eléctrico. Los iones se mueven a favor de la gradiente de potencial de una concentración más alta a una más baja. Para que los iones se muevan por causa de un gradiente eléctrico los cationes deben ser atraídos a un potencial eléctrico negativo, mientras que los aniones deben hacerlo en uno positivo. Las células vivas están cargadas negativamente en comparación con el medio

externo. Por esta razón, el paso de iones a través del plasmalema debe considerarse en relación al gradiente de potencial eléctrico que prevalece, así como al gradiente de concentración entre la solución externa y la solución interna (Mengel y Kirby, 2001).

Las zonas más basales de las distintas zonas de la raíz al transporte contribuyen significativamente en muchos casos a la absorción total de las plantas. El transporte radial descrito que tiene lugar por la denominada ruta simplástica, se complementa con el que se realiza por la llamada ruta apoplástica (Guardiola y García, 1990). La ruta simplástica representa un aumento de la superficie efectiva de la absorción de iones por las raíces.

Durante su tránsito por el simplasto, los iones pueden ser acumulados en las vacuolas, lo que representa más competencia con el transporte hacia el xilema. Esta acumulación es reversible, al menos parcialmente, y los intercambios iónicos entre la vacuola y el citoplasma del contenido iónico de la raíz y del suministro de nutrientes. Por el contrario, cuando se interrumpe el suministro de nutrientes, parte de los iones de las vacuolas son movilizados y son transportados al tallo (Alcantar y Trejo, 2007).

2.4.5 Absorción de los elementos nutritivos

La proporción en que son absorbidos los elementos minerales es, en ocasiones muy distinta a los que se encuentran en el medio, y mientras que algunos aniones y cationes son acumulados a concentraciones varias veces superiores a las del medio, otros son prácticamente excluidos de la planta. Este control se ubica en la membrana celular, y depende críticamente de dos de sus propiedades: (a) una baja permeabilidad para las sustancias iónicas, que permite mantener diferencias en concentración entre el interior y el exterior de la célula y, (b) la integración en la membrana de un(os) sistema(s) que, mediante el consumo de energía metabólica, genera la fuerza motriz que posibilita el transporte iónico a través de la misma (Guardiola y García, 1990).

La velocidad de absorción de nutrientes difiere según los iones. Algunos iones como NO_3^- , K^+ , y NH_4^+ y Cl^- son absorbidos rápidamente mientras que la absorción de otros como el Ca^{2+} y el SO_4^- es más lenta. Estas diferencias en las velocidades de absorción significan que las plantas extraen cationes y aniones del medio nutritivo en cantidades desiguales. Estos

desequilibrios son compensados por la planta mediante la acumulación o degradación de aniones ácidos orgánicos y, en particular, de malato. En el medio nutritivo el equilibrio iónico se mantiene mediante la acumulación de H^+ o del OH^- (HCO_3^-) (Mengel y Kirby, 2001).

La absorción de los elementos nutritivos por las plantas se efectúa por medio de las raíces jóvenes, a nivel de los pelos radiculares. Durante el periodo de actividad de la planta se desarrollan de manera continua y están continuamente renovándose. Además de la función de las raicillas, segregan sustancias dotadas de ciertos carácter ácido que les permite solubilizar, en parte compuestos difícilmente solubles. Esta acción solubilizante, en la que también participa el dióxido de carbono producido durante la respiración radicular, hace que las plantas disponga mayores posibilidades para su alimentación (Navarro y Navarro, 2014).

2.4.6 Factores influyentes en la absorción mineral

Las cantidades de iones minerales absorbidos dependen de las condiciones físicas en la que vive la planta: composición y pH de la solución del suelo, temperatura, iluminación, aireación del medio. El estado fisiológico interno de la planta (fase de desarrollo, edad, estado hormonal) juegan igualmente un papel muy importante en la absorción (Mazliak, 1979).

Las curvas de respuesta a un elemento mineral son afectadas marcadamente por las condiciones de desarrollo de las plantas, entre las que se incluye asimismo la disponibilidad de los restantes elementos minerales (Guardiola y García, 1990). La influencia de las condiciones ambientales en las curvas de respuesta adopta una forma similar a la descrita para el efecto de otros nutrientes. También agregan que la humedad del suelo también manifiesta un claro efecto en la respuesta de la absorción de minerales y que influye sobre la capacidad de suministro sobre la producción de biomasa.

Por su parte Mengel y Kirby (2001) sostienen que la disponibilidad de nutrientes, implica definir el estado físico y químico del nutriente en el suelo así como las relaciones raíz planta que incluyen el metabolismo vegetal. Por lo que los factores relativos a la disponibilidad de nutrientes como: (a) intercepción e intercambio de contacto, (b) flujo en masa y difusión, (c)

concentración del suelo, (d) intensidad y cantidad, (e) crecimiento de las raíces y morfología, (f) exudación radicular y rizosfera y (g) micorrizas, estos factores influyen en su capacidad de absorción y disponibilidad de manera cuantitativa.

2.4.7 Adsorción y de cambio de iones en el suelo

Adsorción es el fenómeno por el cual una sustancia, atraída por fuerzas electrostáticas, de Van der Waals o químicas, se une a la superficie de otra por un periodo más o menos corto. Según la naturaleza de las fuerzas que intervienen en la unión, se habla de cambio iónico cuando estas son electroestáticas, de adsorción física, cuando son de Van der Waals, y de adsorción química o quimisorción, cuando intervienen fuerzas químicas, especialmente uniones covalentes de diferentes tipos (Bornemisza, 1982).

El mecanismo de intercambio de cationes consiste entre los cationes adsorbidos sobre las superficies cargadas y los cationes de la solución suelo. Los equilibrios existentes entre los sitios de intercambio y la solución del suelo, son causa de que las concentraciones de cationes absorbidos determinen, en gran parte, la estabilidad de las concentraciones de iones disueltos. Incluso los cambios debidos a factores externos, como la absorción por las plantas o las aplicaciones de fertilizantes suelen ser pequeños, porque los cationes absorbidos reaccionan con los disueltos (Thompson y Troeh, 2018).

Por otra parte Porta *et al.* (2013) sostienen que la secuencia de los cationes básicos: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$, se explica por la mayor afinidad del cambiador por los cationes de mayor carga y, de igual carga, por aquellos cuya esfera de hidratación sea menor. Durante los periodos húmedos del año, el agua de lluvia provoca dilución de la fase líquida del suelo, de manera que los cationes monovalentes que son menos atraídos frente a los divalentes tenderán a difundirse desde la interfase a la fase líquida para equilibrar la concentración. Ello hace que pueda perderse por lixiviación con el agua de drenaje. Lo contrario ocurre al concentrarse la fase líquida al secarse el suelo, en estas condiciones la adsorción favorece a los monovalentes, si bien los divalentes no se pierden, ya que en ese momento no hay lavado. Ello explica que en un clima templado con estaciones húmedas, los cationes monovalentes sean minoritarios en el complejo de cambio, incluso si abundan en el material originario.

Bornemisza (1982) señala que cuanto mayor es la densidad de carga de las superficies de los minerales, mayor puede ser la fijación, esto explica que al observar sistemas de diferentes capacidades de cambio catiónico se vio que los de elevada densidad de carga superficial y, por tanto, gran cantidad de cambio, como las montmorillonitas, retienen en forma preferencial los iones divalentes. Así mismo refiere que al disminuir la capacidad de cambio catiónico de diferentes minerales disminuye la relación Ca/K de iones retenidos.

La retención de aniones por ciertos suelos, sobre todo del fosfato, no resulta de un solo proceso sino que es la suma de varios fenómenos que ocurren en secuencia. En general, las reacciones no son estequiométricas, ni tan rápidas como las de cambio catiónico. La adsorción de algunos otros aniones, como los cloruros y nitrato, es mucho más débil y estos son desplazados por los aniones que forman compuestos insolubles (ortofosfatos, fluoruros, arseniatos, citratos). En general, aunque se tenga una serie de aniones en orden, como uno desplaza al otro, las reacciones de cambio no son estrictamente cuantitativas como sucede en el caso de los cationes. Se estima que el orden aproximado de desplazamiento en los aniones inorgánicos más frecuente es como sigue: $\text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- = \text{Cl}^-$ (Bornemisza, 1982).

Los factores de absorción de aniones viene controlada, entre otros factores, por la naturaleza, tamaño y morfología de las partículas del sustrato sorbente, el pH del medio, el anión al cual está enfrentado el sorbente, la concentración en la disolución exterior y la presencia de cationes complementarios (Porta *et al.*, 2013). Así mismo agregan que los mecanismos de adsorción de aniones se caracterizan por: (a) selectividad en la adsorción, (b) reacciones de superficie con formación de complejos de esfera interna y de esfera externa, (c) adsorciones reversibles y sorciones reversibles.

.2.5 Rol de los Macronutrientes

El contenido de un nutriente en un órgano vegetal no se relaciona necesariamente con la cantidad requerida para soportar los procesos bioquímicos y fisiológicos. El aporte y la absorción de compuestos químicos necesarios para el crecimiento y el metabolismo siendo imprescindible para el desarrollo de las plantas, su acción debe ser directa en la nutrición de la planta y no a través de su acción indirecta en el suelo o medio de cultivo (Echevarría y

García, 2003). Por otra parte Fageria *et al.* (2006) señalan que una vez adquirido por la planta, los nutrientes en su mayoría pueden ser asimilados, entendiéndose por tal incorporación de los compuestos orgánicos necesarios para la vida vegetal. En otros casos, su acción tiene lugar como activadores o cofactores de enzimas. Y muchos pueden también jugar como iones en solución, papeles fundamentales en el funcionamiento de la planta.

Las plantas obtienen del suelo los macronutrientes que son requeridos relativamente en grandes cantidades: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, se encuentran en cantidades mayores de 0.05 por ciento en peso seco y se designa con el nombre de macronutrientes. Por ello el crecimiento de la planta puede reducirse notablemente cuando hay escasez de ellos en el suelo, porque resulten asimilable o porque no mantengan un equilibrio adecuado con los otros elementos esenciales (Marschner, 2012).

2.5.1 Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los elementos esenciales que en mayor cantidad consumen las plantas y un factor determinante en el desarrollo y crecimiento de los vegetales; por tanto, sus efectos en las plantas son precisos y se aprecian rápidamente. Una vez incorporado a ellas es muy móvil (Lozano y Jurado, 2018).

El nitrógeno es un constituyente de los más importantes compuestos y complejos orgánicos minerales de la planta. El contenido de la planta en nitrógeno varía entre el 2 y el 4 por ciento de la materia seca (Domínguez, 1997). Sin embargo el nitrógeno es un constituyente elemental de numerosos compuestos orgánicos de importancia general (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos).

Guzmán (2004) menciona, que el nitrógeno es absorbido, tanto en forma nítrica (ión nitrato NO_3^-), como ión amoniacal (ión amonio NH_4^+), siendo ambos metabolizados por la planta. Sin embargo, es la forma nítrica la que es absorbida preferentemente. El ion nitrato es absorbido por la planta con actividad metabólica, es decir, con consumo de energía. También indica que algunos factores, como la temperatura, aireación, humedad y el pH, parecen afectar de modo distinto la absorción de ambas formas de nitrógeno. Así, la forma amoniacal parece más favorecida a baja temperatura, en tanto que la forma nítrica es a bajo pH. La

forma ureica es transformada en amoniacal rápidamente en el suelo, también puede ser absorbida directamente por las plantas, aunque muy lentamente en relación con la forma nítrica.

El transporte de NO_3^- es usualmente alta y esto es favorable de las bajas condiciones de pH, cuando las plantas absorben altos niveles de NO_3^- , existirá un aumento del anión orgánico dentro de la síntesis la planta que se asocia con un correspondiente incremento en la acumulación de cationes inorgánicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+). El crecimiento será en un medio alcalino y con algo de HCO_3^- hace que se libere las raíces del mantenimiento electro neutral en la planta y en la solución suelo (Havlin *et al.*, 1999). Por otro lado, el nitrato absorbido es cotransportado con H^+ contribuyendo así a la alcalinización de la rizosfera y del apoplasto, lo que puede disminuir la absorción de hierro por las plantas. Las plantas absorben también pequeñas cantidades de nitrógeno orgánico principalmente en forma de aminoácidos, sin embargo no existen evidencias de que el nitrógeno orgánico contribuya significativamente a la nutrición de la planta (Villalobos y Fereres, 2017).

Thompson y Troeh (2018) refieren, que el traslado de NH_4^+ en algún momento se forma a valores de pH neutral y es depresivo del incremento de la acidez. La absorción de NH_4^+ de las raíces reduce Ca^{2+} , Mg^{2+} , y K^+ transportando tan solo incrementos absorbidos de H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , y Cl^- . El NH_4^+ es tolerante a los límites y escasez. Altos niveles de NH_4^+ alcanza retardar el crecimiento, restringiendo el traslado de K^+ , y produciendo síntomas deficientes de K^+ . En contraste, las plantas tolera largos excesos de NO_3^- y acumulándose altos niveles en los tejidos.

Por su parte Melgar y Díaz (2008) hacen referencia que el nitrógeno mineral resultante del proceso de mineralización es susceptible de sufrir transformaciones posteriores, tales como volatilización, lixiviación o desnitrificación, procesos que implican una salida irreversible del nitrógeno del sistema suelo planta y aumenta el riesgo de contaminación ambiental.

El nitrógeno absorbido por las raíces de las plantas es translocado por el xilema a las partes superiores de la planta. La forma en que se da la translocación del nitrógeno depende del

metabolismo radicular y de la fuente de nitrógeno. Según Martins (1970) citado por Mengel y Kirby (2001) señala, casi todo el nitrógeno NH_4^+ absorbido es asimilado en el tejido radicular y redistribuido como aminoácidos. El nitrógeno NO_3^- puede translocarse inalterado a los brotes y hojas pero depende del potencial de reducción de nitratos en las raíces. Por lo tanto la translocación del nitrógeno es un proceso importante para la vida de las plantas. Las hojas jóvenes son alimentadas con aminoácidos hasta que alcanzan la madurez. Las hojas viejas o maduras muestran la menor importancia de nitrógeno marcado.

Los altos contenidos de nitrato son de uso limitado para el metabolismo vegetal del nitrógeno. Además, en las células individuales el nitrato es almacenado casi exclusivamente en las vacuolas. Aunque la tasa de liberación de nitrato de las vacuolas en las células foliares se incrementa al disminuir la importación de nitrato hacia la hoja, la liberación desde la vacuola en el citoplasma puede ser un paso que limite la tasa de reducción del nitrato, y de este modo la utilización del nitrato, y de este modo la utilización del nitrógeno almacenado en los procesos de crecimiento (Marschner, 2012). Por consiguiente, la intensidad del metabolismo nitrogenado y, particularmente, la tasa de síntesis proteica, parece controlar la absorción de nitrógeno por las diferentes partes de la planta.

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno en las plantas son de: (a) crecimiento lento; plantas achaparradas; (b) coloración verde amarilla (clorosis); (c) muerte (necrosis) de puntas y bordes de las hojas, empezando por las hojas maduras. Por lo general, la clorosis es más evidente en los tejidos más viejos. Puesto que el nitrógeno es móvil dentro de las plantas, tiende a moverse de los tejidos más viejos a los tejidos más jóvenes cuando el suministro es bajo (Guzmán, 2004).

2.5.2 Fósforo

El fósforo presenta en las plantas rangos entre 0.02 y 0.15 por ciento. Considerándose bajos frente al nitrógeno y potasio, la absorción en las plantas se encuentra en las formas de iones ortofosfatos H_2PO_4^- o HPO_4^{2-} . La absorción de H_2PO_4^- es fijado a bajo valores de pH, como también el HPO_4^{2-} es fijado a altos valores de pH de suelo. Muchas plantas absorben también ciertas cantidades de fosfatos orgánicos. El ácido nucleico y fitina producirá la degradación

de productos de la descomposición de la materia orgánica del suelo y sea disponible para el crecimiento de las plantas. Sin embargo la inestabilidad del contenido de fósforo orgánico está determinado por la presencia de la población microbial activa, siendo esta fuente importante pero tan limitada para las plantas superiores (Havlin *et al.*, 1999).

La mayor parte de la cantidad de fósforo que existe en el suelo está ligada químicamente en compuestos muy pocos solubles. Lo anterior no es necesariamente una característica negativa de este elemento, pues la limitada solubilidad hace que sea lavado de la zona radical (Guzmán, 2004). Asimismo, destaca la solubilidad del fosfato está controlada por varios factores uno de ellos es la cantidad total de fósforo del suelo, mayor es la posibilidad de tener más fósforo en solución. Durante los periodos de crecimiento vegetal rápido, el fósforo presente en la solución del suelo puede ser reemplazado 10 veces o más al día a partir de formas en fase sólida. Las temperaturas frías del suelo con frecuencia inducen deficiencia de fósforo en las plantas a causa de un crecimiento y un desarrollo limitados a la raíz. La disponibilidad máxima del fósforo en el suelo ocurre en un pH entre 6.5 y 7.5.

Las concentraciones óptimas de fosfatos en la solución suelo difieren probablemente según los cultivos individuales, los sistemas de cultivo y los lugares en particular. La concentración de fósforo de la solución del suelo y la capacidad reguladora de fosfato son los parámetros más importantes que controla el suministro de fosfato a las raíces de las plantas. La concentración óptima de fósforo de la solución de suelo puede ser así baja, si la capacidad reguladora de fosfato es alta y viceversa (Mengel y Kirby, 2001).

Cuando las plantas se desarrollan en un suelo, solo una pequeña cantidad de fósforo entrara en contacto con la superficie radicular, que será absorbido rápidamente, lo que requiere su reemplazamiento para permitir el normal desarrollo de las plantas, por flujo de masas vendrá condicionado por la toma de agua por parte de la raíz, y el aporte está determinado por su concentración en la disolución del suelo. De esto se desprende que la difusión será de gran importancia en el transporte de fósforo en los suelos (Juárez y Sánchez, 1996).

El fósforo, una vez absorbido, es muy móvil en la planta y se incorpora rápidamente al metabolismo. En primer lugar, se producen azúcares y alcoholes fosforados como productos intermedios, así como los fosfolípidos que son compuestos básicos de las membranas

celular. El compuesto orgánico más importante en el que interviene el fósforo por su papel en el almacenamiento y transporte de la energía es el trifosfato de adenosin ATP que se forma en la reacción de fosforilación (Domínguez, 1997).

La absorción de fósforo por las plantas es solo el primer paso en la utilización por parte de éstas del fósforo medioambiental. La toma acumulativa de fosforo por las células corticales de la raíz al xilema. El fósforo transportado por el xilema es en su mayor parte fósforo inorgánico; una aquí es distribuido a todas las partes de la planta. No detiene su movimiento cuando alcanza la hoja o los puntos de crecimiento ya que el fósforo y junto con el nitrógeno, son los nutrientes más rápidamente translocado (Juárez y Suarez, 1996). También señalan que a los diez minutos de la toma, el 80 por ciento del fósforo se habría incorporado a compuestos orgánicos. Por otro lado cuando las envejecen, más del 60 por ciento del fósforo se puede translocar a través del floema a otras partes de la planta, particularmente a puntos de crecimiento o frutos en desarrollo.

Las respuestas adaptables para la creciente adquisición de fósforo por las raíces, no solo se retarda la tasa de crecimiento caulinar por limitación por fósforo sino también la formación de órganos reproductivos. Se retrasa la iniciación floral, disminuye el número de flores, y en particular se limita la formación de semillas (Marschner, 2012).

2.5.3 Potasio

El potasio de la solución del suelo es directamente disponible por la planta y bajo condiciones específicas puede ser percolado constituyendo a veces una pérdida de potasio en el suelo; la que puede variar entre 5 y 250 kg/ha de potasio y año según las condiciones de potasio, intensidad de precipitación pluvial y cobertura vegetal (Fassbender, 1994).

También agrega Melgar y Díaz (2008) el potasio presente en el suelo fue por mucho tiempo la única fuente de K^+ para las plantas. La fuente principal de potasio para el crecimiento de las plantas en condiciones naturales viene de la meteorización de minerales que contienen potasio. De modo que la presencia en el suelo de minerales ricos en este nutriente es un factor determinante de la respuesta a la fertilización potásica.

El potasio en solución suelo que puede alcanzar las raíces de las plantas por difusión, con el flujo de agua absorbidas por estas o por elongación de las propias raíces. Al efectuar la absorción de K^+ , la raíz puede mantener el equilibrio eléctrico mediante uno de los procedimientos siguientes: intercambiar otro catión, como H^+ , por K^+ o bien, absorber un anión, como NO_3^- o $H_2PO_4^-$, junto con el K^+ . El potasio disuelto es muy importante, debido a su inmediata y completa disponibilidad. Los iones de K^+ cambiables no pueden desplazarse a las raíces a menos que sean sustituidos por otros cationes en los puntos de intercambio (Havlin *et al.*, 1999).

Por lo tanto el resultado neto de la liberación de potasio no cambiante, a lo largo del año, es una variación cíclica de la provisión disponible de este elemento. La provisión es máxima al principio de la época vegetativa, antes de que las necesidades de las plantas sean importantes; desciende durante la fase de crecimiento rápido y alcanza un mínimo al final de la época vegetativa. Durante el periodo de inactividad de la vegetación, tiene lugar un gradual aumento del potasio disponible gracias a la progresiva liberación de este elemento (Thompson y Troeh, 2018).

Mengel y Kirby (2001) sostienen, el potasio está implicado en el crecimiento meristemático. Este proceso de crecimiento se inicia por una ATPasa localizada en el plasmalema, que bombea H^+ fuera del citoplasma hacia el apoplasto. También agregan que el potasio es de máxima importancia para la condición hídrica de las plantas. Las menores pérdidas de agua de las plantas bien suministradas con K^+ se deben a una reducción en la tasa de transpiración producto de la influencia del K^+ en la apertura y cierre de estomas. Así mismo refieren que el potasio interviene en el proceso de fotosíntesis y translocación de fotosintatos, por lo que el ion K^+ tiene influencia sobre el transporte de electrones en la cadena fotosintética y promueve la translocación de fotosintatos, también es responsable de la movilización de las proteínas almacenadas en hojas y tallos y promoviendo la translocación de compuestos nitrogenados en las semilla, por lo que, el potasio es responsable tanto de la carga como la descarga del floema, y por lo tanto tiene una considerable influencia sobre el transporte.

Después del nitrógeno, el potasio es el nutriente mineral requerido en mayor cantidad por las plantas. El requerimiento del potasio para el óptimo crecimiento vegetal está en el rango

de 2 a 5 por ciento del peso seco vegetal de partes vegetativas, frutos carnosos, y tubérculos. Cuando el potasio es deficiente, se retarda el crecimiento, y se realiza la retranslocación neta del potasio desde hojas y tallos maduros, y bajo deficiencia severa estos órganos vuelven cloróticos y necróticos, dependiendo de la intensidad lumínica a la que se exponen las hojas. Cuando es limitado el suministro de agua del suelo, la pérdida de turgor y marchitamiento son síntomas típicos de la deficiencia de potasio (Marschner, 2012). También destaca, la menor sensibilidad de estrés por sequía en términos de producción de biomasa y rendimiento también puede ser el resultado de mayores concentraciones de potasio en el estroma y correspondientes tasas de fotosíntesis.

Por otro lado, Marschner (2012) menciona que al incrementar el suministro radical de potasio es relativamente fácil incrementar el contenido de potasio en varios órganos. Cuando el suministro de potasio es abundante se presenta frecuentemente el consumo de lujo de potasio, lo que merece atención por su posible interferencia con la toma y disponibilidad fisiológica del magnesio y calcio.

2.5.4 Calcio

El calcio en el suelo y en las plantas, se encuentra en forma de catión divalente (Ca^{2+}). Una tendencia a que el porcentaje de calcio, en el suelo, desciende gradualmente, conforme progresan la meteorización y el lavado. La pérdida de calcio de los suelos de regiones húmedas sería, sin duda, mucho más rápida, si los iones de calcio no fueran tan firmemente retenidos en los puntos de intercambio catiónico. La gran concentración de calcio en los puntos de intercambio catiónico es consecuencia del tamaño del ion calcio hidratado. El exceso de carbonato de calcio tapona el pH en un valor próximo a 8, que suele dar lugar a una baja solubilidad del fósforo, hierro, manganeso, boro y zinc. Causando deficiencia de esos nutrientes esenciales para las plantas. El calcio disuelto en la solución del suelo puede trasladarse por flujo de masa y por difusión, pero el calcio cambiante posee muy escasa movilidad (Thompson y Troeh, 2018).

Las plantas superiores frecuentemente contienen calcio que suelen ser del orden de 0.1 y mayores de 5.0 por ciento del peso seco dependiendo del crecimiento, especie vegetal, y órgano vegetal (Marschner, 2012). Estos altos contenidos de calcio, sin embargo, con

resultado de altos niveles de calcio en la solución suelo más que la eficiencia del mecanismo de absorción de calcio de las células de raíz. La tasa de absorción de calcio, sin embargo, es generalmente menor que la del potasio. Este bajo potencial de absorción de calcio puede ser absorbido solo por los ápices más jóvenes de la raíz, donde las paredes celulares de la endodermis están aún sin suberizar.

La absorción de calcio puede también verse deprimida por la presencia competitiva de otros cationes como potasio, magnesio y amonio, que son rápidamente absorbidos por las raíces. A medida que las raíces se envejece, la endodermis se suberiza impidiendo el movimiento radial del calcio por la ruta simplástica. El movimiento de calcio desde la corteza al tallo esta por lo tanto restringido a la ruta apoplasmática. En contraste, el transporte de potasio y del fosfato se da a lo largo a toda la longitud de la raíz (Mengel y Kirby, 2001).

La absorción de calcio es principalmente un proceso pasivo. Lo mismo que sostiene para la translocación del calcio dentro de la planta. El calcio en la savia del xilema se transloca en dirección ascendente con la corriente de transpiración. Así, en gran medida, la intensidad de transpiración controla la tasa de translocación de calcio hacia arriba. La importancia de las reacciones de intercambio en el movimiento del calcio resulta particularmente evidente en los estudios de órganos individuales de plantas, donde la correlación entre intensidad de transpiración y absorción de calcio, es mucho menos estrecha que para la planta en su totalidad (Havlin *et al.*, 1999).

Las plantas en crecimiento hay pruebas de que el calcio se transloca preferentemente hacia el ápice de los brotes aun cuando la tasa de transpiración aquí es mucho más baja que en las hojas más maduras. La tasa de translocación descendente de calcio es muy baja ya que el calcio se transporta en concentraciones muy bajas en el floema (Mengel y Kirby, 2001). También, agregan que, el calcio se deposita en las hojas más viejas, este no puede movilizarse a los brotes en crecimiento. Como resultado de la baja concentración de calcio en el floema, todos los órganos de la planta que son provistos ampliamente con nutrientes contenidos en dicha savia son bastante pobres en calcio, mientras que, por otra parte, los contenidos de potasio son relativamente altos en estos órganos, por lo que indican que un

pobre suministro de calcio a frutos y órganos de reserva puede resultar en deficiencias de calcio en estos tejidos.

2.5.5 Magnesio

El magnesio es un constituyente de la clorofila, por lo que una parte apreciable del contenido total en la planta se halla en los cloroplastos de las células de las hojas. El contenido normal en la planta, expresado en materia seca, es del orden del 0.5 por ciento (Domínguez, 1997).

El requerimiento de magnesio para el óptimo crecimiento vegetal está en el rango de 0.15 a 0.36 por ciento del peso seco de las plantas vegetativas. La clorosis en hojas completamente expandidas es el síntoma visible obvio de deficiencia de magnesio (Marschner, 2012). Por otro lado señala que la aparición de síntomas ligeros y transitorios de deficiencia de magnesio se presenta durante la etapa de crecimiento vegetativo, sin embargo, no está asociado con una depresión en el rendimiento final a menos que ocurran cambios irreversibles, como una reducción en el número de semillas en el fruto. A un suministro radical permanentemente insuficiente, la removilización del magnesio desde las hojas maduras reduce la duración del área foliar como se indicó. Cuando el magnesio, es deficiente y se deteriora la exportación de carbohidratos desde la fuente a la demanda, hay también una disminución en el contenido de almidón en los tejidos de almacenamiento.

La competencia de cationes puede jugar un papel principal y la absorción de magnesio puede verse seriamente afectada por exceso de otras especies catiónicas, especialmente potasio (K^+) y amonio (NH_4^+). Esta competencia puede conducir a una deficiencia de magnesio en las plantas. No solo la absorción sino también la translocación de magnesio de las raíces a las partes superiores de las plantas puede restringirse por el potasio y el calcio (Mengel y Kirby, 2001). Aunque altos niveles de nutrición potásica frecuentemente deprimen la absorción total de magnesio, un aumento del suministro de potasio afecta al contenido de magnesio de los diferentes órganos de las plantas. En contraste con el calcio, el magnesio es muy móvil en el floema y puede ser translocado desde las hojas más viejas a las más jóvenes o a los ápices. Lo mismo se cumple para el potasio. Como los frutos y los tejidos de reserva son altamente dependientes del floema para el suministro de minerales, presentan niveles más altos de potasio y magnesio que el calcio.

Las deficiencias de magnesio son comunes en suelos arenosos de regiones lluviosas, las adiciones abundantes de sales fertilizantes, especialmente de potasio, cloruros y sulfatos, ayudan a lavar el magnesio del perfil del suelo y desarrollar sus deficiencias, a lo mismo que el uso de agua de riego con una alta relación de Ca/Mg (Alcantar y Trejo, 2007).

2.5.6 Azufre

El azufre se comporta como el nitrógeno. Ambos se hallan incluidos en compuestos orgánicos, unidos por enlaces covalentes de carbono. Como el nitrógeno, el azufre forma aniones solubles que pueden perderse, por lavado, cuando aumenta la concentración en la solución del suelo. Sin embargo en presencia de mucho calcio, la solubilidad del azufre es limitada (Thompson y Troeh, 2018).

El follaje de plantas saludables contiene generalmente entre 0.1 y 0.5 por ciento de azufre en el peso seco de la planta y, representa un décimo del contenido de nitrógeno. Como consecuencia de ello, la cantidad de azufre exportada por los cultivos es muy variable. El azufre ingresa en la raíz mayoritariamente como ion sulfato y es transportada via xilema a la parte aérea por el flujo transpiratorio. Debido a que la concentración del sulfato en el citoplasma es relativamente constante, el exceso de sulfato es depositado en la vacuola. Si bien este compartimiento constituye una reserva para los vegetales, la removilización de este sulfato es relativamente lenta, puesto que es liberado solo ante condiciones de estrés prolongado. El sulfato es reducido en los cloroplastos, por depender de la intensidad de la luz, y luego es asimilado siendo el producto más generalizado los aminoácidos azufrados (Echevarría y García, 2003).

La absorción del azufre por las raíces, es un proceso que requiere energía y por esto, en condiciones de buena iluminación, se realiza mejor. Después de la absorción, el sulfato se traslada al xilema donde la corriente transpiratoria es llevada a las hojas. En este sitio el sulfato es reducido e incorporado en los compuestos orgánicos. Se sabe que la absorción del sulfato, junto con otros factores de suelo, se ve también influida por los otros iones absorbidos al mismo tiempo (Bornemisza, 1990).

2.6 Contenido mineral de los tejidos vegetales

A pesar de que el contenido mineral de los tejidos vegetales es del orden de solo 2 a 3 por ciento de la materia seca, ellos tienen una enorme importancia porque capacitan a la planta para formar el material orgánico (fotosíntesis). En consecuencia, el contenido mineral de las plantas tiene significación fisiológica y práctica. Asimismo, el principal factor que controla el contenido mineral del material vegetal es el potencial específico de absorción para los diferentes nutrientes, el cual está determinado genéticamente. El segundo factor que controla el contenido de mineral de las plantas es la disponibilidad de nutrientes en el medio nutritivo (Quevedo y Villagarcía, 1986).

Los rangos de niveles adecuados de concentración (tabla 1) representa como guía en el análisis foliar para el cultivo de pimiento paprika de los macronutrientes y los valores normales se presenta de la siguiente forma: 3.0 a 6.0 por ciento de nitrógeno (N), 0.40 a 0.80 por ciento de fósforo (P), 4.0 a 6.50 por ciento de potasio (K), 0.75 a 2.50 por ciento de calcio (Ca), 0.5 a 1.0 por ciento de magnesio (Mg), 0.3 a 0.6 por ciento de azufre (S) (Ramírez, 2000).

Tabla 1: Rangos de concentraciones de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annuum* L.)

Elemento	Unidades	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Nitrógeno	%	< 3.00	3.00 - 4.00	4.01 - 5.00	5.01 - 6.00	> 6.00
Fósforo	%	< 0.20	0.20 - 0.30	0.31 - 0.70	0.71 - 0.80	> 0.80
Potasio	%	< 3.50	3.50 - 4.50	4.51 - 5.50	5.51 - 6.00	> 6.00
Calcio	%	< 0.50	0.50 - 2.00	2.01 - 4.00	4.01 - 5.00	> 5.00
Magnesio	%	< 0.50	0.50 - 1.00	1.01 - 1.70	1.71 - 2.50	> 2.50
Azufre	%	< 0.30	0.30 - 0.40	0.41 - 0.50	0.51 - 0.60	> 0.60

FUENTE: Ramírez (2000)

La concentración de un elemento en las hojas puede incidir sobre la concentración de un elemento, puede ir acompañado de la disminución o aumento en la concentración de otros elementos. En el primer caso hay antagonismo y, en el segundo, sinergismo entre los respectivos elementos. Una interacción común ocurre entre potasio, calcio y magnesio: un aumento de la concentración de uno de ellos en las hojas u otros órganos de la planta tiende a disminuir la concentración de los otros dos, ya que la suma de estos cationes, en términos de equivalentes químicos, tiende a ser constante en una hoja de determinada edad (Román, 2002).

La concentración del nutriente en la planta es un dato importante para los programas de manejo de fertilizantes y puede ser usado como ayuda para establecer recomendaciones de fertilización. Conforme las plantas absorben nutrientes del suelo, completan su ciclo de vida y mueren, los nutrientes en los residuos de las plantas son devueltos al suelo (Azabache, 2003).

2.7 Diagnostico nutricional y análisis foliar

El diagnostico foliar es un método de evaluación del estado nutricional de los cultivos en que se analizan determinadas hojas en periodos definidos (Malavolta *et al.*, 1989). También indican que la composición mineral de las hojas u otros dos elementos encontrados, es consecuencia de efectos de los factores: planta o cultivo, características edáficas, condiciones climáticas del lugar, prácticas culturales y estado sanitario del cultivo, que actúan a veces, íntegramente en el momento en que el órgano vegetal es recolectado.

Por otra parte, Bazán (1996) agrega que el diagnóstico del estado nutricional de una planta se puede hacer con base a observaciones visuales de síntomas de deficiencia o de exceso, con base a análisis de suelos o con base de análisis del tejido vegetal. De los tres anteriores, el análisis de tejido vegetal, tiene la ventaja de medir el contenido total del nutriente y, no solo, la parte disponible tal como sucede en los análisis de suelos. Sin embargo el contenido de los nutrientes varía bastante entre los diferentes órganos de la planta (hojas, peciolo, tallos, raíces, etc.), con la edad del tejido (hojas jóvenes o viejas) y con la edad de la planta.

Cuando se presentan, síntomas agudos de deficiencia, es importante conocer si el elemento se recicla de hojas viejas a las jóvenes. Si un elemento es inmóvil la deficiencia aparece, primero, en hojas jóvenes, mientras que si es móvil en el interior de la planta la deficiencia se presenta en las hojas viejas. Se considera macroelementos móviles: nitrógeno (N), potasio (K), magnesio (Mg), fosforo (P) y macroelementos inmóviles: calcio (Ca), azufre (S) (Uson *et al.*, 2010).

Cuando se toman muestras de plantas de las misma parte anatómica y en la misma etapa de crecimiento, pueden establecer ciertos niveles críticos, cuando el resultado del análisis es un valor superior al nivel crítico, la planta tiene un adecuado nivel de nutrimento en

consideración, y cuando la concentración está por debajo de dicho nivel, entonces la planta presenta una deficiencia del nutrimento (Rodríguez y Rodríguez, 2011).

Román (2002) y Cadahia (2008) refieren, que las técnicas del análisis de plantas comparte varios pasos: muestreo, preparación de la muestra, análisis del laboratorio e interpretación. Finck (2013) también destaca la importancia de las fases de un análisis de planta como es: (1) toma de muestras en el momento adecuado, (2) toma de muestras de la zona adecuada de la planta, (3) toma de muestras representativas, (4) preparación inmediata y esmerada de la muestra (lavado, secado y molienda), (5) análisis químico, (6) cálculo de la concentración (contenidos) y (7) interpretación de los resultados obtenidos.

De acuerdo, a lo señalado por Alcantar y Trejo (2007) para una efectiva interpretación de los análisis químicos de tejido vegetal, proponen los diversos métodos de interpretación de los análisis químicos de tejido vegetal para evaluar el nivel de nutrición de los cultivos de interés agrícola: (a) métodos estáticos (nivel crítico, rango de suficiencia, y desviación del óptimo porcentual, (b) métodos dinámicos (sistema integrado de diagnóstico y recomendación, diagnóstico diferencial integrado y balance nutriente evolutivo).

Por lo tanto, el análisis de plantas se emplea para: (a) confirmar diagnósticos elaborados a partir de síntomas visuales, (b) identificar el hambre oculta donde no aparecen síntomas, (c) determinar si la planta ha absorbido los nutrientes que le han sido aplicados, (d) estudiar el funcionamiento interno de los nutrientes en las plantas y (e) sugerir análisis o estudios adicionales en la identificación de un problema de producción de un cultivo (Jensen *et al.*, 2012).

2.8 Formación y distribución de la materia seca

La producción de materia seca es resultante de la relación entre fuente y demanda fisiológica que interactúan con las velocidades de fotosíntesis y de respiración. Las velocidades de estos procesos fisiológicos difieren entre los órganos de la planta, por la edad, las condiciones del medio externo. Es necesario comprender para cada estado fenológico de las plantas de los procesos de acumulación de materia seca y de carbohidratos en cada órgano durante el crecimiento (Tanaka y Yamaguchi, 1984).

Sin embargo, la productividad de materia seca se daña con frecuencia por las condiciones ambientales desfavorables, que comprende la temperatura, la humedad disponible, la reacción del suelo, los nutrientes minerales disponibles, la energía radiante y otros factores bióticos, como los insectos, las enfermedades y plantas nocivas (Metcalf y Elkins, 1987).

En las plantas anuales como el crecimiento suele ser más rápido, las desproporciones entre los elementos pueden ser mayores. Por consiguiente, el contenido de materia seca no depende solamente de la tasa de transpiración, sino también de la movilidad por el floema de los diferentes iones, de su redistribución y de las tasas de crecimiento, ya que este significa dilución y puede determinar cambios importantes en la resultante. Dado que, mientras el vegetal es joven, acumula nutrientes de forma más rápida que sintetiza materia orgánica, mientras sucede lo contrario en la madurez, existe una declinación de la concentración de nutrientes móviles correlativos al aumento de la edad (Martínez, 1995).

La producción de biomasa neta por campos de cultivo es definido como la materia seca total de la planta y la materia seca de la parte económicamente útil que puede ser producido por cultivos sanos con suministro adecuado de agua y nutrientes. Por lo tanto, los valores cuantificados representan el límite máximo que un cultivo puede producir, cuando las adversidades agronómicas y los factores que reducen el rendimiento son reducidos al mínimo (García, 1992).

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa (materia fresca y seca) en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Así la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo. Los asimilados producidos por la fotosíntesis en los órganos fuente (principalmente en las hojas), pueden ser almacenados o distribuidos via floema entre los diferentes órganos sumideros de la planta (Peil y Gálvez, 2005).

La materia seca permite contener minerales que pueden ser esenciales para las plantas, que los absorbe por flujo de masa, difusión o intercepción radicular y, que durante su desarrollo

fenológico la planta sufre una diversidad de cambios en su capacidad de absorber minerales, de translocarlos y de asimilarlos (Villagarcía y Aguirre, 2014).

Azofeifa y Moreira (2008) y Arteaga (2012) determinaron que, la acumulación máxima de materia seca en los *Capsicum annuum* L., ocurrió entre los 45 a 120 días después del trasplante, con incrementos ligeros hasta el último muestreo para ambas cultivares de pimiento.

Urcia (2012) observó que, la acumulación de materia seca en los órganos del pimiento se caracteriza por ser bastante constante durante todo el ciclo de crecimiento. Para el caso de los tallos y hojas presentó tres fases: (a) desde el trasplante hasta los 60 ddt, los incrementos fueron leves; (b) de los 60 ddt hasta los 90 ddt, se observaron incrementos muy pronunciados que comprendió el periodo de floración e inicio de la fructificación; (c) de los 90 ddt hasta los 120 ddt, donde el peso seco se mantiene relativamente estable en hojas y tallos. Con respecto a los frutos la producción de frutos se inicia a los 60 ddt, el peso de los frutos se incrementó hasta el inicio de la cosecha. También destaca que al incrementarse el peso seco de los frutos, las tasas de crecimiento de tallos y hojas disminuyen, siendo el fruto el principal sumidero de fotosintatos.

Castillo (2014) encontró que, posterior a los 45 días después del trasplante (ddt) empieza a incrementarse con mayor intensidad de acumulación de materia seca. Por otra parte Tirado (2014) determinó que la distribución de materia seca se daba en el orden de; 48 por ciento en el tallo, un 30 por ciento en la hoja y el 22 por ciento restante hacia los frutos.

2.9 Extracción de nutrientes en el pimiento

La extracción de nutrientes es la cantidad consumida, absorbida o requerida por una planta y que contempla varias etapas, preferiblemente asociadas a cambios fenológicos importantes durante el ciclo de vida del cultivo, por lo que se puede elaborar las curvas de extracción, que permiten establecer las distintas respuestas como; los momentos de máxima absorción que tiene el cultivo, el grado de reciclaje o retorno al sistema que tiene cada nutrimento, posibles de o no translocación de nutrientes y maximización de la eficiencia en el tiempo. Por otro lado, para que los resultados de absorción resulten extrapolables a otras situaciones

más allá de las circunstancias particular en la que se efectuaron es necesario que se realicen bajo condiciones nutricionales y ambientes óptimas y con variedades definidas (Bertsch, 2003).

La exportación de macronutrientes por cosecha de material vegetal es la principal vía de salida del nutriente en un agroecosistema. El nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre pasa del suelo a la planta por el proceso de absorción y una proporción del mismo es cosechada. La cantidad de nutrientes esenciales que absorbe un cultivo depende de la producción de biomasa que logre y de la concentración de los nutrientes en los distintos órganos de la planta, lo que está regulado por el ambiente, el manejo y el genotipo (Álvarez *et al.*, 2012).

La demanda de nutrientes se refiere a la cantidad total que tendrá que ser absorbida por el cultivo durante el ciclo de crecimiento. Algunos de estos nutrientes serán exportados del campo en la porción cosechada del cultivo, mientras que el resto se reciclará en el sistema como residuo de cosecha (Phillips y Majumdar, 2012).

Los valores de las extracciones de un determinado cultivo se exponen en general como valores para diferentes lugares. Este concepto es útil, siempre que no exista un exceso de nutrimentos en el suelo. Cuando se incrementa la riqueza de los suelos, aparece la tendencia a aumentar las extracciones de lujo. Por otro lado también aparece una tendencia contraria, generada por el efecto de dilución, pues al aumentar el nivel de producción se reduce necesariamente la concentración de nutrimentos en el producto. Esta tendencia se contrarresta con la del consumo de lujo. El valor de extracción mínima es el más adecuado para calcular las necesidades de abono, y está basada en los niveles óptimos de nutrimentos (Flink, 2013).

Las cantidades totales extraídas del cultivo de pimiento, los frutos exportan la mayor parte de nitrógeno y fósforo, siendo el resto de órganos vegetativos (hojas, tallos y peciolo) los que acumulan la mayor cantidad de calcio y magnesio. El potasio es acumulado prácticamente en partes iguales por frutos y resto de órganos vegetativos. Las mayores cantidades de nutrientes extraídas por el cultivo de pimiento, se consumen desde la primera recolección hasta el final del periodo de cultivo, siendo las proporciones medias extraídas

en esta etapa (100 a 165 días después del trasplante) del 70 por ciento de N, 79 por ciento de P₂O₅, 62 de K₂O, 54 por ciento de Ca y 65 por ciento de Mg (Rincón *et al.*, 1993).

De acuerdo con Miller (1979) citado por Maroto (2002) observo que, la mayor acumulación de N, P, K, Mg y Ca, en el pimiento (*Capsicum annuum* L.) se producía entre los 28 y 42 días tras el trasplante, pero que era entre los 50 y 70 días tras el trasplante (es decir en el periodo de crecimiento rápido de los frutos) cuando mayor resultaba la tasa de absorción de nutrientes, siendo las extracciones totales a los 112 días tras el trasplante, en que se había recolectado 13.4 t/ha de frutos, de 111.1 kg de nitrógeno, 17.2 kg de fósforo, 135.6 kg de potasio, 33.1 kg de calcio y 34 kg de magnesio.

Azofeifa y Moreira (2008) en su trabajo de investigación, analizaron la absorción y distribución de nutrimentos en chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) encontrando el orden de extracción de nutrimentos fue K>N>Ca>S>P y Mg con valores equivalentes de 79.3, 31.7, 8.2, 7.6 y 7.3 kg/ha, respectivamente. Las cantidades de nutrimentos en las distintas partes de la planta variaron durante el ciclo de crecimiento. Al final del ciclo, la planta acumula K, Ca y Mg principalmente en la parte aérea, P y S en la fruta y N en los frutos y la parte aérea. El principal evento fenológico que regulo estas fluctuaciones fue la fructificación.

Arteaga (2012) en condiciones del valle de Casma, encontró las respuesta de la extracción de macronutrientes en dos cultivares de pimiento (*Capsicum annuum* L.) y que señala que las hojas fueron los órganos que presentan las mayores concentraciones del elemento N seguido por frutos, tallos y raíces. Los frutos fueron los órganos que presentaron mayores concentraciones de P y K seguidos por hojas, tallos y raíces, asimismo las hojas fueron los órganos que presentaron mayores concentraciones en Ca, Mg y S seguido por tallos, raíces y frutos. La cantidad de nutriente extraído en kg/ha por los dos cultivares de pimiento: cv (1) fue de: N 225.65; P 20.70; K 180; Ca 102; Mg 32.01; S 20.66 y cv (2) fue de: N 207.41; P 26.89; K 290; Ca 116.07; Mg 13 y S 24 kg/ha, respectivamente.

Salazar y Juárez (2012) realizaron un ensayo en condiciones de campo sobre el requerimiento nutricional de macronutrientes en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) y de acuerdo a los resultados encontrados, sostienen que el requerimiento macronutricional del cultivo de chile fue de: nitrógeno de 2.4 a 4.0; fosforo de 0.4 a 1.0; potasio de 3.4 a 5.29;

calcio 0.55 a 1.80; y magnesio de 0.28 a 0.49 de kg por tonelada de frutos fresco cosechado. Así mismo señalan que los valores nutrimentales variaron de acuerdo a la edad de la planta, y al final del ciclo el K, Ca y Mg se acumularon principalmente en la parte aérea, el P y S en los frutos, y el N en los frutos y en la parte aérea.

Castillo (2014) sostiene que la absorción de macronutrientes en ají escabeche (*Capsicum baccatum* L. var. pendulum) en condiciones de la zona de Paijan, halló que en dos niveles fertilización se obtuvieron la cantidad de nutriente extraído por el cultivo bajo la dosis completa para producir 17.09 t/ha de frutos frescos fue: N 270.9; P 21.4; K 416.30; Mg 42.4; Ca 134.3; S 28.3 kg/ha respectivamente, mientras que para la dosis media fue de 18.61 t/ha de frutos frescos, la que extrajo la cantidad de: N 260.5, P 30.2, K 506.80, Mg 44.5, Ca 136.20 y S 34.4 kg/ha para cada elemento.

Tirado (2014) obtuvo la respuesta favorable de absorción de nutrientes en ají escabeche (*Capsicum baccatum* L. var. pendulum) con el nivel de fertilización de tratamiento T3 (200 N-150 P₂O₅ -250 K₂O), cuya absorción de nutrientes fue de 201 kg/ha de N, 24.44 kg/ha de P, 331.70 kg/ha de K, 108.66 kg/ha de Ca, 31.03 kg/ha de Mg, y 28.72 kg/ha de S. Asimismo indica que la etapa de mayor acumulación de materia seca, ocurrió desde los 72 y 180 días, también sostiene que la distribución de materia seca fue de 48 por ciento en el tallo, un 30 por ciento en la hoja y el 22 por ciento restante hacia las hojas.

Romero *et al.* (2017) evaluaron en dos tipos de ají tipo tabasco (*Capsicum frutescens* L.) y *Capsicum* tipo habanero (*Capsicum chinense* L.) y determinaron que para el tipo tabasco la concentración de N-P-K en fruto y hoja, obtuvieron la mayor concentración de N en las hojas y de K en los frutos, coincidiendo con menor concentración de P para hojas y frutos. Y en el tipo Habanero presentó el mayor rendimiento (23,807 kg/ha) en fruto fresco, como también, la mayor extracción de N-P-K por tonelada de fruto fresco. Ambas especies de ají guardan misma preferencia de concentración de nutriente en hoja: N>K>P y frutos: K>N>P.

2.10 Rendimiento del pimiento paprika

Navarro y Navarro (2013) refieren que un cultivo puede alcanzar un rendimiento cercano al máximo que se le permite en unas condiciones determinadas, cuando los niveles de todos

los factores de crecimiento necesarios para su crecimiento y desarrollo son ideales. Esto implica que los rendimientos máximos que son de real interés son aquellos económicamente viables más que los fisiológicos.

El rendimiento está directamente relacionado con la cantidad de nutrientes absorbidos por el cultivo hasta la madurez. La selección de metas de rendimientos alcanzables con un óptimo manejo nutricional del cultivo, y su variabilidad entre lotes y campaña tras campaña, provee una importante guía para la estimación de la demanda total de nutrientes. La respuesta de los cultivos a la fertilización también fluctúa como resultado del ambiente, independientemente del potencial de rendimiento de los cultivos (Phillips y Majumdar, 2012).

A partir de los análisis de plantas, permiten determinar las formas completas de las curvas de respuestas, y que ayudan a mostrar cómo pueden obtener grandes rendimientos. Cuando la producen de una siembra, está determinada por la provisión de un solo nutriente, a veces las concentraciones en las hojas se puede usar para indicar como hay que desarrollar un programa de abonamiento. Sin embargo en ocasiones el logro de mayores cosechas requiere de la provisión correcta de dos o más nutrientes y el rendimiento máximo puede alcanzarse con el uso de una proporción crítica (Cooke, 1987).

Lázaro (2008) en un trabajo de investigación realizados en el valle de Chancay, donde determino la respuesta de los diferentes niveles de fertilización potásica en el rendimiento en cultivares de pimiento paprika, obtuvo para el cultivar Papriking los rendimientos de 19.08, 18.74, 14.47 y 12.89 t/ha con los niveles de fertilización de K₂O (300, 200, 100, 0 kg/ha) aplicados via edáfica.

Benites (2012) en un ensayo realizado en condiciones de La Molina, obtuvo el máximo rendimiento de pimiento paprika de 5,049.10 kg/ha de fruto seco con un alto nivel de nitrógeno de 160 kg/ha bajo riego por goteo.

Tesillo (2012) en su trabajo de investigación de donde evaluó diez cultivares de pimiento paprika efectuado en el valle de Casma, alcanzo obtener para el rendimiento del tratamiento testigo que era el cultivar tipo Papri King la cantidad de 6.15 t/ha en frutos secos y un

rendimiento promedio de frutos fresco total de 49.39 t/ha , así mismo también alcanzo obtener un rendimiento comercial de 48.67 t/ha y su rendimiento no comercial fue de 0.71 t/ha, empleando para ello un nivel de fertilización de 280 – 170 - 450 de kg/ha de NPK.

En un ensayo de investigación realizado por Castillo (2014) en ají escabeche (*Capsicum baccatum* L. var. pendulum) en condiciones del valle de Chicama, indica, que la producción de fruto fresco con respecto a la extracción de macronutrientes no hallo respuestas significativas para ambos niveles de tratamiento de fertilización (dosis completa; nivel completo: N 266; P 130; K 377; Ca 52; Mg 43 y dosis media N 133; P 65; K 189; Ca 26; S 22 y su producción estaba comprendida entre 17092.5 kg/ha en dosis completa y para la dosis media estuvo en 18617.7 kg/ha, los resultados obtenidos se deben a la interacción ocurrida entre los insumos aplicados al sistema productivo y las características propias de este sistema, más que a las características individuales de cada tipo de insumo utilizado en el estudio.

Huamán (2016) en su ensayo de caracterización de 12 cultivares de pimiento (*Capsicum annuum* L.) tipo Guajillo realizado en el valle de Casma-Ancash, determino que los rendimientos de frutos frescos llegaron alcanzar hasta los 32.08 t/ha y rendimiento de frutos secos siendo de 6.42 t/ha, hallándose superior en sus componentes de rendimientos a los demás tratamientos.

Valerio (2016) evaluó las respuestas de los rendimientos de tres cultivares de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) en condiciones de invernadero en La Molina, determinando, que el cultivar Papri King presento el mayor rendimiento comercial de frutos secos con 5,847 kg/ha, asimismo se hallaron diferencias estadísticas con respecto a los otros dos cultivares (Papri Queen que obtuvo un rendimiento comercial de 4,835 kg/ha y Sonora que obtuvo un rendimiento comercial de 3,912 kg/ha, en el cual empleo el sistema de fertirriego las inyecciones de los fertilizantes a base de nitrato de amonio (6 aplicaciones), fosfato monoamonico (3 aplicaciones), nitrato de potasio (5 aplicaciones) para todos los tratamientos evaluados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en el predio Don Ramón, ubicada en el sector de Santa Elena sur, distrito y provincia de Barranca, departamento de Lima, valle de Pativilca-Perú, ubicada geográficamente en las coordenadas $10^{\circ}46'23.1''$ latitud sur y $77^{\circ}42'45.9''$ longitud oeste y a una altitud de 133 metros sobre el nivel del mar, durante los meses de setiembre de 2016 a febrero de 2017 (figura 2).

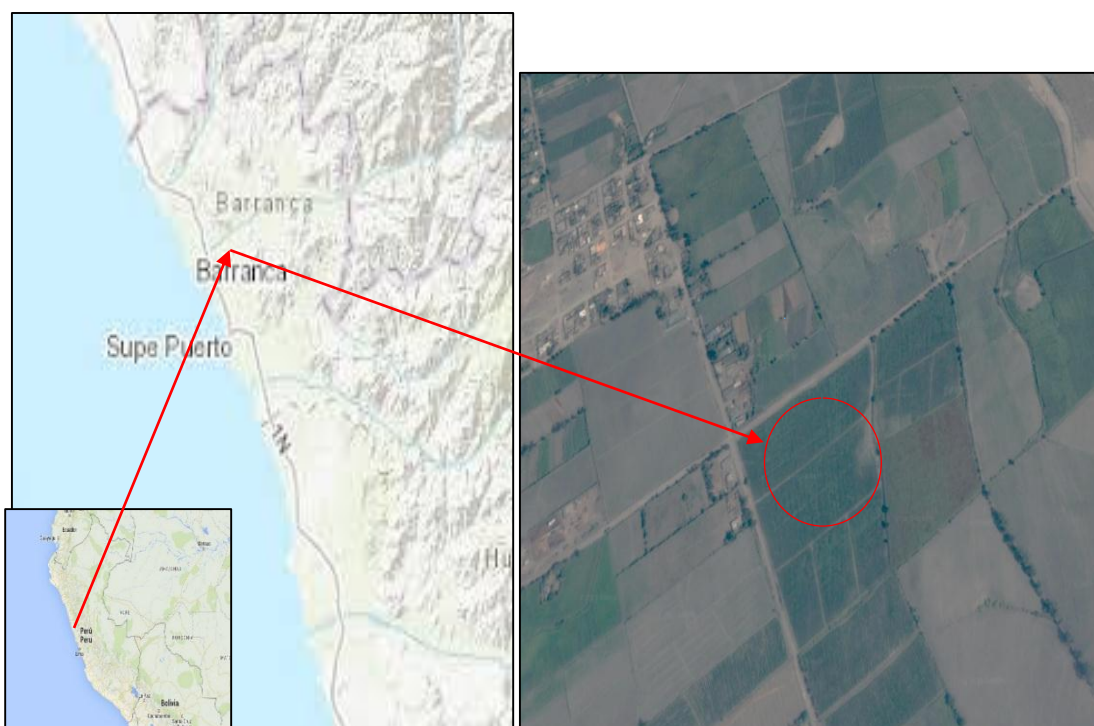


Figura 2. Ubicación del campo experimental Santa Elena sur valle de Pativilca-Perú

FUENTE: Google Earth (2016)

3.2 Características del suelo

Para la determinación de las características físico-químicas del suelo del área en estudio se tomó una muestra representativa del suelo de acuerdo al procedimiento recomendado por el

laboratorio. El análisis se realizó en el laboratorio de análisis de agua, suelo y plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, siguiendo los procedimientos rutinarios de dicho laboratorio.

En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos en los estudios realizados a la muestra de suelo. El análisis mecánico de los componentes minerales nos indica que pertenece a la clase textural de areno franca. El valor de la conductividad eléctrica (0.99 dS/m) clasifica a este suelo dentro de la categoría muy ligeramente salino. El pH (8.14) señala que es un suelo moderadamente alcalino. El contenido de carbonato de calcio (4.00 por ciento) es de contenido medio. El contenido de materia orgánica, y con ello de nitrógeno, es bajo (0.81 por ciento), esto nos hace esperar respuestas altas a las dosis de fertilización nitrogenada. Por su parte, el contenido de fósforo (13.5 ppm) es medio su contenido, por lo que se puede expresar que tendremos respuestas medias a altas del cultivo a la dosis de fertilización fosfatada aplicadas.

Finalmente el contenido de potasio (249 ppm) es alto, por lo que podemos esperar respuestas bajas a la fertilización potásica incorporadas. La CIC es baja (8.00 meq/100g suelo) indicando una baja fertilidad edáfica. Con respecto a los cationes cambiabiles, el calcio, potasio, magnesio y sodio saturan el 100 por ciento de los sitios de cambio del complejo arcillo húmico. En cuanto a las relaciones; Ca/Mg es alto el calcio y Ca/K, es ligeramente bajo el calcio, lo cual muestra que los valores de calcio son muy elevados con respecto al magnesio y potasio y en la relación a Mg/K es bajo el contenido de magnesio con respecto al contenido de potasio. Estos resultados demuestran que existe un alto incremento de calcio con respecto al magnesio, y potasio.

Tabla 2: Características físicas y químicas del suelo donde se realizó el ensayo

Característica	Unidad	Valor
Arena	%	85
Limo	%	8
Arcilla	%	7
Clase textural		Areno franca
pH		8.14
CE(1:1)	dS/m	0.99
CaCO ₃	%	4.00
Materia orgánica	%	0.81
Fósforo disponible	ppm	13.50
Potasio disponible	ppm	249.00
CIC	cmol _c kg ⁻¹	8.00
Ca ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	6.70
Mg ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	0.60
K ⁺	cmol _c kg ⁻¹	0.55
Na ⁺	cmol _c kg ⁻¹	0.15
PSB	%	100

FUENTE: LASPAF-UNALM (2016)

3.3 Características del agua de riego

En la tabla 3 se presentan los resultados del análisis de agua de riego. El contenido de sales es bajo (0.45 dS/m), por lo que el agua es de un bajo riesgo de salinidad y de efectos dañinos en las plantas. La proporción relativa del sodio respecto al calcio y magnesio es bastante baja (RAS<6) clasificando esta agua como una C2-S1. La concentración de boro (0.34 meq/l) es bastante baja, por lo que no se esperan problemas de toxicidad de este elemento. El pH (8.52) es muy alcalino, por lo que se podrían tener problemas de disponibilidad de este elemento.

Tabla 3: Análisis del agua de riego

Característica	Unidad	Valor
pH		8.52
CE	dS/m	0.45
Calcio	meq/l	2.22
Magnesio	meq/l	0.73
Potasio	meq/l	0.08
Sodio	meq/l	1.97
Suma de cationes		5.00
Nitratos	meq/l	0.15
Carbonatos	meq/l	0.14
Bicarbonatos	meq/l	2.46
Sulfatos	meq/l	1.77
Cloruros	meq/l	0.50
Suma de aniones		5.02
Sodio	%	39.46
RAS		1.62
Boro	ppm	0.34
Clasificación		C2-S1

FUENTE: LASPAF-UNALM (2016)

3.4 Características del clima

En la tabla 4 se muestra el promedio mensual de los principales parámetros climáticos registrados durante el periodo de experimentación. Se observa que entre los meses de setiembre de 2016 y febrero de 2017 (figura 3) las temperaturas promedio experimentaron un ascenso gradual, pasando de la temperatura media de 19.52 °C en setiembre de 2016 a 27.53 °C en febrero de 2017. Situación similar se observó en el comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas mensuales. Por su parte, la humedad relativa fluctuó entre 64.15 a 76.28 por ciento (figura 4). Estas condiciones fueron favorables para el cultivo.

Tabla 4: Datos climáticos del sector de Santa Elena Sur, valle de Pativilca 2016-2017

MES	T° MINIMA °C	T° MAXIMA °C	T° MEDIA °C	HUMEDAD %
Setiembre	16.73	22.31	19.52	76.28
Octubre	16.97	24.02	20.49	71.67
Noviembre	18.47	24.41	21.44	67.03
Diciembre	20.71	24.48	22.59	68.40
Enero	23.71	27.32	25.52	66.09
Febrero	25.50	29.56	27.53	64.15

FUENTE: Procesadora Grupo Añaños SA- Santa Elena Sur Barranca (2016-2017)

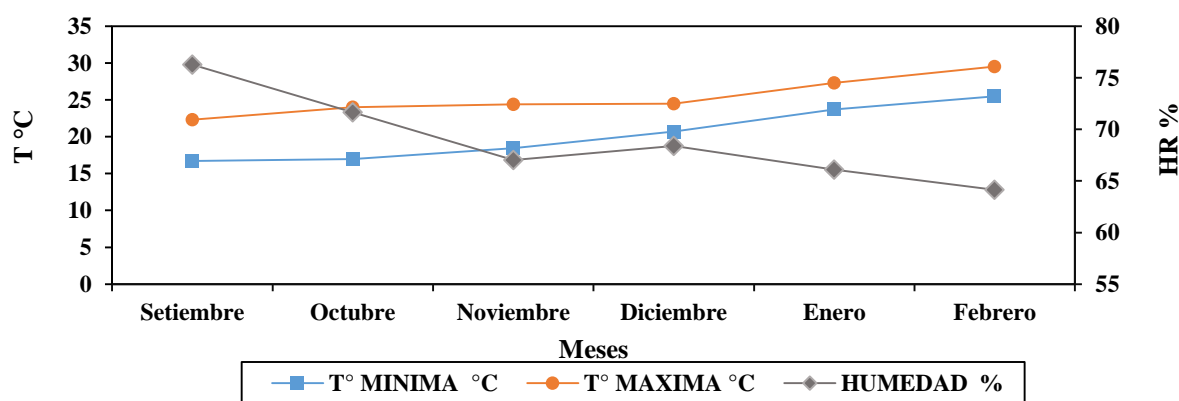


Figura 3. Parámetros climáticos zona de Santa Elena Sur, valle de Pativilca 2016-2017

3.5 Características del material vegetal

El material vegetal empleado en el trabajo de investigación fue el cultivar Papri King, que tiene como característica de poseer una floración escalonada (2 a 4 cosechas), el fruto producido por este cultivar de paprika tiene una longitud promedio de 15.2 a 20.3 cm. El fruto es de paredes delgadas con un excelente color rojo y poco picante en la mayoría de las condiciones de cultivo, la capacidad para secado es muy buena. Papri King ofrece niveles ASTA de 220 a 280, su relación peso fresco a seco es de 5 a 5.5 kg/kg (Petoseed, 1990).

3.6 Materiales

3.6.1 De campo

Se emplearon; wincha, lampa, cal, cordel, tarjetas de identificación, letreros, libreta de campo, bolsas de papel, sacos o costalillos, cuchilla, etc.

3.6.2 De laboratorio

Para la recolección y análisis de las muestras se emplearon los siguientes: balanza analítica y de precisión, agua destilada, tabla de picar, cuchillo, bolsas de papel, plumones, estufa, y demás instrumentos, equipos, materiales e insumos de los laboratorios de; Horticultura, Fertilidad de suelos y Análisis de Suelo, Plantas y Agua de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.7 Instalación del experimento

3.7.1 Preparación del terreno

El procedimiento de la preparación del terreno consistió, en la limpieza del terreno elegido para la instalación del experimento, prosiguiéndose con las labores de roturación con arado rotativo y finaliza con la preparación de los surcos, con un distanciamiento de 1.0 m entre surcos y finalmente se procedió con la demarcación de las parcelas y calles del campo experimental.

3.7.2 Trasplante

Las plántulas se desarrollaron en un vivero local cercano al lugar del ensayo por un tiempo de 40 días. Se procedió transportarlo al campo definitivo y trasplantarlo el día 29 de setiembre de 2016, empleándose el distanciamiento entre planta de 0.20 m, obteniéndose una densidad de 50,000 plantas/ha. Se efectuó un previo humedecimiento del terreno y con el tratamiento respectivo en inmersión de las bandejas de plántulas de pimiento paprika en una solución desinfectante.

3.7.3 Momento y forma de aplicación de los fertilizantes

La fertilización se realizó con mezclas previamente diseñadas de acuerdo a los tratamientos correspondientes. La forma de aplicación para los diversos nutrientes fueron localizados y enterrados al pie de la planta, se consideró las aplicaciones de los fertilizantes en los cambios de surco y aporque respectivo (tabla 5). Las características de los fertilizantes empleados en la presente investigación se muestran en la tabla 6.

Tabla 5: Programa de Fertilización establecidos en el campo experimental

DOSIS	PERIODOS	N (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)
1era fertilización	10 ddt	30	50	40
2da fertilización	31 ddt	30	50	30
3ra fertilización	55 ddt	30		30
4ta fertilización	70 ddt	10		

Tabla 6: Fertilizantes empleados en el campo experimental

FUENTE	N (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)
Urea	46		
Fosfato di amónico	18	46	
Sulfato de potasio			50
Nitrato de potasio	13		46

3.7.4 Labores culturales

Las labores de preparación de suelo, surcado, incorporación de fertilizantes, riego, control de malezas, plagas y enfermedades se realizaron de acuerdo con el requerimiento del cultivo en el lugar del ensayo. La cosecha se efectuó en el mes de febrero, con fecha 26 de febrero de 2017 (Anexo 1).

En la tabla 7 se muestra el cronograma de recolección de muestras de plantas de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) durante las diferentes etapas fenológicas evaluadas que se realizaron durante el presente ensayo.

Tabla 7: Cronograma de muestreo foliar del cultivo durante la investigación

FECHA	DDT	MUESTREO	ESTADO FENOLOGICO
12/11/2016	42	Primer muestreo foliar	Crecimiento vegetativo
17/12/2016	77	Segundo muestreo foliar	Inicio de floración-fructificación
21/01/2017	112	Tercer muestreo foliar	Cuajado de fruto
25/02/2017	147	Cuarto muestreo foliar	Madurez y cosecha de fruto

DDT: Días después del trasplante

3.8 Metodología

3.8.1 Factores en estudio

Se evaluaron para el presente ensayo cuatro niveles de fertilización que se muestran en la tabla 8. Cada uno de los mencionados niveles da lugar a un tratamiento.

Tabla 8: Niveles de fertilización evaluados en el estudio (kg/ha)

NIVELES/TRATAMIENTO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
F 1	0	0	0
F 2	200	100	200
F 3	250	150	250
F 4	300	200	300

3.8.2 Diseño experimental

Se empleó el Diseño de Boques Completos al Azar con cuatro tratamientos y cuatro bloques. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al ($p \leq 0.05$) de significancia. El modelo aditivo empleado es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$i = 1, 2, 3, \dots, t$ (número de tratamientos); $j = 1, 2, 3, \dots, r$ (número de bloques)

Y_{ij} : Observación del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque

μ : Media general

β_j : Efecto aleatorio del j -ésimo bloque

T_i : Efecto del i -ésimo tratamiento

ϵ_{ij} : Efecto del error experimental

3.8.3 Características del campo experimental

- N° de tratamientos 4
- Longitud del surco 5.0 m

- Ancho de surco	1.0 m
- Largo de cada parcela	5.0 m
- Ancho de cada parcela	5.0 m
- Distancia entre planta	0.2 m
- Largo de cada calle	1.0 m
- Área de unidad experimental	30.0 m ²
- Numero de bloques	4
- Área del bloque	144.0 m ²
- Número de unidades experimentales	16
- Área neta del experimento	480.0 m ²
- Área total del experimento	576.0 m ²

3.8.4 Procedimiento experimental

a. Muestras foliares

Las muestras foliares fueron recolectados a los 42 días después del trasplante (ddt) (sexta semana del trasplante), luego de forma continua y constante cada cinco semanas hasta los 147 (ddt). Asimismo se extrajo las muestras en forma completa al azar en competencia perfecta de cada nivel de fertilización.

Se tomó una planta obtenida al azar para el primer muestreo a los 42 ddt (crecimiento vegetativo) y se obtuvo el peso fresco de hojas y tallos de cada unidad experimental. La recolección de las muestras correspondiente a los 77 ddt, 112 ddt y 147 ddt, se tomó una planta para la obtención de los pesos fresco de hojas, tallo y frutos de cada unidad experimental por nivel de fertilización.

En cada muestreo de la planta (hojas, tallos y frutos) se tomó la precaución de tomar muestras de tejido vegetal, ni muy viejas ni muy jóvenes. Las muestras una vez recolectadas se lavaron y se obtuvieron el peso fresco de las muestras de tejido vegetal para luego ser acondicionadas en bolsas papel kraft con su respectiva identificación, y ser trasladados a laboratorio.

b. Trabajo de laboratorio

Las muestras frescas de tejido vegetal (hojas, tallos y frutos) se trasladaron a laboratorio de Horticultura de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su secado a estufa a una temperatura de 70 °C por 48 horas, posteriormente se molieron en molino y tamizaron las muestras molidas, para luego almacenarlo en bolsa de plástico con cierre hermético debidamente identificada.

Para el análisis químico, las muestras secas fueron trasladados a laboratorio de Fertilidad de Suelos donde se efectuaron los respectivos procedimientos para cada elemento macronutriente; para el caso del nitrógeno (N), se empleó el proceso de digestión humedad de la muestra vegetal a través del método de Microkjeldahl para la obtención del nitrógeno total. Este proceso se aplicó para las muestras de órganos de la planta de hojas, tallos y frutos, y para cada periodo muestreado de cada unidad experimental y nivel de fertilización.

Las muestras secas, se trasladaron a laboratorio de Análisis de Suelo, Planta, Agua y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para la obtención de las concentraciones, se empleó los métodos siguientes; Para el fósforo (P) y azufre (S) el método del colorímetro y para potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) el método del espectrofotómetro de absorción atómica. Las muestras que se analizaron en laboratorio para la determinación de la concentración de; nitrógeno fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, fueron efectuados de acuerdo a cada momento de muestreo; 42 ddt, 77 ddt, 112 ddt, y 147 ddt en cada unidad.

3.9 Características evaluadas

3.9.1 Rendimiento total de fruto fresco

Cuando las plantas en el campo experimental presentaron frutos ligeramente sobre maduros y de color rojo intenso se dio inicio de la cosecha, en donde se pesaron todos los frutos frescos expresándose la producción en t/ha. Para la evaluación del rendimiento total se tomó los frutos de las plantas de los tres surcos centrales por cada unidad experimental en cada nivel empleado.

3.9.2 Determinación de la acumulación periódica de la materia seca

Se realizaron los muestreos de acuerdo a lo establecido en la cronología del cultivo en campo experimental, tomándose las muestras a los 42, 77, 112 y 147 ddt, extrayendo una planta al azar del surco lateral por cada unidad experimental y nivel de aplicación de la investigación, siendo un total de cuatro muestreos, en el cual se obtuvo el peso fresco de la planta entera y de cada órgano (hojas, tallos y frutos), luego se llevó a estufa a 70 °C por 48 horas para posteriormente obtener el peso seco y la cantidad de materia seca por cada periodo de evaluación establecida. Los valores se obtuvieron en gramos por planta (hojas, tallo y frutos) y luego llevados a kg/ha para cada muestreo de los diferentes órganos y periodos del cultivo.

3.9.3 Determinación de la extracción de nutrientes

La extracción de nutrientes se realizó en base a la materia seca en cada órgano de cada planta (hojas, tallo y frutos), se calculó a partir de la relación entre el peso seco de cada uno de los tejidos con las respectivas concentraciones en porcentajes de nutrientes obtenido de cada muestreo considerando solo macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, expresándose los valores de extracción de macronutrientes en gramos por planta y luego llevados a kg/ha.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de fruto fresco

En la tabla 9 y figura 5, se muestra el rendimiento de fruto fresco obtenido en el presente estudio se observó que el tratamiento 4 (300-200-300) mostró el rendimiento más alto (25.00 t/ha) pero no se observaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos 3 (250-150-250) y 2 (200-100-200) quienes obtuvieron los rendimientos de 21.27 t/ha y 19.73 t/ha, respectivamente, siendo estos rendimientos de fruto fresco estadísticamente similares, sin embargo presentan diferencias significativas con el tratamiento 1 (0 – 0 – 0) con 7.74 t/ha siendo el más bajo rendimiento de los tratamientos estudiados.

Los rendimientos de fruto fresco en pimiento paprika obtenido en el presente ensayo se pueden explicar por lo mencionado por Taiz y Zeiger (2006) ya que, indican que los rendimientos aumentan a medida que los nutrientes del suelo en disolución son absorbidos por la planta, asimismo estas respuestas se acerca a lo reportado por Valerio (2016) en la localidad de La Molina-Lima, cuyo rendimiento de fruto fresco de pimiento paprika cultivar Papriking alcanzó los 24.86 t/ha en un ensayo bajo condiciones de riego localizado de alta frecuencia, difiriendo en el nivel de fertilización empleado de N, P y K (280 – 180 – 420). En contraste, Lázaro (2008) reporta que la respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio sobre el rendimiento de fruto fresco en pimiento paprika cultivar Papriking alcanzó los 21.41 t/ha para el máximo nivel de fertilización de potasio aplicado. Sin embargo, Tesillo (2012) obtuvo rendimientos de frutos fresco de pimiento paprika cultivar Papriking de 49.39 t/ha, con niveles de fertilización empleado de 280 – 170 – 450 de NPK (kg/ha), Cook (1987) y Phillips y Majumdar (2012) mencionan que los rendimientos están relacionados por la cantidad de nutrientes suministrados y absorbidos por el cultivo y que su respuesta se ve influenciado por el ambiente y del potencial de rendimiento del cultivo en estudio.

Las respuestas obtenidas en el rendimiento está relacionada con las condiciones existentes en el medio y al adecuado suministro de los nutrientes donde fue disponible, por consiguiente

conforme los rendimientos continúen aumentando, las fuentes y la naturaleza de la fertilización será aún más importantes ya que se ampliara la diferencia entre la fertilidad original del suelo y la demanda nutricional del cultivo de pimiento paprika, por lo tanto los incrementos en los rendimientos de los frutos frescos del cultivo para los diferentes tratamientos evaluados dependieron en gran medida de la fertilización suministrada, aunque la provisión de nutrientes disponibles pueden variar dentro de ciertos límites sin afectar su rendimiento de manera apreciable para los diferentes niveles de fertilización estudiados.

Tabla 9: Rendimiento de fruto fresco de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) empleando cuatro niveles de fertilización (t/ha)

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO
T4 (300 - 200 - 300)	25.00 a*
T3 (250- 150 - 250)	21.27 a
T2 (200 -100 - 200)	19.73 a
T1 (0 - 0 - 0)	7.74 b
Promedio	18.43
C.V (%)	16.71
Pr>F	**

* Las medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo N.S.

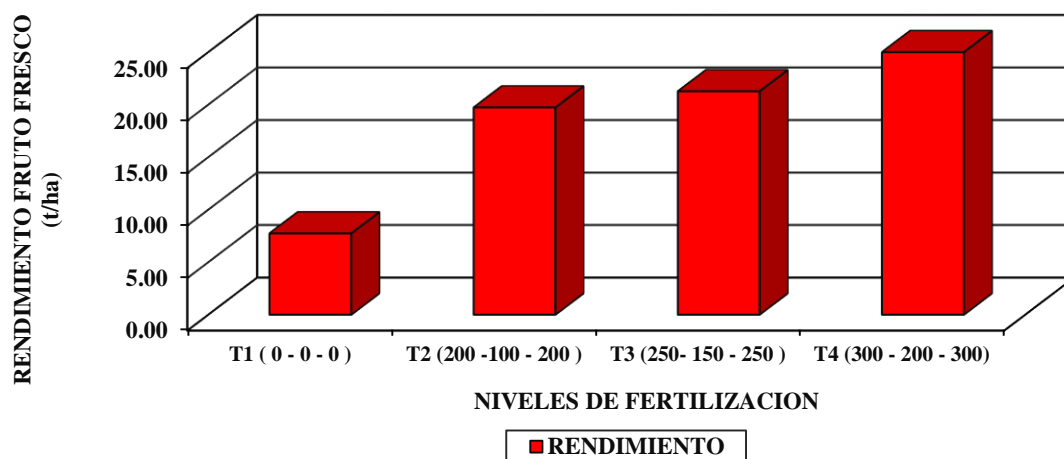


Figura 4. Rendimiento de fruto fresco de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) empleando cuatro niveles de fertilización (t/ha)

4.2 Formación y acumulación de materia seca

4.2.1 Materia seca total

La materia seca total obtenido en la tabla 10 y figura 6, muestra valores parcialmente similares a inicios del ciclo del cultivo comprendidos entre los 42 y 77 días después del trasplante (ddt) para todos los tratamientos por lo que no muestra diferencias significativas, mientras que a los 112 y 147 ddt muestran diferencias significativas entre los tratamientos. Siendo los tratamientos 1 (0 – 0 – 0) y 2 (200 – 100 - 200) estadísticamente superiores a los tratamientos 3 (250 – 150 – 250) y 4 (300 – 200 – 300). La acumulación de materia seca fue notoria entre los 112 y 147 ddt, siendo el tratamiento 1 (0 – 0 – 0) quien alcanzó la máxima acumulación de materia seca a los 112 ddt, para posteriormente declinar a los 147 ddt, (figura 6). Por lo tanto la materia seca acumulada a los 147 ddt vario entre 41.56 kg/ha correspondiente al tratamiento 3 (250 – 150 – 250) y 47.31 kg/ha en el tratamiento 1 (0 – 0 – 0) (tabla 10). La formación de materia seca encontrada en el presente ensayo fue similar a los reportados por Azofeifa y Moreira (2008), Arteaga (2012) y Urcia (2012) en pimiento. Asimismo también se pudo observar igual tendencia en el caso de ají escabeche en la acumulación de materia seca total en los ensayos realizados por Castillo (2014) y Tirado (2014).

Tanaka y Yamaguchi (1984) señalan que la producción de materia seca es resultante de la relación entre fuente y demanda fisiológica del cultivo y que estas interactúan con las velocidades de crecimiento y desarrollo del pimiento. Por otro lado Metcalfe y Elkins (1987) señalan a la influencia de las condiciones externas como factor determinante en su acumulación. Bleasdale (1973), Magalhaes (1978) y Villalobos y Fereres (2017) reportan que conforme el cultivo experimenta un lento crecimiento inicial, y luego un posterior crecimiento rápido se puede desarrollar un decrecimiento no acumulado de la materia seca. Posiblemente esta respuesta se presenta por la reducida captura de recursos ocasionada por su poca disponibilidad y afectar la eficiencia en el empleo de los recursos.

Las respuestas a la formación de materia seca total y los cambios que presentaron no influyeron a las aportaciones de los nutrientes y a la dinámica de acción del suelo, sin embargo presentaron cambios relativamente variables en el potencial de asimilación y formación de materia seca por unidad de tiempo en el proceso de crecimiento y desarrollo del cultivo para los diferentes niveles de fertilización, y que no constituyo en un factor

determinante y que estos cambios pudieron haberse influenciados por factores externos que limitaron en el potencial en la asimilación y traslocación de carbohidratos para los niveles de fertilización crecientes, por lo tanto, conforme en la planta ocurran cambios estructurales y fisiológicos en respuesta al medio externo pueden presentarse cambios frente al proporcional incremento de nutrientes que ocasionaría una disminución de la velocidad de producción de materia seca, y esto parece ser evidente a los estados posteriores a inicio de la floración.

Tabla 10: Materia seca total (kg/ha) en pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) empleando cuatro niveles de fertilización bajo condiciones del valle de Pativilca

TRATAMIENTOS	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
T1 (0 - 0 - 0)	11.86a*	19.82a*	48.99a*	47.31a*
T2 (200 -100 - 200)	12.50a	18.91a	41.40ab	45.84a
T3 (250- 150 - 250)	12.50a	19.88a	37.72b	41.56b
T4 (300 - 200 - 300)	12.48a	20.96a	37.71b	41.70b
Promedio	12.34	19.90	41.55	44.10
CV (%)	4.51	16.92	15.32	9.07
Pr>F	N.S.	N.S.	*	*

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

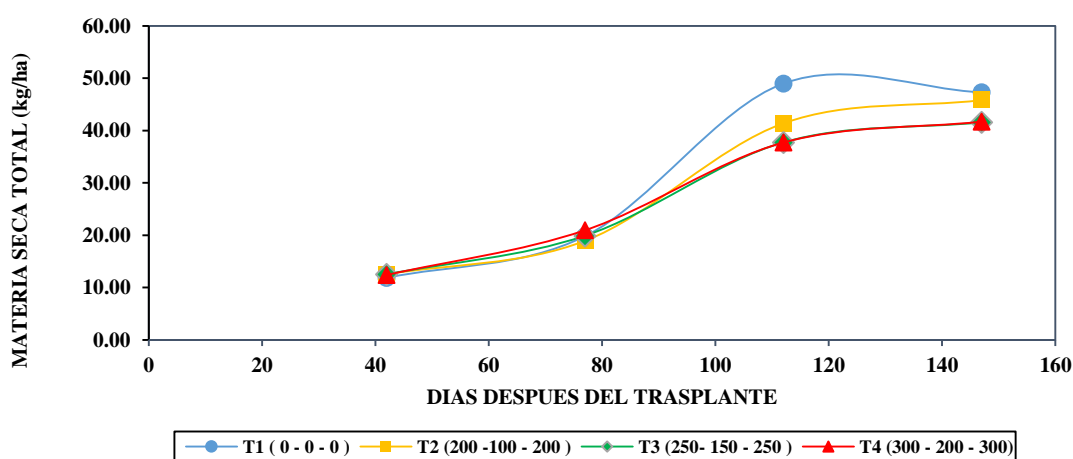


Figura 5. Materia seca total (kg/ha) en pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) empleando cuatro niveles de fertilización bajo condiciones del valle de Pativilca

4.2.2 Acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta

En la tabla 11 y figura 7 se muestra la acumulación de la materia seca en los diferentes periodos de muestreos en los diferentes órganos de la planta de pimiento paprika. Para las hojas se obtuvo su máxima acumulación de materia seca total (kg/ha) a los 112 ddt, presentando diferencias significativas para este periodo de muestreo como en los tratamientos estudiados, siendo el tratamiento T1 (0 – 0 – 0) con 18.45 kg/ha de materia seca el más representativo estadísticamente, aunque no presento diferencias significativas con los tratamiento T2 (200 – 100 – 200) y T3 (250 – 150 – 250) quienes obtuvieron los valores de 16.29 y 15.28 kg/ha de materia seca, sin embargo hubo diferencias significativas con el T4 (300 – 200 – 300) con 15.12 kg/ha de materia seca acumulada.

Para los tallos no hubo diferencias significativas en el periodo de máxima acumulación periódica de materia seca correspondiente a los 147 ddt como también en los tratamientos evaluados, sin embargo fue superior en la acumulación periódica de la materia seca el tratamiento T1 (0 – 0 – 0) con 17.87 kg/ha, con respecto al T2 (200 – 100 – 200), T3 (250 – 150 – 250) y T4(300 – 200 – 300) con 17.80, 16.46 y 16.19 kg/ha de materia seca acumulada en el tallo.

En los frutos presentó su máxima acumulación periódica de materia seca a los 147 ddt, sin embargo no presento diferencias significativas tanto para este periodo de muestreo como en los tratamientos estudiados, siendo similares estadísticamente, aunque fue superior en la acumulación de materia seca en los frutos el T2 (200 – 100 – 200) con 11.29 kg/ha con respecto a los T4 (300 – 200 – 300), T3 (250 – 150 – 250) y T1 (0 – 0 – 0) con 11.15, 10.72 y 9.59 kg/ha de materia seca acumulada en los frutos.

Tabla 11: Acumulación periódica de materia seca (kg/ha) en los diferentes órganos de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

Materia seca (kg/ha)											
DDT	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	6.87a	4.99a	8.16a	7.58a	4.08a	18.45a*	17.97a*	12.57a*	19.85a*	17.87a*	9.59a
T2(200-100-200)	7.50a	5.00a	6.93a	8.36a	3.62a	16.29ab	16.47ab	8.64a	16.75ab	17.80a	11.29a*
T3(250-150-250)	7.49a	5.01a*	7.54a	8.39a*	3.95a	15.28ab	15.31ab	7.13a	14.38ab	16.46a	10.72a
T4(300-200-300)	7.50a*	4.98a	8.40a*	8.26a	4.30a*	15.12b	15.16b	7.43a	14.36b	16.19a	11.15a
Promedio	7.34	5.00	7.76	8.15	3.99	16.38	16.23	8.94	16.33	17.08	10.69
C.V. (%)	8.54	0.48	18.64	15.63	16.49	10.23	7.56	28.17	10.42	5.85	10.93
Pr>F	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	**	NS	NS

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

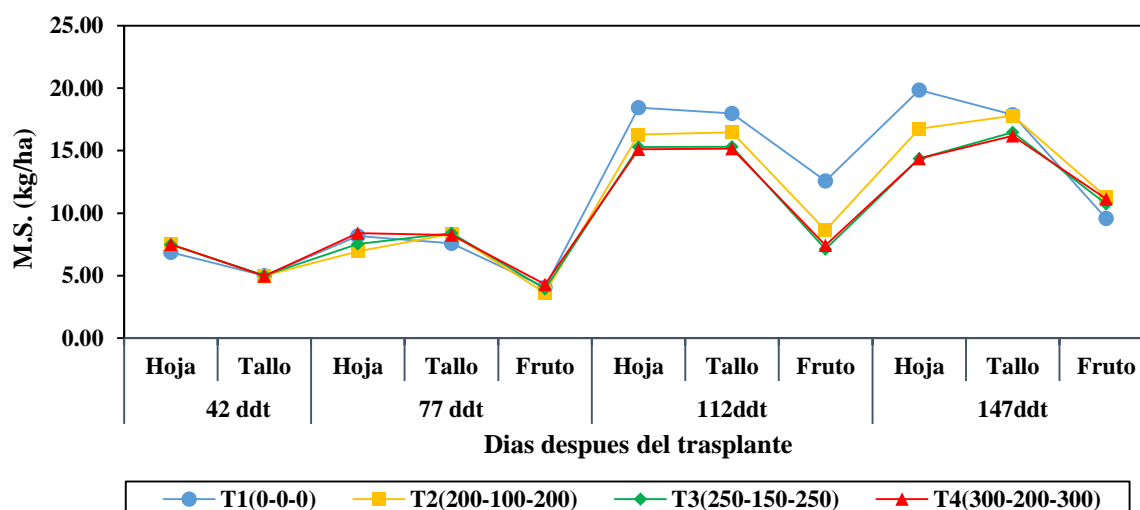


Figura 6. Acumulación periódica de materia seca (kg/ha) en los diferentes órganos pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

La formación de materia seca en los diferentes órganos de la planta (tabla 12) muestra que al pasar los días el incremento sigue una tendencia con diferente magnitudes en los primeros 42 ddt. A partir de los 77 ddt hasta los 147 ddt, sobre todos en las hojas y tallos, son aparentemente similares sus respuestas, a diferencia de los frutos cuyos valores comprendidos entre los 77 ddt y 147 ddt presentan valores mucho más bajos con respecto a los otros órganos (hoja y tallo).

En las hojas la acumulación de materia seca se inicia lentamente entre los 42 y 77 ddt, entre los 77 ddt y 112 ddt la tendencia de acumulación se incrementa de manera rápida para luego declinar a los 147 ddt, esto es debido a la translocación de fotosintatos y minerales hacia los órganos (Peil y Gálvez, 2005). De manera similar sucede con el tallo este mismo comportamiento. Mientras que en el fruto, se acumula materia seca en forma progresiva durante todos los muestreos, desde inicio de la etapa reproductiva correspondiente a los 77 ddt hasta los 147 ddt (Figura 8).

Los resultados encontrados son respaldados por Valentín (2011) quien señala que la fenología del cultivo destaca como un patrón de la tasa de absorción de nutrientes y que la dinámica en la producción de materia seca podría deberse a los aportes de agua y nutrientes en cada etapa del cultivo y frente a cualquier cambio puede determinar los periodos críticos de acumulación de la materia seca.

Martínez (1998) indica que la materia seca no solo depende de factores asociados al crecimiento continuo propias de las plantas, sino por la capacidad de movilidad de iones, de su redistribución y de las tasa de crecimiento y que esto puede determinar cambios importantes en su acumulación. Por su parte García (1992) menciona que la acumulación de materia seca son valores cuantificados y representan el límite máximo que un cultivo puede producir, siempre y cuando las adversidades agronómicas y otros factores no hayan reducido su capacidad de producción.

La variación en la acumulación de materia seca a través de los valores encontrados y su demanda difieren de la fuente y las condiciones externas probablemente hallan influenciado en estas respuestas y esto se vio reflejada para cada estado fenológico por lo que pone en evidencia que la distribución y acumulación puedan estar determinado por los procesos fisiológicos y los cambios estructurales del cultivo y que su declinación probablemente se ajuste a la concentración de nutrientes muy móviles y a la edad de la planta. Sin embargo la capacidad de acumular materia seca en los diferentes órganos del cultivo de pimiento paprika resulta determinado por el efecto de la fuente y la demanda fisiológica y que fueron las hojas las que promovieron su redistribución como la fuente y el tallo como el fruto como la demanda fisiológica y esta acumulación de carbohidratos se dio en forma creciente conforme la planta evoluciona en sus etapas fenológicas.

Tabla 12: Acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

ORGANO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
HOJA	7.34	7.76	16.38	16.33
TALLO	5.00	8.15	16.23	17.08
FRUTO		3.99	8.94	10.69
TOTAL	12.34	19.90	41.55	44.10

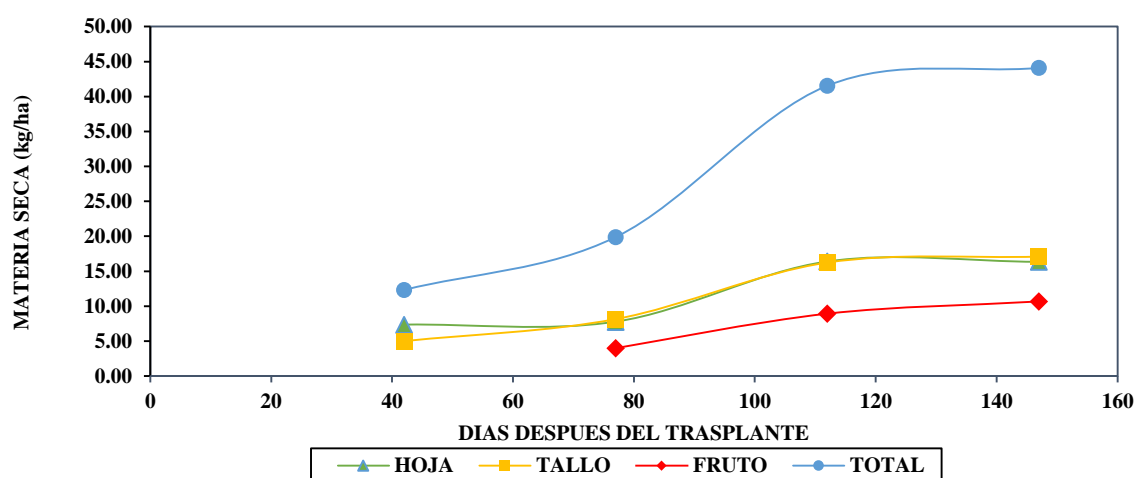


Figura 7. Acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.3 Concentración de nutrientes

4.3.1 Concentración de nitrógeno (%)

En la tabla 13 y figura 9 se presenta los datos obtenidos en cuanto a la máxima concentración de nitrógeno en los diferentes periodos de muestreo y órganos de la planta de pimiento paprika. No se llegaron a encontrar diferencias significativas entre los tratamientos estudiados tanto en las hojas y frutos correspondientes a los cuatro periodos de evaluación. Sin embargo en el periodo comprendido de los 112 ddt, los tallos presentaron diferencias significativas entre los tratamientos 4 (300 – 200 – 300) y tratamiento 3 (250 – 150 – 250) con respecto al tratamiento 2 (200 -100 – 200) y tratamiento 1 (0 – 0 – 0).

La concentración de nitrógeno en las hojas y tallo a los 42 ddt, etapa de crecimiento vegetativo, alcanzaron el máximo valor. Luego sufre una disminución conforme avanza el ciclo del cultivo correspondiente como se observa a los 77 ddt etapa de inicio de floración y fructificación hasta los 147 ddt etapa de maduración (Tabla 13 y figura 9). La hoja es el órgano principal de la planta en donde se realizan los principales procesos metabólicos de constituyentes de la materia viva y necesarios para el crecimiento y desarrollo del cultivo (Mengel y Kirby, 2001). Del mismo modo, Marschner (2012) sostiene que la intensidad del nitrógeno parece controlar la absorción y translocación por las diferentes partes de la planta en todo el ciclo del cultivo y por la importancia de su disponibilidad y acumulación en los primeros 42 ddt y posteriores entre los 77 y 147 ddt, sea determinante para su redistribución en toda la planta.

En la tabla 13, los frutos presentan el máximo valor de concentración de nitrógeno a los 77 ddt que corresponde al inicio de cuaje y luego sufre una disminución de la concentración a los 112 ddt conforme avanza la edad del fruto y a los 147 muestra una ligera tendencia creciente en la concentración en este órgano, correspondiente a la etapa de madurez y cosecha de la planta. Estas variaciones obedecen a lo señalado por Bertsch (2003) y Álvarez *et al.* (2012) quienes señalan que la translocación y redistribución del elemento nutriente es dependiente de la producción de la materia seca y de la concentración de los nutrientes en los diferentes órganos de la planta.

En efecto el suministro de nitrógeno en la planta constituye como uno de los elementos esenciales en su concentración de la planta de pimiento paprika y que el grado de variación en los diferentes órganos de la planta estuvo probablemente influenciado por el estatus físico y químico de este nutriente en el suelo y que este efecto fue determinante para cumplir en forma simultánea el crecimiento y desarrollo del cultivo. De este modo su acción de alta movilidad y su acumulación en los diferentes tejidos y órganos jóvenes probablemente permitió mantener y alcanzar las necesidades requeridas por el cultivo en las etapas más desarrolladas del cultivo.

Tabla 13: Concentración de nitrógeno (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca*

Concentración N (%)											
DDT	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	5.04a	2.98a	4.02a	1.41a	2.86a	2.68a	1.24b	2.29a	1.88a	1.04a	2.02a
T2(200-100-200)	5.36a	3.19a	4.31a	1.68a	3.13a	2.96a	1.38ab	2.56a	1.93a	1.11a	2.20a
T3(250-150-250)	5.17a	3.26a	4.31a	1.58a	2.93a	3.07a	1.50a	2.14a	2.32a	1.16a	2.42a
T4(300-200-300)	5.50a*	3.27a*	4.96a*	1.86a*	3.18a*	2.96a*	1.51a*	1.97a*	2.19a*	1.27a*	2.39a*
Promedio	5.27	3.18	4.42	1.63	3.02	2.92	1.39	2.24	2.08	1.14	2.26
C.V. (%)	5.22	5.65	10.15	20.73	10.36	12.96	7.27	14.80	18.40	22.45	10.66
Pr>F	NS	NS	0.08	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

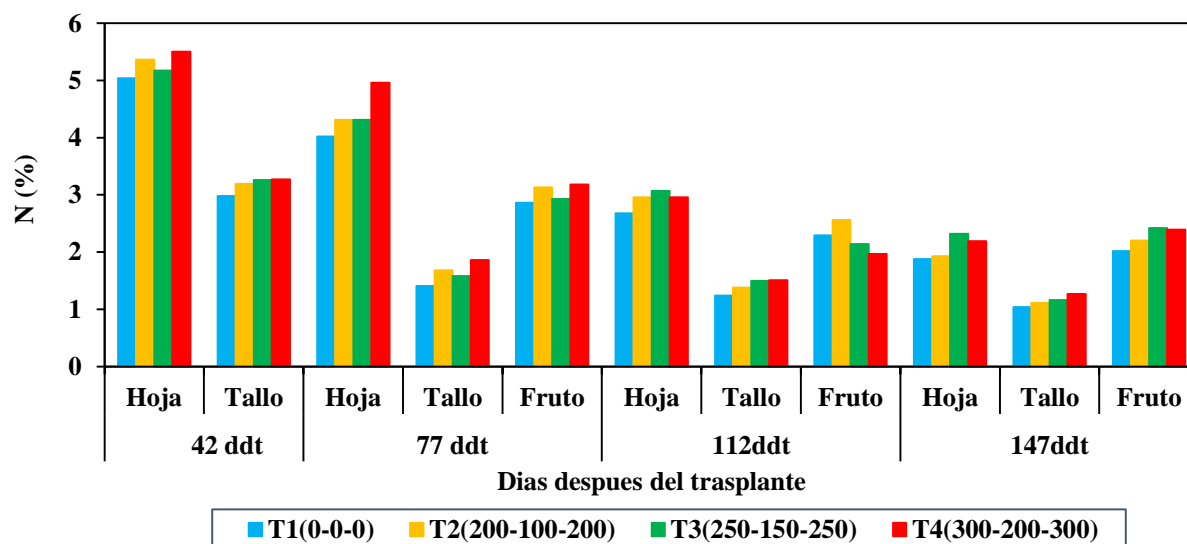


Figura 8. Concentración de nitrógeno (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.3.2 Concentración de fósforo (%)

La distribución de la concentración de fósforo para los diferentes órganos y niveles de fertilización (tabla 14 y figura 10) no presentaron diferencias significativas en los cuatro momentos de muestreo (42, 77, 112 y 147 ddt), sin embargo se obtuvo respuestas estadísticamente similares para todos los tratamientos estudiados.

La concentración de fósforo en las hojas alcanzo el máximo valor a los 42 ddt correspondiente a la etapa de crecimiento, teniendo una tendencia decreciente en las siguientes etapas de la planta (tabla 14 y figura 10). En tallos la concentración de fósforo a partir de los 42 ddt alcanzó la máxima concentración y disminuye a partir de los 77 ddt, etapa de inicio de la floración. Asimismo, empieza a sufrir una declinación en los 112 ddt, etapa de formación y crecimiento, de frutos y a los 147 ddt, etapa de madurez fisiológica de la planta. Por otro lado en los frutos se observa una creciente tendencia de la concentración de fósforo en todas las etapas muestreadas alcanzando el máximo valor a los 147 ddt, etapa de maduración (tabla 14 y figura 10).

Estas variaciones encontradas indica que el fósforo se puede translocar y distribuir por todas las partes de la planta en forma rápida, especialmente en la etapa de crecimiento a los 42 ddt y a los 77 ddt, etapa de inicio de la floración y cuando las hojas y tallo alcanzan su máximo crecimiento y envejecimiento es ahí donde el fósforo se transloca en forma particular a los frutos en pleno desarrollo (Juárez y Suarez, 1996 y Marschner, 2012).

Los órganos de reserva son aquellos que muestran valores superiores en cuanto a la concentración del elemento (Taiz y Zeiger, 2006). Similares tendencias en cuanto a la concentración de fósforo en los órganos reproductivos fueron encontrados por Rincón *et al.* (1993), Arteaga (2002), Salazar y Juárez (2012) y Romero *et al.* (2017) en pimientos y ajíes.

Las concentraciones de fósforo encontrados en los diferentes órganos de la planta pueden resultar influenciadas por las condiciones externas existentes en el suelo y que la disponibilidad del fósforo en los órganos y tejidos de la planta en las etapas fenológicas del cultivo disminuya en su contenido, por tanto, no solo de la concentración de fósforo en la solución suelo pueda facilitarse para la planta el suministro en un periodo dado, sino también de la capacidad del suelo para mantener dicha concentración. Asimismo el contenido de fósforo por la planta probablemente no depende solamente del procesos fisiológicos y cambios estructurales del cultivo, sino también de la movilidad del ión fosfato dentro de la planta, de su redistribución y las tasas de crecimiento, y que esto puedan haber determinado en las respuestas, dado que mientras la planta es joven, acumula nutrientes de forma más rápida, mientras sucede lo contrario en la madurez, existe una declinación de la concentración de nutrientes móviles correlativos al aumento de la edad.

Tabla 14: Concentración de fósforo (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

Concentración P (%)											
DDT	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	0.48a	0.37a	0.24a	0.15a	0.34a	0.25a	0.16a	0.36a	0.21a	0.14a	0.38a
T2(200-100-200)	0.80a	0.32a	0.22a	0.15a	0.34a	0.18a	0.14a	0.33a	0.22a	0.14a	0.35a
T3(250-150-250)	1.16a	0.34a	0.22a	0.06a	0.32a	0.27a	0.14a	0.34a	0.22a	0.15a	0.36a
T4(300-200-300)	0.72a*	0.34a*	0.22a*	0.13a*	0.36a*	0.24a*	0.13a*	0.36a*	0.20a*	0.13a*	0.34a*
Promedio	0.79	0.34	0.23	0.12	0.34	0.22	0.14	0.35	0.21	0.14	0.36
C.V. (%)	86.29	11.68	30.13	74.93	7.83	17.36	20.44	9.47	13.72	11.92	9.10
Pr>F	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

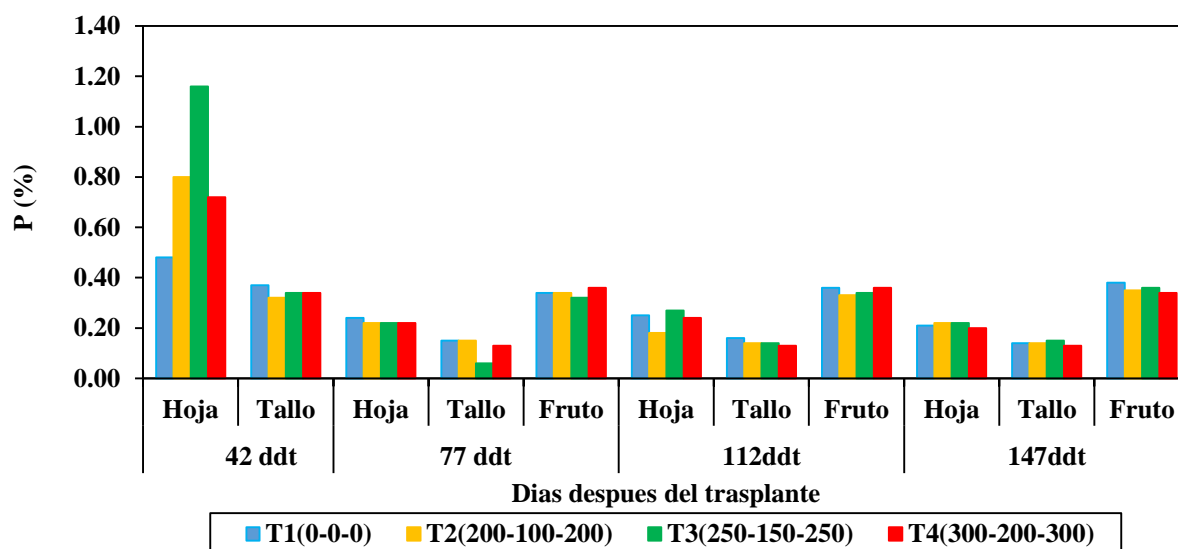


Figura 9. Concentración de fósforo (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.3.3 Concentración de potasio (%)

En la tabla 15 y figura 11, se aprecian que la concentración de potasio alcanzó su máxima concentración en los órganos muestreados obteniéndose a los 77 ddt para las hojas con el nivel de fertilización T3 (250 – 150 – 250) el 4.67 por ciento de potasio (K) quien supero a los demás tratamientos, aunque sin diferencias significativas, para los tallos logro su mayor concentración de potasio con el nivel de fertilización T3 (250 – 150 – 250) con 5.79 por

ciento de potasio (K) correspondiente a los 42 ddt superando a los demás tratamientos y sin presentar diferencias significativas. Para los frutos se logró obtener su máxima concentración a los 77 ddt, siendo el nivel de fertilización T3 (200 – 100 – 200) con 2.92 por ciento de potasio (K) superior a los demás tratamientos estudiados T1 (0 – 0 – 0), T2 (200 – 100 – 200) y T4 (300 – 200 – 300) kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, aunque sin diferencias significativas entre los niveles de fertilización.

En las hojas la concentración de este elemento se incrementó en las etapas iniciales, periodos comprendidos entre los 42 ddt y los 77 ddt, para luego disminuir progresivamente conforme transcurre el ciclo de la planta, como se observa a los 112 ddt y 147 ddt (tabla 15 y figura 11). Las mayores concentraciones de potasio se observa a los 42 ddt y posteriormente sufre una disminución progresiva a medida que transcurre el periodo de la planta correspondiente a los 77 ddt, 112 ddt y 147 ddt (figura 11). Para los frutos se encontró su máxima concentración a los 77 ddt y luego se reduce la concentración de potasio a los 112 ddt y 147 ddt (figura 11).

Mengel y Kirby (2001) reportan que a medida que se da el crecimiento vegetativo, el nivel de nutriente generalmente aumenta, sin embargo conforme transcurre el ciclo de la planta existirá una disminución del nutriente en la planta, tal como se observa en los resultados en el presente ensayo.

Por otro lado en los tallos y frutos, la concentración es máxima al principio de la etapa de crecimiento, antes de que las necesidades de las plantas sean importantes, y desciende durante la fase de crecimiento rápido. Esta respuesta coincide con lo argumentado por Thompson y Troeh (2018) quienes sostienen que la concentración de potasio disminuye a la mínima cantidad al final del ciclo de la planta.

Estas respuestas también implicaron que cuando existe una suficiente disponibilidad en el medio probablemente favorezca y determine su alta concentración en los tejidos y órganos de la planta especialmente en las primeras etapas de la planta, aunque se vio deprimido posteriormente en las etapas posteriores del cultivo como también en sus principales órganos, por lo que puedan haber existido efectos en la concentración de potasio por parte del cultivo y no se haya vuelto deficiente por las condiciones existentes en el medio y que

probablemente demuestra que la remoción del potasio del suelo debe estar acompañado por una reposición sustancial de aquellos de la fase sólida.

Tabla 15: Concentración de potasio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

Concentración K (%)											
DDT	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	4.14a	4.46a	4.03a	3.65a	2.68a	2.90a	2.07b	2.42a	2.11b	1.87a	2.05a
T2(200-100-200)	3.54ab	4.99a	4.63a	3.53a	2.92a	3.94a	3.10ab	2.22a	3.15a	2.02a	1.90a
T3(250-150-250)	3.51ab	5.79a	4.67a	3.65a	2.89a	4.32a	2.87ab	2.38a	3.63a	2.68a	1.97a
T4(300-200-300)	3.15b*	4.58a*	4.33a*	5.19a*	2.81a*	4.09a*	3.43a*	2.44a*	3.50a*	2.55a*	1.99a*
Promedio	3.58	4.95	4.41	4.00	2.83	3.81	2.86	2.36	3.10	2.28	1.98
C.V. (%)	9.99	15.93	17.10	29.02	5.42	26.03	18.88	9.79	13.17	20.45	7.40
Pr>F	*	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	**	NS	NS

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

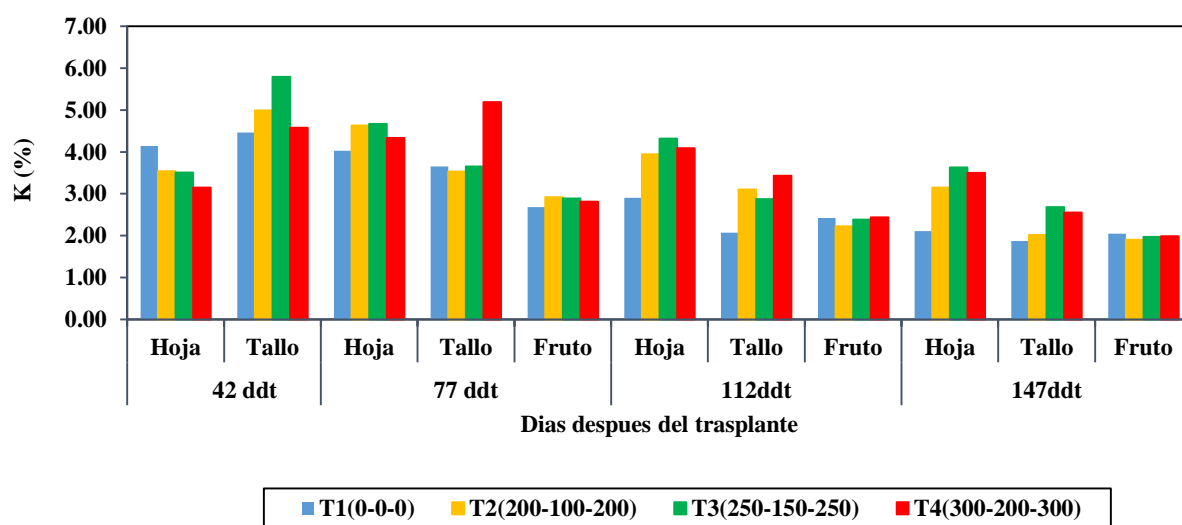


Figura 10. Concentración de potasio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.3.4 Concentración de calcio (%)

La concentración de calcio en los diferentes periodos de muestreo de los diferentes órganos de la planta de pimiento paprika (tabla 16 y figura 12) se obtuvo para las hojas la máxima concentración de calcio (Ca) a los 147 ddt y con el nivel de fertilización T1 (0 – 0 – 0) con el 5.45 por ciento de calcio, siendo superior a los tratamientos T2 (200 – 100 – 200), T3 (250

– 150 – 250) y T4 (300 – 200 – 300) kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, sin embargo no presentaron diferencias significativas para todos los tratamientos evaluados. Para el tallo se logró su máxima concentración de calcio (Ca) a los 147 ddt y con el nivel de fertilización T3 (250 – 150 – 250) con el 1.96 por ciento de calcio, siendo mayor a los otros tratamientos estudiados T1 (0 – 0 – 0), T2 (200 – 100 – 200) y T4 (300 – 200 – 300) kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, aunque sin diferencias significativas. Los frutos presentaron su máxima concentración de calcio (Ca) a los 77 ddt y con el nivel de fertilización T4 (300 – 200 – 300) con el 0.31 por ciento de calcio, siendo superior a los otros tratamientos en estudio, pero estadísticamente similar en los niveles de fertilización T1 (0 – 0 – 0), T2 (200 – 100 – 200) y T3 (250 – 150 – 250) kg/ha de N-P₂O₅-K₂O.

En las hojas se observa que la concentración de calcio presenta una progresiva acumulación, llegando a su máximo valor en la etapa de muestreo correspondiente a los 147 ddt (tabla 16 y figura 12). Las concentraciones de calcio en los tallos muestran poca variación entre los 42 ddt y 77 ddt, luego desarrolla un incremento hasta los 147 ddt. En lo que respecta a la concentración de calcio en los frutos, está presente su máximo contenido a los 77 ddt etapa de inicio de floración y luego sufre una disminución a los 112 ddt para luego mostrar un ligero aumento a los 147 ddt correspondiente a la etapa de maduración fisiológica de los frutos (figura 12).

Con respecto a la concentración de calcio obtenido en los diferentes órganos, Havlin *et al.* (1999) señalan que la tasa de concentración de calcio es producto de la intensidad transpiratoria y ésta es la que controla su distribución en los principales órganos de la planta. Mengel y Kirby (2001) mencionan que la tasa de translocación descendente de calcio es mínima ya que el calcio se transporta en concentraciones muy bajas en el floema y por lo que el aumento y depósito de calcio ocurre en las hojas más maduras. Por lo tanto, la provisión de este elemento a través del floema a otras partes de la planta es lento y manifiesta un insuficiente suministro en otros órganos.

El efecto encontrado sobre la concentración de calcio en los órganos de la planta permite sostener que los altos niveles de calcio en la solución suelo resultaron favorables en la acumulación de calcio en las diferentes etapas del cultivo, sin embargo también estas respuestas se pueden ver visto deprimidas por la competencia de otros cationes existentes en el suelo y que su disponibilidad y naturaleza en el cultivo puedan haberse acumulado en los

tejidos de la planta, aunque mucha de estas respuestas está en función del porcentaje de saturación de calcio en la capacidad de intercambio catiónico y la naturaleza de la solución suelo.

Tabla 16: Concentración de calcio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

DDT	Concentración Ca (%)										
	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	2.31a*	0.97a*	3.56a*	0.95a*	0.28a*	5.08a*	1.25a*	0.25a*	5.45a*	1.92a*	0.32a*
T2(200-100-200)	1.98a	1.08a	3.79a	0.80a	0.30a	4.96a	1.82a	0.22a	5.37a	1.80a	0.24a
T3(250-150-250)	1.93a	1.03a	3.68a	1.00a	0.27a	4.32a	1.47a	0.28a	5.10a	1.96a	0.33a
T4(300-200-300)	1.89a	0.95a	3.31a	1.06a	0.31a	5.53a	1.44a	0.22a	5.07a	1.73a	0.23a
Promedio	2.02	1.01	3.58	0.95	0.29	4.97	1.49	0.24	5.25	1.95	0.28
C.V. (%)	21.15	15.00	17.45	19.44	13.65	17.59	28.42	36.65	10.94	25.58	20.97
Pr>F	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

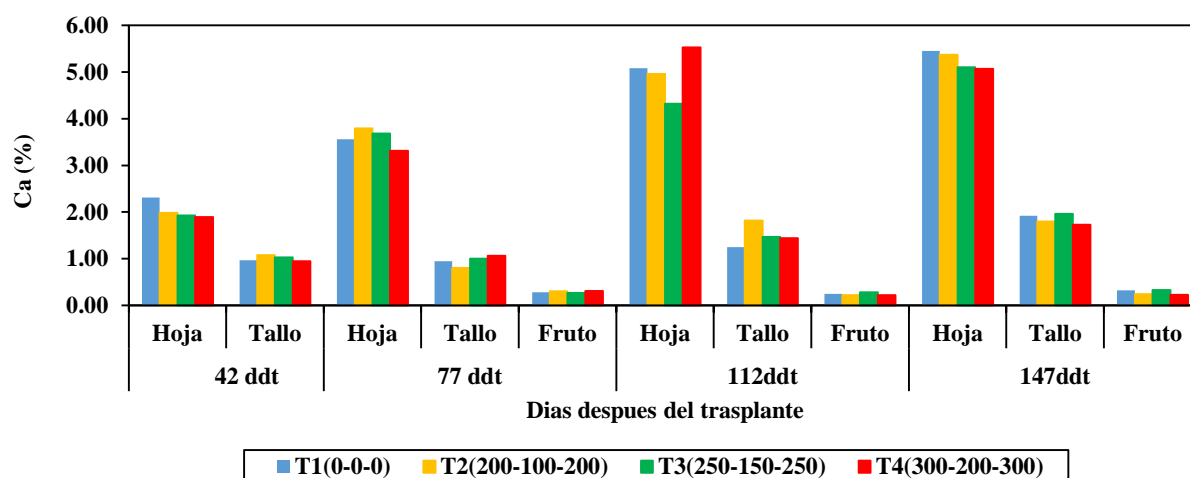


Figura 11. Concentración de calcio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.3.5 Concentración de magnesio (%)

De acuerdo a la tabla 17 y figura 13 se obtuvo para los diferentes periodos de muestreo y órganos de la planta de pimiento paprika la concentración de magnesio (Mg), para las hojas

presento su máxima concentración a los 77 ddt y con el nivel de fertilización T3 (250 – 150 – 250) se obtuvo el 1.08 por ciento de magnesio, siendo superior a los tratamientos T1 (0 – 0 – 0), T2 (200 – 100 – 200) y T4 (300 – 200 – 300) kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, aunque sin diferencias significativas. Para los tallos se logró alcanzar su máxima concentración de magnesio a los 147 ddt y con el nivel de fertilización T1 (0 – 0 – 0) se obtuvo el 0.84 por ciento de magnesio, teniendo el comportamiento estadísticamente similar con los demás tratamientos estudiados T2 (200 – 100 – 200) con 0.69 por ciento, T3 (200 – 100 – 200) con 0.67 por ciento y T4 (300 – 200 – 300) con 0.66 por ciento. El tratamiento que logro alcanzar su máxima concentración de magnesio en los frutos fue el T1 (0 – 0 – 0) y se obtuvo a los 77 ddt y con una concentración de magnesio de 0.26 por ciento, siendo superior a los demás tratamientos estudiados, sin embargo no logro diferencias significativas con los niveles de fertilización T2 (200 – 100 – 200), T3 (250 – 150 – 250) y T4 (300 – 200 – 300) k/ha de N-P₂O₅-K₂O.

En las hojas se observa que la concentración de magnesio presenta una progresiva acumulación a partir de los 42 ddt hasta los 77 ddt correspondiente a la etapa de floración, periodo en que se halló su máxima concentración, para luego declinar hasta los 112 ddt etapa de cuajado de frutos, para luego incrementar en la etapa final correspondiente a los 147 ddt (tabla 17 y figura 13). En los tallos la concentración de magnesio se puede observar que a los 147 ddt alcanzó su máximo valor, siendo superior a los demás tratamientos estudiados. La concentración de magnesio en los frutos presento su máximo valor a los 77 ddt, luego sufre una disminución de las concentraciones en la etapa de los 112 ddt, correspondiente al periodo de cuajado de frutos, posteriormente muestra un incremento a los 147 ddt (tabla 17).

La concentración de magnesio en los diferentes órganos puede explicarse en la competencia de cationes, jugando un papel principal en su contenido en los órganos de la planta y esta pueda verse afectado por exceso de otras especies de cationes, especialmente de potasio y calcio. Mengel y Kirby (2001) indican que el magnesio es muy móvil en el floema y que puede ser translocado desde las hojas más viejas a las jóvenes, como también en los frutos y órganos de reservas que son dependientes del floema para el suministro de nutrientes.

Las respuestas a las concentraciones de magnesio es producto de la competencia de cationes ocurridos en la solución suelo y su acumulación probablemente se vea afectado por las variaciones que existió en el contenido del magnesio cambiante por lo que la saturación crítica de magnesio para el óptimo crecimiento de la planta sea variable en los diferentes estados fenológicos influyendo en la reducida disponibilidad en la planta y su traslocación en los diferentes órganos para los diferentes periodos del cultivo. Sin embargo el magnesio alcanza ser muy móvil en el floema, puede también haberse reducido en la tasa de traslocación de azúcares en los órganos de reservas y que esto se encuentre influenciados por las altas concentraciones de otros cationes como es el potasio y el calcio.

Tabla 17: Concentración de magnesio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

Concentración Mg (%)											
DDT	42		77			112			147		
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	0.88a	0.67a	0.89a	0.40a	0.26a	0.74b	0.47a	0.17a	0.90a	0.84a	0.20a
T2(200-100-200)	0.74a	0.79a	1.05a	0.48a	0.23a	0.90a*	0.57a	0.15a	0.98a	0.69a	0.20a
T3(250-150-250)	0.76a	0.76a	1.08a	0.49a	0.25a	0.83ab	0.44a	0.18a	0.91a	0.67a	0.20a
T4(300-200-300)	0.78a*	0.74a*	0.96a*	0.47a*	0.24a*	0.87ab	0.51a*	0.17a	0.84a*	0.66a*	0.19a*
Promedio	0.78	0.74	0.99	0.46	0.25	0.83	0.50	0.16	0.91	0.71	0.20
C.V. (%)	13.63	15.72	13.07	12.08	7.99	7.08	18.76	11.47	8.63	14.00	4.47
Pr>F	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

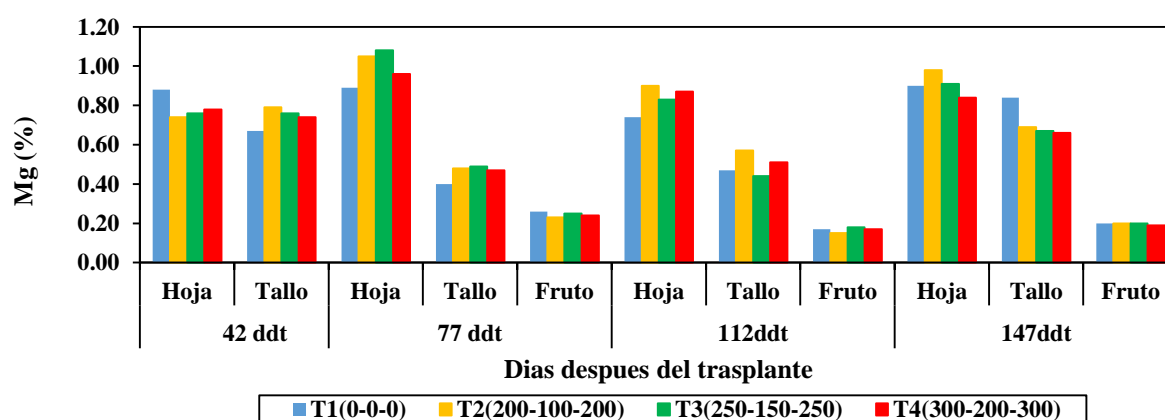


Figura 12. Concentración de magnesio (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.3.6 Concentración de azufre (%)

En la tabla 18 y figura 14 se aprecia que la concentración de azufre alcanzó su máxima concentración en los órganos muestreados obteniéndose a los 147 ddt para las hojas con el nivel de fertilización T1 (0 – 0 – 0) el 1.49 por ciento de azufre (S) quien supero a los demás tratamientos, aunque sin diferencias significativas, para los tallos logro su mayor concentración de azufre con el nivel de fertilización T1 (0 – 0 – 0) con 0.89 por ciento de azufre (S) correspondiente a los 147 ddt superando a los demás tratamientos y sin presentar diferencias significativas. Para los frutos se logró obtener su máxima concentración a los 147 ddt, siendo el nivel de fertilización T1 (0 – 0 – 0) con 0.43 por ciento de azufre (S) superior a los demás tratamientos estudiados T2 (200 – 100 – 200), T3 (250 – 150 – 250) y T4 (300 – 200 – 300) kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, aunque sin diferencias significativas entre los niveles de fertilización.

La concentración de azufre en las hojas presenta una progresiva acumulación, llegando a su máximo valor en el último muestreo correspondiente a los 147 ddt periodo que comprende la madurez fisiológica de la planta (tabla 18). Es necesario mencionar que las hojas muestran una alta concentración de azufre en comparación a los diferentes órganos de la planta. Los tallos presentan un aumento progresivo desde los 42 hasta los 112 ddt donde alcanza el máximo valor de concentración (figura 14). En los frutos la concentración de azufre presentó una tendencia a disminuir desde los 77 ddt a los 112 ddt, sin embargo presentó un incremento conforme avanza el ciclo logrando alcanzar su máxima concentración de azufre en el fruto a los 147 ddt correspondiente a la etapa de madurez de la planta (tabla 18 y figura 14).

Las concentraciones de azufre en los diferentes órganos y su distribución es muy variable (Echevarría y García, 2003). El azufre ingresa como ion sulfato y es transportada por el xilema a la parte aérea por el flujo transpiratorio y al ser relativamente constante se almacena en las hojas y tallos como se puede observar en la figura 14, y su removilizacion dependerá por condiciones de estrés presente como exceso de temperatura o escasez de agua y se observa esta respuesta en la redistribución del azufre en los frutos en la última etapa de muestreo correspondiente a los 147 ddt.

Las respuestas a la concentración de azufre en los tejidos y órganos de la planta de pimiento paprika es muy variable y que esto probablemente está muy relacionado al proceso de flujo

transpiratorio. Asimismo pueden haberse dado por la solubilidad de los compuestos de azufre es lo suficiente disponible como para suministrar el iones sulfato. Sin embargo, el problema del azufre va unido al del nitrógeno ya que probablemente su proceso de mineralización se incrementa conforme el pH del suelo está muy cercano a un medio alcalino, por lo tanto su movilidad dentro de la planta haya determinado un efecto favorable en la acumulación en la concentración de los iones sulfatos en las distintas partes de la planta y el aprovisionamiento de fuentes de energía y a las condiciones externas puede verse favorecido de manera progresiva durante el crecimiento y desarrollo de la planta.

Tabla 18: Concentración de azufre (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

Concentración S (%)											
DDT	42		77			112			147		
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	0.31a	0.27a	0.54a	0.41a	0.29a	1.32a*	0.76a*	0.32a	1.49a*	0.89a*	0.43a*
T2(200-100-200)	0.30a	0.31a	0.59a	0.37a	0.37a	0.97b	0.56ab	0.26a	1.16a	0.68a	0.34a
T3(250-150-250)	0.27a	0.28a	0.72a	0.38a	0.31a	1.24ab	0.41b	0.32a*	1.15a	0.74a	0.40a
T4(300-200-300)	0.27a*	0.31a*	0.68a*	0.36a	0.32a	0.93b	0.44ab	0.26a	1.15a	0.74a	0.41a
Promedio	0.29	0.29	0.63	0.38	0.32	1.11	0.54	0.29	1.24	0.76	0.39
C.V. (%)	35.08	25.97	24.55	10.13	17.09	13.31	27.86	27.56	27.78	15.38	22.37
Pr>F	NS	NS	NS	NS	NS	**	*	NS	NS	NS	NS

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

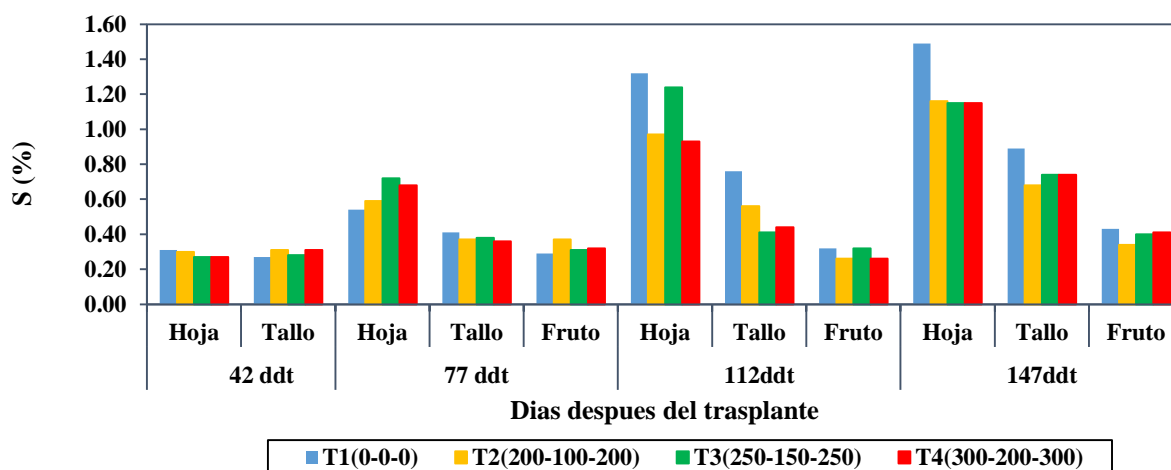


Figura 13. Concentración de azufre (%) para los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.4 Extracción de nutrientes

4.4.1 Extracción de nitrógeno (kg/ha)

En la tabla 19 y figura 15 la máxima extracción de nitrógeno (N) en los diferentes periodos de muestreo de los órganos de la planta y niveles de fertilización, para las hojas se logró obtener a los 112 ddt y con el tratamiento T3 (250 – 150 – 250) la cantidad de 30.47 kg/ha de N siendo superior a los demás tratamientos estudiados, sin embargo no mostro diferencias significativas al T2 (200 – 100 – 200) que obtuvo los 28.64 kg/ha de N y T4 (300 – 200 – 300) que alcanzo obtener los 29.71 kg/ha de N, en contraste si se obtuvo significancia estadística con el T1 (0 – 0 – 0) quien alcanzó la cantidad extraída de 15.08 kg/ha de N.

Para los tallos se logró alcanzar su máxima extracción a los 147 ddt y con el tratamiento T4 (300 – 200 – 300) se logró obtener 23.61 kg/ha de N, siendo superior a los otros tratamientos evaluados; T1 (0 – 0 – 0) con 10.92 kg/ha de N, T2 (200 – 100 – 200) con 14.53 kg/ha de N, y T3 (250 – 150 – 250) con 19.05 kg/ha de N, aunque sin diferencias significativas para todos los niveles de fertilización estudiados.

En los frutos se logró obtener su máxima extracción a los 112 ddt siendo el tratamiento T2 (200 – 100 – 200) con 83.46 kg/ha de N extraído, mostrando similar significancia estadística con el T3 (250 – 150 – 250) con 75.12 kg/ha de N, sin embargo no hubo diferencias significativas en la extracción con el T4 (300 – 200 – 300) y T1 (0 – 0 – 0) quienes alcanzaron las cantidades extraídas de 64.41 y 45.45 kg/ha de N respectivamente.

Tabla 19: Extracción de nitrógeno (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

DDT	Extracción N (kg/ha)										
	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	3.00a	1.23a	17.87a	5.02a	20.32b	15.08b	7.57b	43.45b	11.88b	10.92a	8.20c
T2(200-100-200)	3.24a	1.14a	24.67a	10.52a	30.23ab	28.64a	12.84a	83.46a*	11.15b	14.53a	10.98c
T3(250-150-250)	3.38a	1.18a	24.36a	7.88a	25.74ab	30.47a	15.33a	75.12a	29.53a	19.05a	21.45b
T4(300-200-300)	3.44a*	1.25a*	30.55a*	10.51a*	46.06a*	29.71a*	14.35a*	64.41ab	30.66a*	23.61a*	28.23a*
Promedio	3.26	1.20	24.36	8.48	30.59	25.98	12.52	66.61	20.81	17.03	17.21
C.V. (%)	12.88	9.26	38.99	31.70	34.44	13.27	17.05	21.18	29.49	52.05	9.69
Pr>F	NS	NS	NS	0.052	*	**	**	*	**	NS	**

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

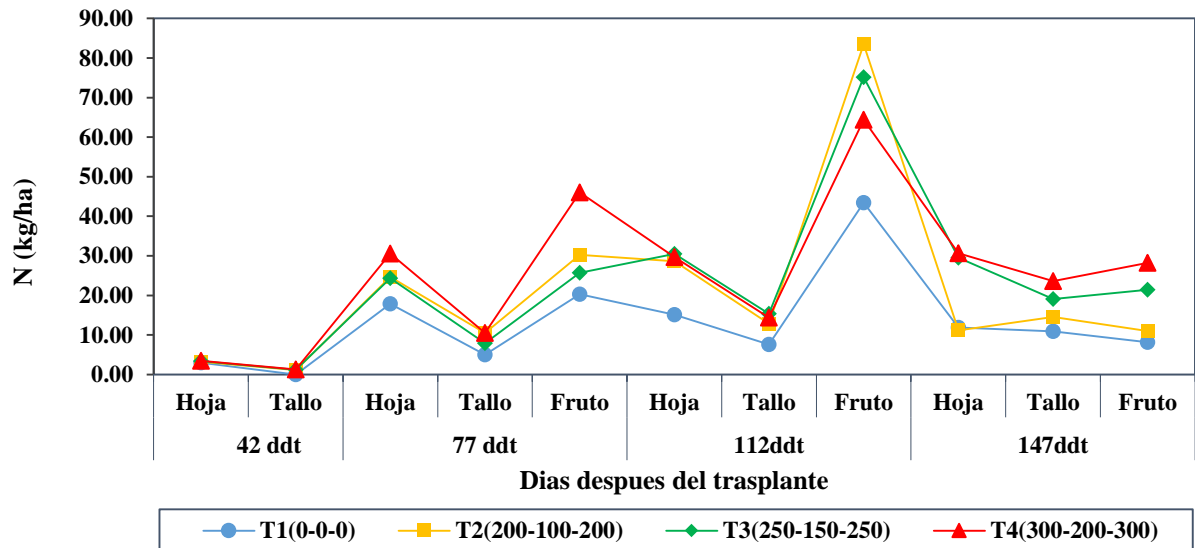


Figura 14. Extracción de nitrógeno (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

La acumulación de nitrógeno aumenta progresivamente con la edad de la planta, alcanzando el máximo contenido a los 112 ddt con 188.11 kg/ha de nitrógeno respectivamente y en el último muestreo a los 147 ddt, tiene una disminución ya que la planta empieza su senescencia (tabla 20 y figura 16). Sin embargo Maroto (2002) y Suarez y Juárez (2012) encontraron valores muchos más bajos con 111.1 kg/ha y de 80 kg/ha de nitrógeno. Arteaga (2012) reporto la cantidad de 207.41 y 225.65 kg/ha de nitrógeno extraído. Bertsch (2003) y Flink (2013) señalan que las respuestas de extracción de nutrientes están influenciados por el potencial del cultivo y el ambiente donde se evalúan.

Las mayores cantidades de nitrógeno extraídas lo reporta Rincón *et al.* (1993) siendo los frutos el órgano que obtuvo la mayor cantidad de nitrógeno extraído coincidiendo con el periodo de fructificación, lo cual está relacionada con la mayor demanda en los frutos, es cuando empieza a crecer y dar inicio del cambio de color (Nuez *et al.*, 2003). Datos similares se reportan para el cultivo de ají (Castillo, 2014; Tirado 2014 y Romero *et al.*, 2017) encontraron extracciones mayores de este elemento.

El efecto de la extracción de nitrógeno en la planta se vio determinado de manera notable y su alta disponibilidad permitió cumplir los procesos de crecimiento y desarrollo del cultivo en las diferentes etapas fenológicas, siendo las hojas la fuente de almacenamiento y

suministro a otros órganos como a los frutos y tallos, por consiguiente la intensidad del contenido de nitrógeno extraído pueda estar influenciado por el metabolismo nitrogenado y es este quien parece haber controlado la acumulación en los órganos de la planta. Por lo tanto las respuestas a la extracción del nitrógeno por la planta respondió favorablemente en su aplicación cuando estos se suministraron equilibradamente, por lo que, el nivel de nitrógeno se vio incrementado el inicio del cultivo hasta la floración, siendo más destacable en el cuaje del fruto. En consecuencia a medida que exista nitrógeno disponible en el suelo aumentara la extracción del nutriente. Sin embargo es necesario considerar que las pérdidas y escasez del nitrógeno en un sistema de producción de *Capsicum* podrían ser bajas de la función de ajuste que se utiliza para estimar la eficiencia del nutriente.

Tabla 20: Extracción de nitrógeno en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

ORGANO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
HOJA	3.26	24.36	25.98	20.81
TALLO	1.20	8.48	15.52	17.03
FRUTO		30.59	66.61	17.21
TOTAL	4.46	63.43	188.11	55.05

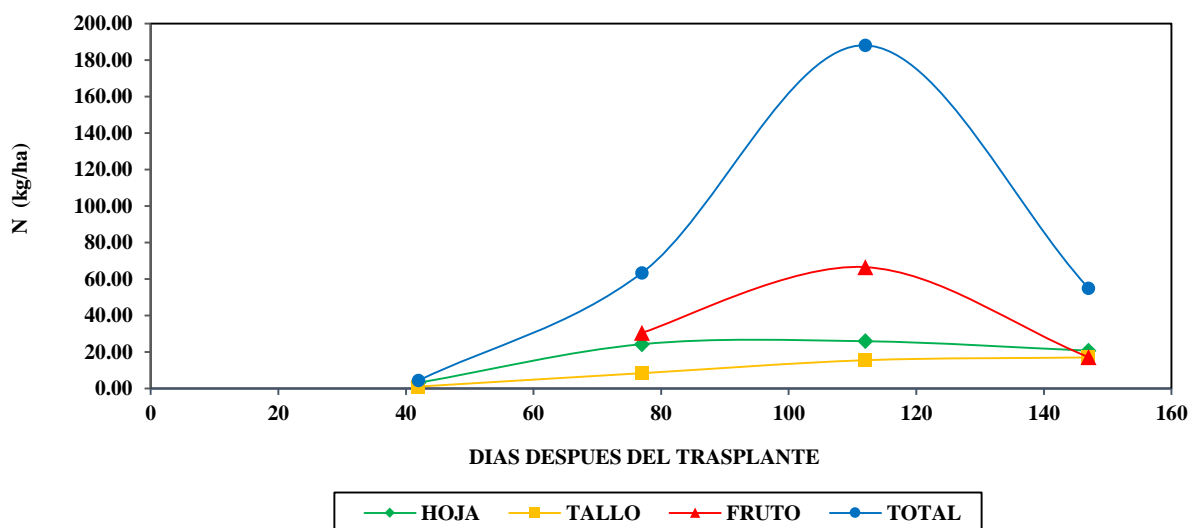


Figura 15. Extracción de nitrógeno en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.4.2 Extracción de fósforo (kg/ha)

La extracción de fósforo (P) para los diferentes periodos de muestreo en los diferentes niveles de fertilización (tabla 21 y figura 17) se obtuvo para las hojas su máxima extracción a los 147 ddt y con el tratamiento T4 (300 – 200 – 300) logrando extraer 2.81 kg/ha de P, teniendo un comportamiento estadísticamente similar con el tratamiento T3 (250 – 150 – 250) con 2.08 kg/ha de P, aunque mostro diferencias significativas con los tratamientos T1 (0 – 0 – 0) y T2 (200 – 100 – 200) que obtuvieron extracciones menores de 1.32 y 1.27 kg/ha de P respectivamente.

Para los tallos el tratamiento que obtuvo su máxima extracción fue el T4 (300 – 200 – 300) y en el periodo de muestreo de 147 ddt, con 2.30 kg/ha de P siendo superior a los demás tratamientos estudiados quienes alcanzaron para el T1 (0 – 0 – 0) con 1.44 kg/ha de P, el T2 (200 – 100 – 200) con 1.92 kg/ha de P y el T3 (250 – 150 – 250) con 2.08 kg/ha de P, sin embargo no mostraron diferencias significativas para los niveles de fertilización.

Los frutos mostraron su máxima extracción a los 112 ddt y fue con el tratamiento T3 (250 – 150 – 250) quien obtuvo 12.44 kg/ha de P siendo el más representativo estadísticamente con el T4 (300 – 200 – 300) quien extrajo 12.11 kg/ha de P en los frutos, asimismo no se mostró diferencias significativas con el T2 (200 – 100 – 200) que obtuvo 10.80 kg/ha de fósforo, pero sin embargo si hubo diferencias significativas con el tratamientos T1 (0 – 0 – 0) con 6.98 kg/ha de P extraído en comparación a los otros niveles de fertilización evaluados.

Tabla 21: Extracción de fósforo (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

DDT	Extracción P (kg/ha)										
	42		77		112			147			
	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	0.29a	0.15a*	0.85a	0.60a	2.48a	1.37c	0.92a	6.98b	1.32b	1.44a	1.51b
T2(200-100-200)	0.46a	0.11b	1.21a	0.93a*	3.70a	1.73bc	1.31a*	10.80ab	1.27b	1.92a	1.76b
T3(250-150-250)	0.78a*	0.12b	1.78a*	0.32a	2.76a	2.19b	1.21a	12.44a*	2.77a	2.08a	3.24a
T4(300-200-300)	0.45a	0.13b	1.38a	0.76a	3.87a*	2.41a*	1.21a	12.11a	2.81a*	2.30a*	4.02a*
Promedio	0.49	0.13	1.30	0.65	3.20	1.92	1.16	10.58	2.04	1.93	2.63
C.V. (%)	86.59	11.21	33.52	68.96	55.14	14.70	19.13	19.36	29.30	31.35	17.72
Pr>F	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	*	**	NS	**

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

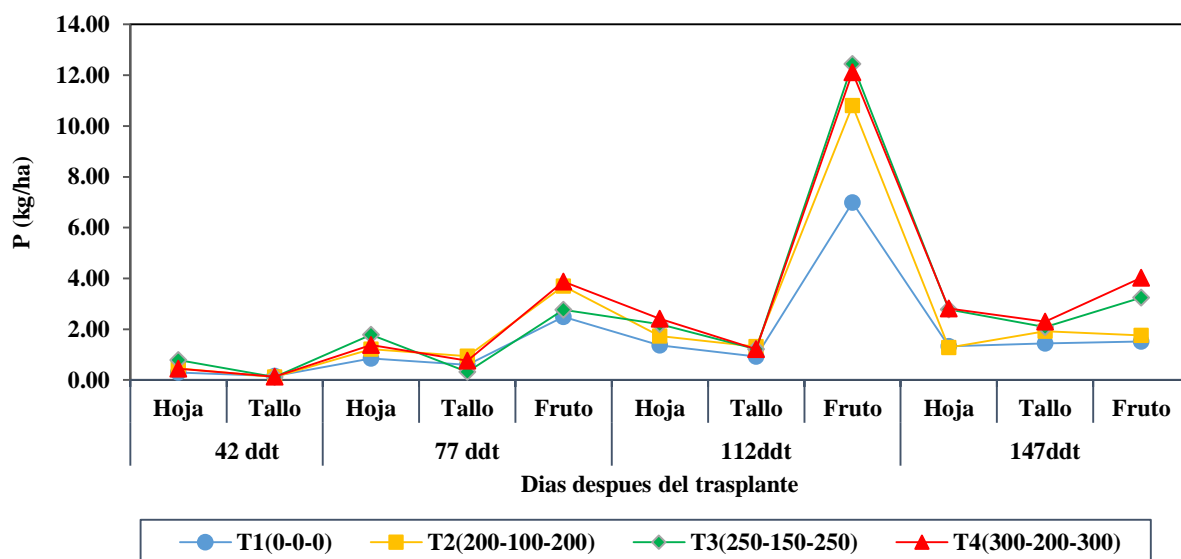


Figura 16. Extracción de fósforo (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

En la tabla 22 y figura 18 se muestran los datos obtenidos de la extracción total de los diferentes órganos de la planta a lo largo del ciclo fenológico del cultivo, en donde se observa que la extracción aumenta a partir de los 42 ddt, la curva de extracción en todos los órganos muestran que existe una misma tendencia, aunque en diferente grado.

La extracción total de fósforo en el pimiento paprika alcanza el mayor incremento hasta los 112 ddt, siendo la cantidad extraída del orden de 13.66 kg/ha. Este resultado es similar con lo obtenido por Salazar y Juárez (2012) quien reporta que la extracción de fósforo alcanzó entre los 10 a 25 kg/ha. Sin embargo, los valores de extracción obtenidos por Azofeifa y Moreira (2008) presentan cantidades de 7.6 kg/ha, siendo mucho menores a los obtenidos en este estudio.

En las hojas la curva de extracción fue en forma ascendente durante todo el ciclo de la planta, correspondiente desde las etapas de los: 42 ddt, 77 ddt, 112 ddt y 147 ddt. En los tallos se evidencia en la tabla 22 el incremento de la extracción del fósforo en todas las etapas fenológicas y alcanza su mayor tendencia de extracción en la etapa de la madurez de la planta. Los frutos muestran un incremento muy notable hasta los 112 ddt y posteriormente ocurre una disminución hacia los 147 ddt producto de la movilización y translocación ocurrido en el fruto (Figura 18).

Mengel y Kirby (2001) reportan que a medida que la planta crece y progresa desde el estado vegetativo a la madurez, los fotosintatos se dirigen cada vez más lejos de los tejidos meristemáticos, hacia los tejidos de reservas y esto está influenciado por factores externos como también por factores propios de la planta.

Las respuestas a la extracción del fósforo en el cultivo es muy variable a pesar que sus rangos de extracción son muchos menores a los otros macronutrientes, este efecto probablemente se encuentra relacionada a la poca solubilidad en estos suelos que son de naturaleza alcalina, sin embargo la fijación del fósforo en la solución suelo haya sido el factor que pueda haber influido en la disponibilidad y acumulación en el cultivo a consecuencia del pH alcalino, contenido de carbonatos y de otros cationes presentes en el medio como es el potasio, calcio y magnesio y que esto haya determinado en una reducida extracción en los órganos de la planta, probablemente por acción de mecanismos de extracción que determino su eficiencia en la adquisición del fósforo como también de la tasa de movimiento de los iones fosfatos hacia la parte de las raíces rizosfera y de la tasa de extracción del mismo, por lo tanto la máxima demanda de fósforo coincide con la aparición de inicio de la floración y con el periodo de madurez de la planta. Sin embargo la inflexión ocurrida en los frutos de la planta abatió su extracción en el periodo crítico de desarrollo, ubicado alrededor del cuajado de frutos a la madurez del fruto.

Tabla 22: Extracción de fósforo en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

ORGANO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
HOJA	0.49	1.30	1.92	2.04
TALLO	0.13	0.65	1.16	1.93
FRUTO		3.20	10.58	2.63
TOTAL	0.62	5.15	13.66	6.60

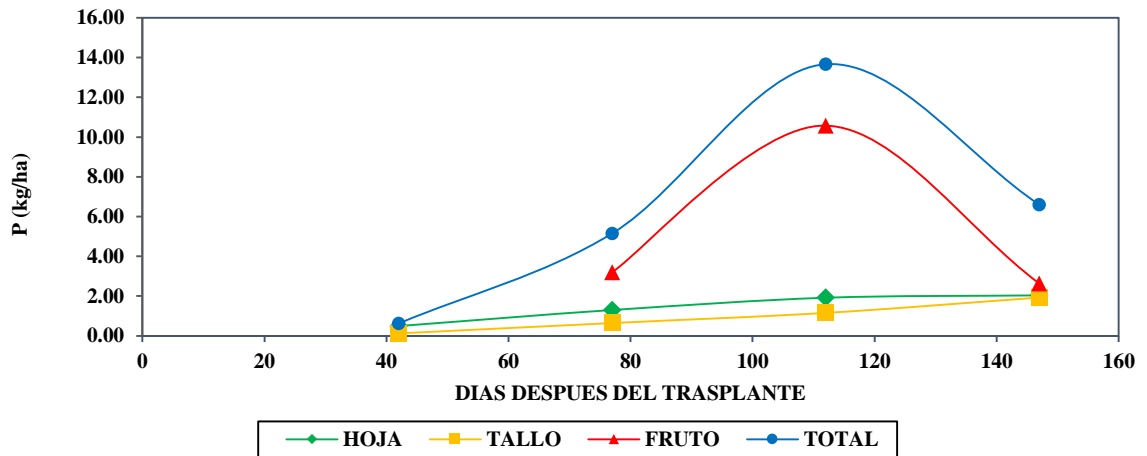


Figura 17. Extracción de fósforo en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.4.3 Extracción de potasio (kg/ha)

La máxima extracción de potasio (K) del pimiento paprika (tabla 23 y figura 19) en las hojas se obtuvo a los 147 ddt siendo el tratamiento T4 (300 – 200 – 300) con 48.14 kg/ha de potasio extraído y el T3 (250 – 150 – 250) con 45.55 kg/ha de potasio extraído, siendo los más representativos estadísticamente, mostrando diferencias significativas con el T2 (200 – 100 – 200) quien obtuvo la cantidad de 18.04 kg/ha de potasio, asimismo también presentó diferencias significativas el T1 (0 – 0 – 0) con el menor valor extraído de 12.82 kg/ha con respecto a los demás tratamientos evaluados.

Para los tallos se obtuvo su máxima extracción de potasio (K) a los 147 ddt con el tratamiento T4 (300 – 200 – 300) mostrando el valor más alto de extracción de 46.83 kg/ha de potasio, siendo superior a los otros tratamientos estudiados T3 (250 – 150 – 250), T2 (200 – 100 – 200) y T1 (0 – 0 – 0) con las cantidades de 41.51, 26.90 y 19.93 kg/ha de potasio extraído, sin embargo no presentaron diferencias significativas para todos los niveles de fertilización estudiados (tratamientos).

En los frutos se encontró alta significación estadística en la extracción de potasio (K), obteniéndose a los 112 ddt los tratamientos más representativos estadísticamente fueron el T3 (250 – 150 – 250) y T4 (250 – 150 – 250) con 86.39 y 81.35 kg/ha de potasio extraído, sin embargo no se encontró diferencias significativas con el T2 (200 – 100 – 200) quien

alcanzo extraer 73.10 kg/ha de potasio, asimismo se halló diferencias significativas con el T1 (0-0-0) con 46.78 kg/ha de potasio siendo menor este valor en la extracción de potasio en los tratamientos evaluados correspondiente a su periodo de máxima extracción.

Tabla 23: Extracción de potasio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

Extracción k (kg/ha)											
DDT	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	2.45a*	1.83a	19.03a	13.38a	20.73a	16.32b	12.99b	46.78b	12.82b	19.93a	8.15c
T2(200-100-200)	2.14a	1.77a	26.97a	22.78a	31.75a	37.58ab	29.93a	73.10ab	18.04b	26.90a	9.52c
T3(250-150-250)	2.28a	2.10a*	26.30a	17.28a	25.43a	42.70a*	29.89a	86.39a*	45.55a	41.51a	17.97b
T4(300-200-300)	1.97a	1.72a	28.70a*	30.33a*	40.83a*	41.33a	31.31a*	81.35a	48.14a*	46.83a*	23.46a*
Promedio	2.21	1.85	25.55	20.84	29.68	34.42	25.64	72.00	31.14	33.79	14.77
C.V. (%)	10.52	17.07	40.44	57.48	36.56	29.25	21.14	19.02	25.64	43.91	15.96
Pr>F	NS	NS	NS	NS	NS	*	**	**	**	NS	**

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

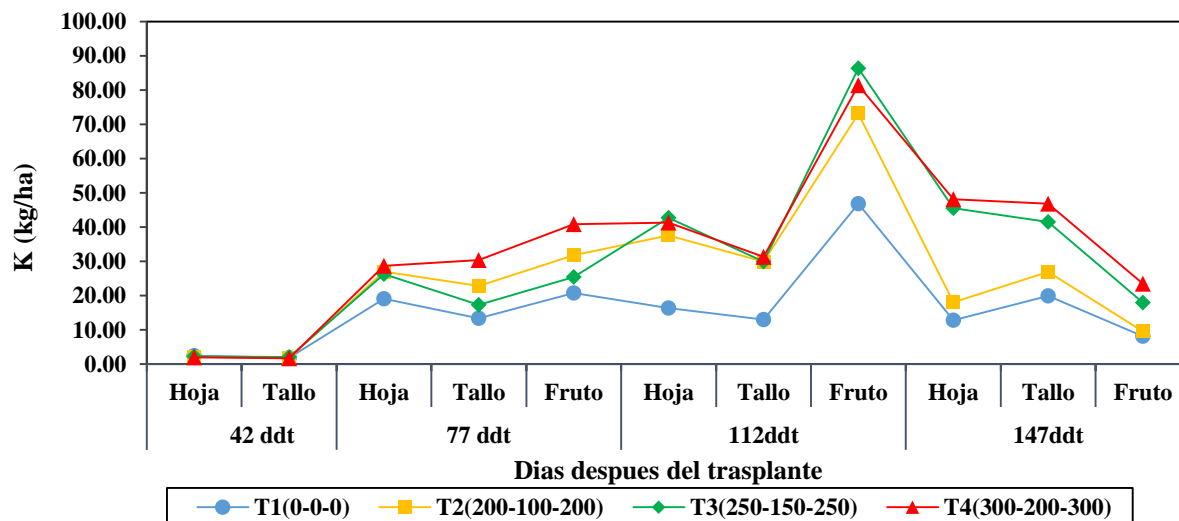


Figura 18. Extracción de potasio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

Los órganos de la planta de pimiento paprika tienen un incremento en la extracción de potasio desde los 42 ddt hasta los 112 ddt disminuyendo en la etapa final del cultivo. El mayor valor se presentó a los 112 ddt equivalente a 132.07 kg/ha, valores similares obtenidos por Miller (1979) citado por Maroto (2002) y Salazar y Juárez (2012) (tabla 24 y figura 20).

La extracción de potasio en las hojas alcanzó su máximo valor a los 112 ddt y posteriormente se presenta una disminución y translocación a otros órganos de la planta. En la acumulación de potasio en los tallos fue mucho menor en comparación a los demás órganos teniendo valores con tendencia creciente durante todo el ciclo de la planta alcanzando su máximo extracción a los 147 ddt. Para los frutos (figura 20) se presentó los mayores valores a los 112 ddt, posteriormente se reduce al final del ciclo de la planta.

El potasio fue el elemento más absorbido junto con el nitrógeno, probablemente el elemento es asimilable y se encuentra en estado soluble en la disolución suelo, o cuando es incorporado en el enjambre de iones fijados al complejo absorbente (Navarro y Navarro, 2014). Mengel y Kirby (2001) señalan que la velocidad de absorción de nutrientes difieren según los iones, en este caso el ion NO_3^- y K^+ son absorbidos rápidamente y por lo cual la planta extrae cationes y aniones del medio nutritivo en cantidades desiguales.

Asimismo estas respuestas nos indican que la demanda del potasio se manifiesta en forma permanente en la etapa previa y durante todo el periodo de producción de frutos. Por otro lado es importante mencionar lo que destaca Marschner (2012) que al incrementar el suministro radical de potasio es relativamente fácil incrementar el potasio en varios órganos, sin embargo cuando el potasio es abundante se presenta frecuentemente el consumo de lujo de potasio, lo que merece la atención con la toma y disponibilidad fisiológica de otros elementos como es el magnesio y calcio.

Los valores encontrados en la extracción de potasio puede haberse dado por la disponibilidad que existe y de las condiciones en sus propiedades físicas químicas del suelo, como consecuencia las respuestas a la extracción de potasio por parte de la planta se vio favorecido en la traslocación de compuestos orgánicos y que permitió la removilización de elementos proteicos almacenados en las hojas y su demanda permitió su adquisición a los otros órganos como en los frutos y tallos que involucro a las etapas fenológicas posteriores a inicio de la floración y cuajado de frutos. Por lo tanto el potasio extraído por la planta fue de manera

apreciable y que los factores que influyeron en la respuesta del cultivo a la aplicación de potasio fue; la cantidad de potasio disponible, humedad del suelo y el sistema de conducción del cultivo entre otros factores de crecimiento, aun existiendo una saturación media a baja de calcio, magnesio en el suelo no se vio dificultado en su efecto sobre la extracción de potasio en los diferentes órganos de la planta.

Tabla 24: Extracción de potasio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

ORGANO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
HOJA	2.21	25.25	34.42	31.14
TALLO	1.85	20.84	25.65	33.79
FRUTO		29.68	72.00	14.77
TOTAL	4.06	75.77	132.07	79.70

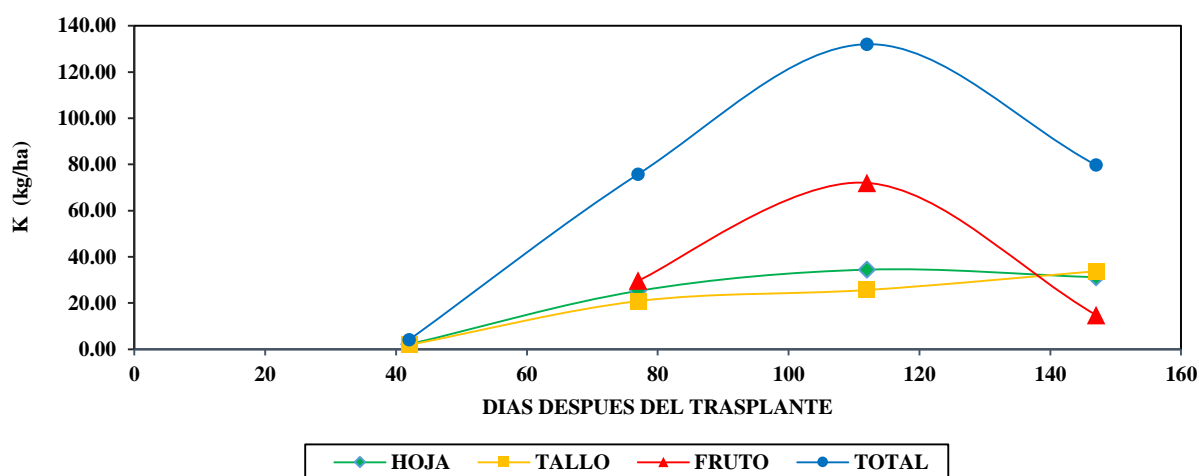


Figura 19. Extracción de potasio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.4.4 Extracción de calcio (kg/ha)

En la tabla 25 y figura 21 se muestra que la máxima extracción de calcio (Ca) en los diferentes periodos de muestreo de la planta de pimiento paprika para los diferentes niveles de fertilización se obtuvo para las hojas a los 147 ddt no obstante no hubo diferencias significativas para este periodo, sin embargo entre los niveles de fertilización si se

encontraron diferencias significativas. El tratamiento T4 (300 – 200 – 300) obtuvo la cantidad extraído de 71.30 kg/ha de Ca, siendo el más representativo estadísticamente con respecto a los T3 (250 – 150 – 250) y T2 (200 – 100 – 200) con 66.34 y 38.66 kg/ha de Ca extraído, sin embargo si se encontraron diferencias significativas con el T1 (0 – 0 – 0) quien obtuvo el 33.69 kg/ha siendo este el menor valor de extracción de Ca en las hojas para este periodo de muestreo (147 ddt).

Los tallos presentaron su máxima extracción de calcio a los 147 ddt y se obtuvo con el tratamiento T4 (300 – 200 – 300) con 33.67 kg/ha de Ca extraído, siendo superior al T3 (250 – 150 – 250), T2 (200 – 100 – 200) y T1 (0 – 0 – 0) con 31.53, 23.95 y 20.24 kg/ha de Ca extraído, sin embargo fueron similares estadísticamente para todos los niveles de fertilización y no mostraron diferencias significativas para el periodo de máxima extracción de calcio.

Para los frutos se obtuvo su máxima extracción de calcio a los 112 ddt con el tratamiento T3 (250 – 150 – 250) con la cantidad extraída de 10.42 kg/ha de Ca, siendo superior a los demás tratamientos estudiados T4 (300 – 200 – 300) con 7.43 kg/ha de Ca extraído, T2 (200 – 100 – 200) con 7.47 kg/ha de Ca extraído y T1 (0 – 0 – 0) con 4.62 kg/ha de Ca extraído, aunque no se encontraron diferencias significativas para el periodo de muestreo, sin embargo conservaron similitudes estadísticas para todos los niveles de fertilización.

Tabla 25: Extracción de calcio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

DDT	Extracción Ca (kg/ha)										
	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	1.40a*	0.40a*	15.92a	3.82a	2.10b	28.14b	7.71b	4.62a	33.69b	20.24a	1.30b
T2(200-100-200)	1.19a	0.38a	22.79a*	5.08a	2.96ab	42.20ab	17.51a*	7.47a	38.66ab	23.95a	1.18b
T3(250-150-250)	1.26a	0.37a	20.28a	4.99a	2.37ab	47.73ab	14.73ab	10.42a*	66.34ab	31.53a	2.83a*
T4(300-200-300)	1.18a	0.36a	21.73a	5.95a*	4.49a*	54.99a*	13.90ab	7.43a	71.30a*	33.67a*	2.74a
Promedio	1.26	0.38	20.18	4.96	2.97	43.29	13.46	7.48	52.50	27.35	2.01
C.V. (%)	28.77	14.80	43.12	47.00	34.66	21.78	32.87	41.77	31.83	53.69	19.36
Pr>F	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	**

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

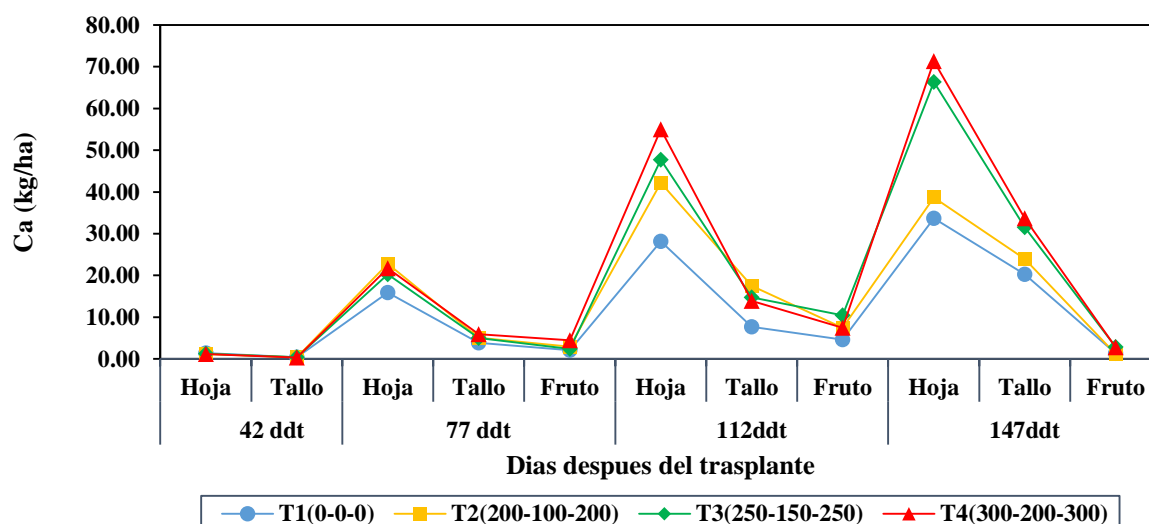


Figura 20. Extracción de calcio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

La extracción de este nutriente en los diferentes órganos de la planta a lo largo del ciclo fenológico se incrementó desde los 42 ddt aunque en diferente grado hasta el periodo de los 112 ddt (tabla 26 y figura 22).

La extracción total de calcio alcanza el mayor incremento a los 147 ddt, siendo la cantidad absorbida equivalente a los 81.86 kg/ha, correspondiente a la madurez fisiológica de la planta. Estos resultados coincide con los reportados por Rincón *et al.* (1993), sin embargo Maroto (2003), Azofeifa y Moreira (2008) y Salazar y Juárez (2012) reportan valores bajos desde 33.1 a 45 kg/ha en la extracción de calcio en pimiento.

La curva de extracción en las hojas fue de tendencia creciente hasta los 147 ddt, en donde alcanzo la máxima extracción (figura 28). La acumulación de calcio en el tallo se incrementó gradualmente y de manera progresiva desde los 42 ddt hasta el último muestreo correspondiente a la madurez fisiológica de la planta. La extracción de los frutos presento un valor bajo de extracción de calcio, en comparación a los otros órganos de la planta, sin embargo se destacó por su incremento a partir de los 77 ddt hasta los 112 ddt etapa en que alcanzó su máxima absorción y para luego presentar un descenso en la última etapa del ciclo del cultivo (tabla 26 y figura 22).

Havlin *et al.* (1999) reportan que la translocación del calcio dentro de la planta está dada por la corriente de transpiración que desarrollo el cultivo, por lo que resulta evidente la correlación entre intensidad de transpiración y absorción de calcio. Por lo tanto Mengel y Kirby (2001) agregan que el calcio se moviliza a los brotes y hojas más tiernas y por lo cual se depositan y por su baja concentración en el floema provoca un pobre suministro de calcio a los frutos presentando deficiencias en los tejidos de la planta.

La variación de los efectos encontrados en la extracción de calcio pueden estar determinado a la aptitud que posee el calcio en moverse en la corriente transpiratoria del cultivo en los principales periodos del cultivo, sin embargo la respuesta de reacción a la extracción del calcio resulta de manera individual en los principales órganos de la planta siendo las hojas y tallos superiores en la extracción en comparación de los frutos que fue reducido su respuesta, por lo tanto las extracciones de calcio en la planta son crecientes a lo largo del ciclo del cultivo alcanzando valores importantes en los periodos próximos a la madurez de la planta, sustancialmente resulta importante para el cultivo, aunque en los frutos no llegue alcanzar la suficiente demanda, probablemente haya influenciado factores externos como los cambios en la temperatura en el medio, la salinidad del suelo, el régimen hídrico existente y los altos niveles de potasio existente en el medio y esto hayan influenciado en su respuesta de extracción.

Tabla 26: Extracción de calcio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

ORGANO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
HOJA	1.26	20.18	43.29	52.50
TALLO	0.38	4.96	13.46	27.35
FRUTO		2.97	7.48	2.01
TOTAL	1.64	28.11	64.23	81.86

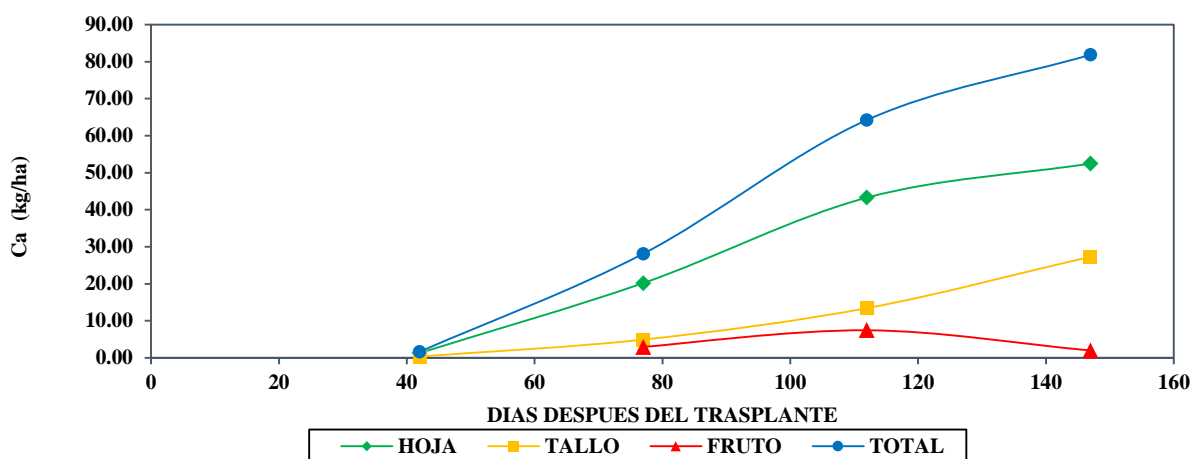


Figura 21. Extracción de calcio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.4.5 Extracción de magnesio (kg/ha)

La extracción de magnesio (Mg) (tabla 27 y figura 23) se obtuvo para las hojas la máxima extracción a los 147 ddt mostrando una alta diferencia significativa para este periodo de muestreo siendo el tratamiento T3 (250 – 150 – 250) con 11.87 kg/ha de Mg extraído y el T4 (300 – 200 – 300) con 11.85 kg/ha de Mg extraído los más representativos estadísticamente, aunque no presentaron diferencias significativas, sin embargo hubo diferencias significativas con el T2 (200 – 100 – 200) y T1 (0 – 0 – 0) quienes obtuvieron valores muchos menores de 5.76 y 5.58 kg/ha de Mg extraído con respecto a los demás tratamientos estudiados.

Para los tallos se obtuvo la máxima extracción a los 147 ddt no encontrando diferencias significativas para este periodo de muestreo, sin embargo mostro similar respuestas estadísticas para todos los tratamientos estudiados, siendo el T4 (300 – 200 – 300) con 11.92 kg/ha de Mg superior en la extracción en los tallos con respecto a los T3 (250 – 150 – 250), T2 (200 – 100 – 200) y T1 (0 – 0 – 0) quienes obtuvieron las extracciones de 10.47, 9.21 y 8.82 kg/ha de Mg.

Los frutos presentaron su máxima extracción a los 112 ddt presentando alta significación estadística para este periodo de muestreo siendo los tratamientos T3 (250 – 150 – 250) y el T4 (300 – 200 – 300) los más representativos estadísticamente con valores extraídos de 6.37

y 5.55 kg/ha de Mg, aunque con el T2 (200 – 100 – 200) con 4.95 kg/ha de Mg extraído si presento similar respuesta estadística, sin embargo si hubo diferencias significativas con el T1 (0 – 0 – 0) quien obtuvo la menor cantidad de 3.18 kg/ha de Mg extraído en los frutos con respecto a los otros niveles de fertilización.

Tabla 27: Extracción de magnesio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

Extracción Mg (kg/ha)											
DDT	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	0.51a	0.28a	4.00a	1.55a	1.92a	4.09b	2.92b	3.18b	5.58b	8.82a	0.80a
T2(200-100-200)	0.44a	0.28a	6.22a*	2.98a*	2.48a	8.63a	5.34a*	4.95ab	5.76b	9.21a	1.01a
T3(250-150-250)	0.58a*	0.28a	5.97a	2.41a	2.15a	8.26a	4.46ab	6.37a*	11.87a*	10.47a	1.84a
T4(300-200-300)	0.49a	0.28a*	6.17a	2.05a	3.48a*	8.65a*	4.92ab	5.55a	11.85a	11.92a*	2.22a
Promedio	0.50	0.28	5.59	2.40	2.51	7.41	4.41	5.01	8.77	10.11	1.47
C.V. (%)	19.18	16.00	42.29	43.29	39.45	11.51	22.77	21.05	27.65	34.22	13.50
Pr>F	NS	NS	NS	NS	NS	**	*	**	**	NS	**

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

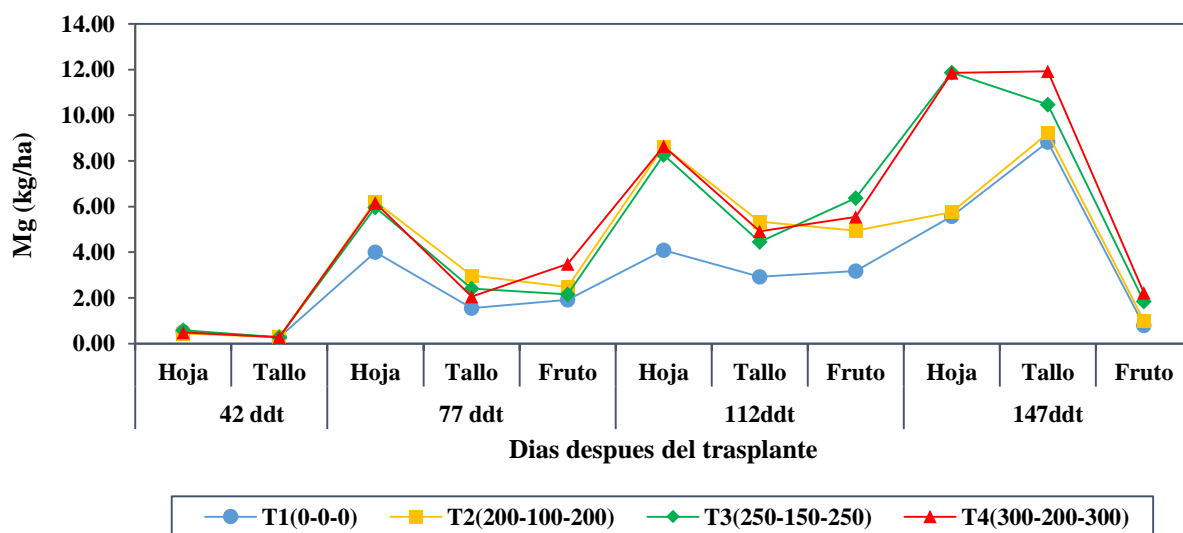


Figura 22. Extracción de magnesio (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

La extracción total de magnesio a lo largo del ciclo del cultivo llega a su máximo a los 147 ddt correspondiente a la maduración fisiológica de la planta. Se puede observar que la extracción aumenta a partir de los 42 ddt y continúa conforme transcurre el ciclo de la planta. Las curvas demuestran que existe una misma tendencia aunque en diferente grado, en particular la extracción en el fruto al final del ciclo disminuye (tabla 28 y figura 24).

La mayor cantidad de magnesio extraído se presentó a los 147 ddt equivalente a 20.35 kg/ha. Sin embargo Azofeifa y Moreira (2008), Arteaga (2012) y Salazar y Juárez (2012) obtuvieron valores de 7.3, 13.0 y 12.25 kg/ha de extracción de magnesio, siendo estos valores muy bajos a lo indicado por Miller (1979) quien alcanzo obtener hasta los 34 kg/ha de magnesio extraído en pimientos.

Las hojas presentaron una ascendente extracción de magnesio desde los 42 ddt hasta los 147 ddt, correspondiente a la etapa final del ciclo de la planta. Similar respuesta se encontró con el tallo en la absorción y alcanzó su máxima extracción a los 147 ddt. El magnesio se acumuló en forma continua en las hojas y tallos durante todo el ciclo fenológico de la planta (Mengel y Kirby, 2001) lo que se puede observar que las plantas son capaces de absorber iones selectivamente y al ser acumuladas en las hojas, por lo que generara la disponibilidad de ella cuando la planta requiera energía para la síntesis de compuestos y transportarlos a los demás órganos o partes de la planta que lo demande (figura 24).

Los frutos presentaron un incremento gradual a partir de los 77 ddt hasta los 112 ddt, para luego reducir su extracción en la etapa final de la madurez del fruto (figura 26). Estos nos indica que la demanda de este elemento se manifiesta de forma continua en la etapa previa a la maduración de frutos y para la exportación desde la fuente a la demanda produciéndose una disminución de almidón en los tejidos de almacenamiento (Marschner, 2012).

La influencia en la extracción de magnesio puede estar asociado al escaso suministro del elemento, aun existiendo un porcentaje bajo de saturación de magnesio en el suelo probablemente haya suministrado a la planta y actuado en su demanda y removilizara desde las hojas como fuente a los otros órganos (tallos y frutos) en las diferentes etapas del ciclo del cultivo, como consecuencia probable existió una disminución de carbohidratos en los órganos de almacenamiento como es el caso de los frutos. Este efecto reducido en la extracción de la planta posiblemente se relacione con la forma divalente del magnesio en el

cual es absorbido y haya afectado por el nivel de competencia entre los otros cationes existentes en la saturación de bases como es el potasio y el calcio, por lo que un alto nivel intercambiable en el suelo de potasio haya provocado sobre la reducida extracción de magnesio por parte de la planta. De igual manera los niveles elevados en los tenores de calcio también hayan actuado sobre la depresión en la extracción de magnesio en la planta. Por lo tanto pueden haber influenciado algunos factores en la disponibilidad y extracción del magnesio en las plantas como las prácticas agrícolas, humedad del suelo, capacidad de intercambio catiónica, materia orgánica existente en el suelo y el pH del medio y que esto sea unas de las condiciones sobre la dinámica en la extracción del magnesio.

Tabla 28: Extracción de magnesio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

ORGANO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
HOJA	0.50	5.59	7.41	8.77
TALLO	0.28	2.40	4.41	10.11
FRUTO		2.51	5.01	1.47
TOTAL	0.78	10.50	16.83	20.35

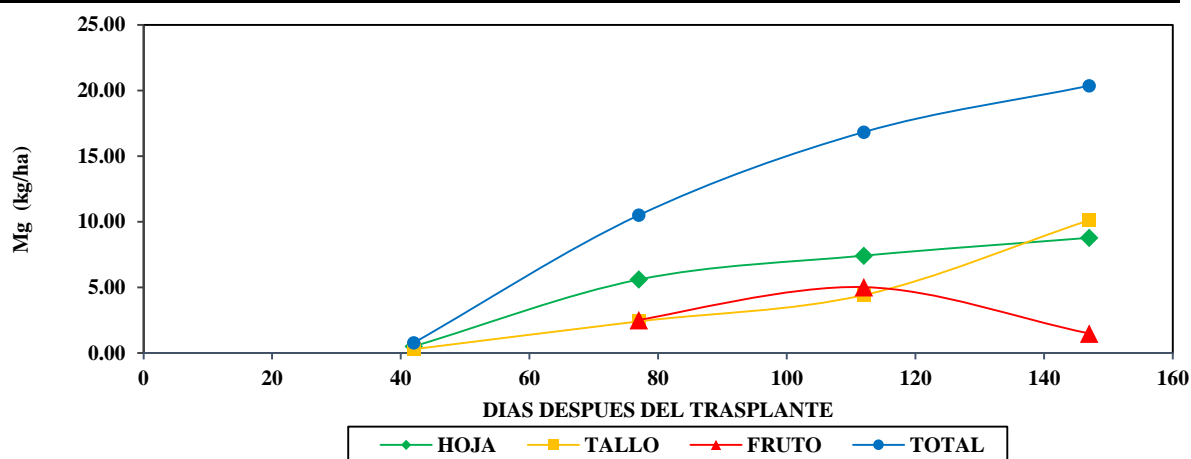


Figura 23. Extracción de magnesio en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.4.6 Extracción de azufre (kg/ha)

En la tabla 29 y figura 25 se obtuvo la extracción de azufre (S) en los diferentes niveles de fertilización y periodos de muestreo, encontrando la máxima extracción de azufre para las

hojas a los 147 ddt aunque no hubo diferencias significativas para el periodo de máxima extracción de azufre pero si existió similar respuestas estadística para los tratamientos estudiados, siendo superior en cuanto a la extracción de azufre en las hojas el T4 (300 – 200 – 300) con 16.22 kg/ha en comparación a los otros tratamientos T3 (250 – 150 – 250), T1 (0 – 0 – 0) y T2 (200 – 100 – 200) con valores extraídos de 14.79, 9.28 y 7.21 kg/ha de S extraído en las hojas.

Para los tallos la máxima extracción de azufre se obtuvo a los 147 ddt, en este periodo de muestreo no hubo diferencias significativas, sin embargo hubo respuestas estadísticamente similares para todos los tratamientos evaluados, siendo el T4 (300 – 200 – 300) con 13.59 kg/ha de S, superior a los tratamientos T3 (250 – 150 – 250), T1 (0 – 0 – 0) y T2 (200 – 100 – 200) con 11.72, 9.65 y 9.35 kg/ha de azufre extraído en los tallos.

Los frutos no presentaron diferencias significativas en su máxima extracción de azufre (S) correspondiente al periodo de muestreo de 112 ddt, sin embargo mostro similar significancia estadística para todos los tratamientos estudiados, siendo superior en la extracción de S en los frutos el T3 (250 – 150 – 250) con 11.53 kg/ha, con respecto a los otros tratamientos T4 (300 – 200 – 300), T2 (200 – 100 – 200) y T1 (0 – 0 – 0) con 8.78, 8.39 y 6.10 kg/ha de S extraído en los frutos.

Tabla 29: Extracción de azufre (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

DDT	Extracción S (kg/ha)										
	42		77		112			147			
Tratamiento	Hoja	Tallo	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto	Hoja	Tallo	Fruto
T1(0-0-0)	0.18a	0.11a	2.28a	1.54a	2.27a	7.64b	4.75a	6.10a	9.28a	9.65a	1.67b
T2(200-100-200)	0.18a	0.11a	3.49a	2.28a*	3.65a	9.33ab	5.23a*	8.39a	7.21a	9.35a	1.62b
T3(250-150-250)	0.18a*	0.10a	4.23a	1.95a	2.69a	12.44a*	4.08a	11.53a*	14.79a	11.72a	3.63a
T4(300-200-300)	0.17a	0.12a*	4.30a*	2.01a	4.50a*	9.29ab	4.27a	8.78a	16.22a*	13.59a*	4.82a
Promedio	0.18	0.11	3.57	1.94	3.28	9.67	4.58	8.70	11.87	11.08	2.93
C.V. (%)	39.04	29.22	48.55	39.54	40.01	15.70	24.40	34.90	47.24	44.14	23.40
Pr>F	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	**

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

DDT: Días después del trasplante

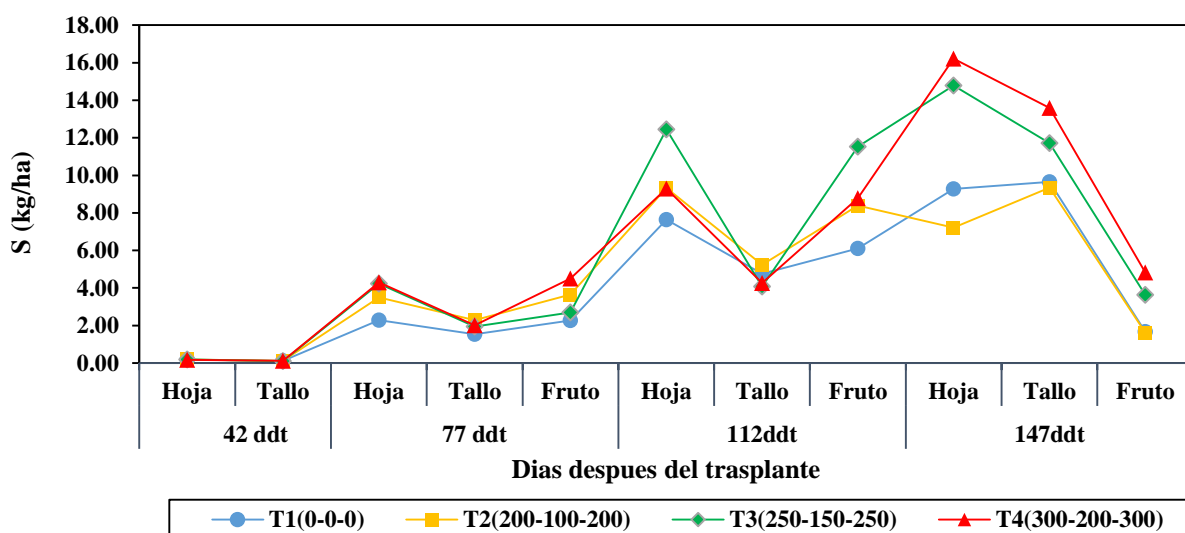


Figura 24. Extracción de azufre (kg/ha) en los diferentes niveles de fertilización de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

En la tabla 30 se observan los resultados obtenidos de la extracción de azufre de los diferentes órganos de las planta a lo largo del ciclo fenológico del pimiento paprika. Las curvas de extracción en todos los órganos demuestran que existe una misma tendencia, aunque en diferente grado, excepto los frutos que es el órgano que extrae en menor cantidad en la última etapa del periodo fenológico (figura 26).

La extracción total de azufre alcanzo el mayor incremento hasta el último periodo del ciclo de la planta correspondiente a los 147 ddt, siendo la máxima cantidad absorbida de 25.88 kg/ha de azufre (figura 26). Sin embargo Azofeifa y Moreira (2008) y Arteaga (2012) encontraron valores bajos de 8.2 y 24 kg/ha. Por otro lado en el cultivo de ají, Castillo (2014) y Tirado (2014) reportaron valores de extracción de azufre entre los 34.4 y 31.03 kg/ha, respectivamente.

En las hojas la curva de extracción fue ascendente hasta alcanzar la madurez fisiológica de la planta correspondiente a los 147 ddt (Figura 26). La acumulación de azufre en el tallo fue de manera progresiva en todas etapas muestreadas, en donde la máxima extracción alcanzó su máximo valor a los 147 ddt. La curva de extracción por los frutos presentó un incremento lento a partir de los 77 ddt y posteriormente a los 112 alcanzó su máxima extracción, y

posteriormente se reduce al final del ciclo de la planta con diferentes grados en comparación a los otros órganos de la planta.

Guardiola y García (1990) y Mengel y Kirby (2001) reportan que la proporción que son absorbidos los nutrientes es, en ocasiones distintas a los que se encuentran en el medio. Asimismo Porta *et al.* (2013) quienes refieren que los mecanismos de absorción de aniones como en el caso de ion SO_4^- , se caracterizan en la selectividad en la absorción y adsorciones reversibles, por lo que los resultados obtenidos se podrían relacionar con la extracción de azufre en la planta.

El efecto del azufre en la extracción encontrado en los diferentes órganos de la planta es muy variado, puesto que en un inicio de cultivo manifiesta una lenta disponibilidad en los tejidos vegetales, sin embargo conforme acumula reservas que las removiliza en cantidades variables de iones de azufre en las diferentes etapas fenológicas, aunque en las etapas posteriores al desarrollo y madurez del fruto declino en su extracción, si bien este comportamiento es lento en un principio, pero más probablemente su exportación se vea influenciado por las condiciones externas del medio muy estrechos que motivo su traslocación en los órganos de almacenamiento. Por otro lado, las respuestas halladas puedan estar relacionadas por la presencia de las cantidades importantes en el agua de riego en forma de sulfatos, con tendencia haberse acumulado en el suelo, además las fuentes de fertilizantes que se suministraron se presentan en forma de sulfatos, por lo que sus necesidades suelen estar cubiertas.

Tabla 30: Extracción de azufre en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

ORGANO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
HOJA	0.18	3.57	9.67	11.87
TALLO	0.11	1.94	4.58	11.08
FRUTO		3.28	8.70	2.93
TOTAL	0.29	8.79	22.95	25.88

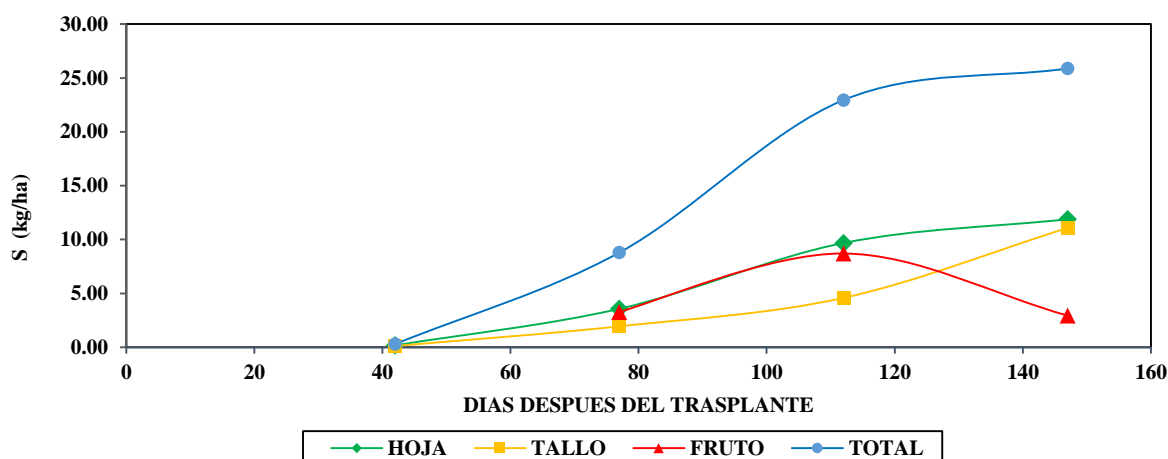


Figura 25. Extracción de azufre en los diferentes órganos de la planta (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

4.4.7 Extracción total de macronutrientes (kg/ha)

Durante el ciclo del cultivo, la mayor extracción del macronutriente se dieron para el caso del nitrógeno a los 112 ddt con 188.11 kg/ha, seguido en orden decreciente por potasio a los 112 ddt con 132.07 kg/ha, el calcio a los 147 ddt con 81.86 kg/ha, el azufre a los 147 ddt con 25.88 kg/ha, el magnesio a los 147 ddt con 20.35 kg/ha y por el ultimo el fósforo a los 112 ddt con 13.66 kg/ha (tabla 31 y figura 27).

Estos resultados obtenidos concuerdan con Bertsch (2003) quien señala que la extracción de nutrientes requerida por la planta contempla varias etapas, preferiblemente asociadas a los estados fenológicos. Asimismo Miller (1979) citado por Maroto (2002) sostiene que la mayor acumulación de N, P, K, Mg y Ca en el pimiento se producía entre los 28 y 41 ddt, pero que era entre los 50 y 70 ddt, cuanto mayor resultaba la tasa de absorción, siendo similares las extracciones totales a los 112 ddt con 111.1 kg/ha de N, 17.2 kg/ha de P, 135.6 kg/ha de K, 33.1 kg/ha de Ca y 34 kg/ha de Mg. Sin embargo Azofeifa y Moreira (2008) encontraron valores muy bajos de extracción de macronutrientes en el pimiento, siendo estos de 79.3 kg/ha en potasio, 31.7 kg/ha en nitrógeno, 8.2 kg/ha en calcio, 7.6 kg/ha en azufre, y 7.3 kg/ha en magnesio.

De esta manera las respuestas a la extracción de macronutrientes en sus diferentes órganos de la planta y las etapas comprendidas en el muestreo de la planta posiblemente resulten extrapolables a otras situaciones más allá de las circunstancias particulares donde se efectuaron como las condiciones nutricionales, respuesta al medio y el potencial genético de la planta. Un aspecto clave es por lo mencionado por Flink (2013) quien indica, que el valor de extracción mínima es el más adecuado para calcular las necesidades del abonamiento y está basada en los niveles óptimos de los nutrientes.

Tabla 31: Extracción total de macronutrientes (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

ELEMENTO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE			
	42	77	112	147
N	4.46	63.43	188.11	55.05
P	0.62	5.15	13.66	6.60
K	4.06	75.77	132.07	79.70
Ca	1.64	28.11	64.23	81.86
Mg	0.78	10.50	16.83	20.35
S	0.29	8.79	22.95	25.88

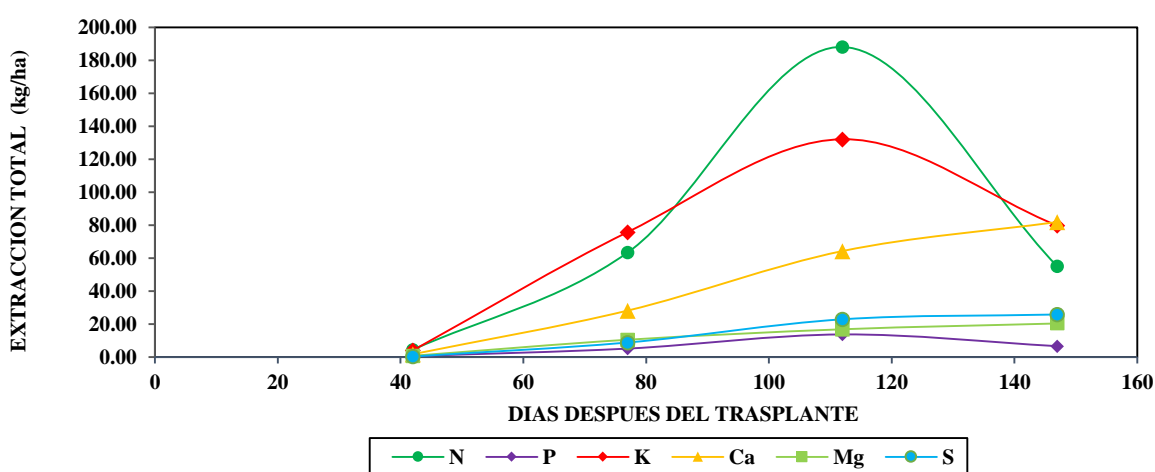


Figura 26. Extracción total de macronutrientes (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

En la tabla 32 y figura 28 se muestra la extracción de los macronutrientes en función de los niveles de fertilización evaluada se aprecia que el tratamiento de fertilización T4 (300 – 200 – 300) supera en extracción de los macronutrientes a los otros niveles de fertilización; T3 (250 – 150 – 250), T2 (200 – 100 – 200) y T1 (0 – 0 – 0). El elemento con mayor absorción es el potasio (K) en los cuatro tratamientos, seguidos por nitrógeno (N), calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg) y fósforo (P), estas extracciones son obtenidas para una producción

individual de cada tratamiento, siendo para el T4 (300 – 200 – 300) la producción de frutos frescos de 25.00 t/ha, en el T3 (250 – 150 – 250) la producción de frutos frescos de 21.27 t/ha, en el T2 (200 – 100 – 200) la producción de frutos frescos de 19.73 t/ha y en el T1 (0 – 0 – 0) se obtuvo la producción de frutos frescos de 7.74 t/ha. Resultados similares son reportados por Miller (1979) citado por Maroto (2002) y Salazar y Juárez (2012) pero con cantidades menores de potasio (K).

La extracción de macronutrientes para la producción de 1 t/ha de producto fue para el T4 (300 – 200 – 300) 11.31 N, 1.26 P, 15.06 K, 8.71 Ca, 2.30 Mg, 2.72 S, para el T3 (250 – 150 – 250); 11.92 N, 1.40 P, 15.86 K, 9.52 Ca, 2.57 Mg, 3.17 S, para el T2 (200 – 100 – 200); 11.72 N, 1.28 P, 14.17 K, 8.27 Ca, 2.40 Mg, 2.58 S, para el T1 (0 – 0 – 0); 19.39 N, 2.32 P, 22.54 K, 15.45 Ca, 4.35 Mg, 5.87 S. Salazar y Juárez (2012) y Arteaga (2012) reportaron valores similares.

Navarro y Navarro (2013) indican que la cantidad de nutrientes esenciales que extraen depende de la producción de la biomasa que se logre y de la correlación entre las concentraciones de los nutrientes en los distintos órganos de la planta, como también lo existente en el suelo, o en la disolución nutritiva y la producción obtenida, sin embargo estas exportaciones de nutrientes está regulado por el ambiente, el manejo y el genotipo, por lo tanto se puede destacar que la provisión de nutrientes disponible puede variar dentro de ciertos límites, modificando la composición de las plantas sin afectar el rendimiento tal como lo señala Thompson y Troeh (2015).

Los efectos en la extracción de los macronutrientes es el resultado de las distintas acciones que existe en el suelo y de las respuestas de la planta de pimiento paprika y que las curvas de respuestas de los macronutrientes se encuentran influenciados por factores externos e internos de intensidad y capacidad de los iones en la solución suelo y que a través de estas condiciones que poseen los elementos minerales probablemente disponibles como medio fuente por lo que, puedan haber determinado la demanda de la planta y que de alguna forma favoreció en la capacidad de extracción y acumulación de los nutrientes sobre los distintos órganos de la planta en los distintas etapas del ciclo del cultivo. Por lo tanto, en virtud a los niveles crecientes suministrados sobre las respuesta a la extracción de macronutrientes se pueden establecer como base para los balances del abonado (especialmente de nitrógeno, fosforo y potasio), el grado de aprovechamiento y su extracción, por lo que fue muy

importante en el desempeño en la extracción de macronutrientes los iones K, N, Ca, S, Mg y P, aunque es necesario considerar que la variabilidad sobre las extracciones medias hace que estos no resulten satisfactorios, por lo que es necesario tener en cuenta los lugares y los niveles de fertilización que indica márgenes amplios y que puedan determinar un efecto sobre el consumo de lujo sobre el valor limitante de la producción.

Tabla 32: Extracción de macronutrientes para los niveles de fertilización (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

TRATAMIENTO	EXTRACCIONES DE NUTRIENTES (kg/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
T4 (300 - 200 - 300)	282.81a*	31.46a*	376.53a*	217.80a*	57.42a*	68.09a*
T3 (250 - 150 - 250)	253.55a	29.70a	337.37a	202.40a	54.67a	67.32a
T2 (200 - 100 - 200)	231.22a	25.19a	279.62b	163.13a	47.30ab	50.82a
T1 (0 - 0 - 0)	150.04b	17.93a	174.46c	119.57a	33.66b	45.43a
Promedio	229.46	26.07	292.05	175.78	48.29	57.97
CV (%)	24.55	34.45	28.82	33.61	26.45	35.10
Pr>f	*	NS	**	NS	*	NS

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; No significativo NS

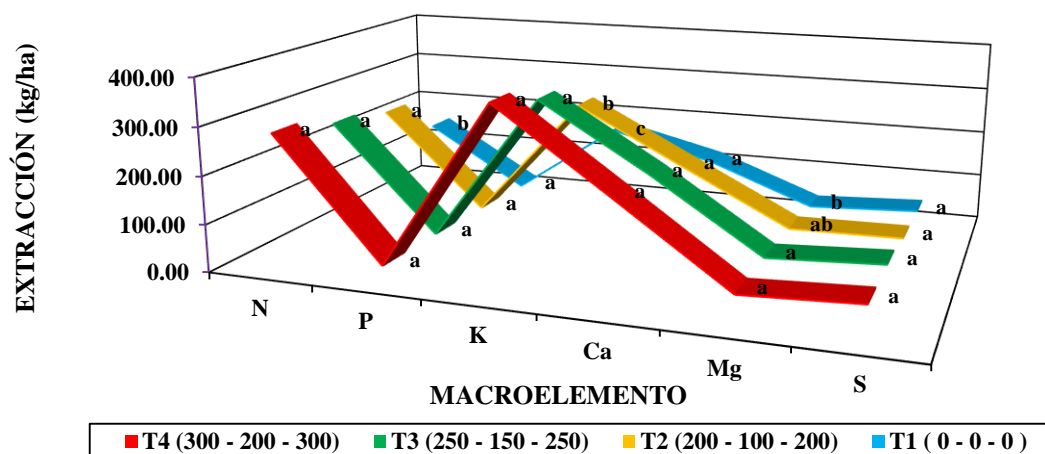


Figura 27. Extracción de macronutrientes para los niveles de fertilización (kg/ha) de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones del valle de Pativilca

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos para las condiciones experimentales y los tratamientos establecidos se obtuvieron las siguientes conclusiones;

1. Se establece que la máxima respuesta a la curva de extracción de macronutrientes para las condiciones del valle de Pativilca-Perú, resulto ser con el tratamiento 4 (300 N – 200 P₂O₅ – 300 K₂O) kg/ha.
2. Los niveles de fertilización presentaron efectos variables en los diferentes órganos de la planta e influyo en las respuestas favorables a los suministros, disponibilidad y extracción del potasio y nitrógeno, asimismo hubo un efecto leve depresivo en la extracción del fosforo, además las plantas lograron movilizar cantidades notables de calcio y azufre existente en el medio, sin embargo con el magnesio no hubo efecto sobre la extracción.
3. La adecuada respuesta a los rendimientos de frutos frescos de pimiento paprika alcanzo obtener con el tratamiento T4 (300–200–300 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O) con 25.00 t/ha, aunque produjo tendencias estadísticas similares en la respuesta con los tratamientos T3 (250–150 –250 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O) y T2 (200–100–200 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O).
4. La acumulación de materia seca ocurrió entre los 112 a 147 días después del trasplante, el tallo es el órgano de la planta quien alcanzo la máxima acumulación en el último periodo de muestreo.
5. Los macronutrientes que se encuentran en mayor concentración en las hojas es el Ca, K y N, asimismo los tallos presentan una mayor concentración de K, Ca y N, y en los frutos la máxima concentración se obtuvo de N, K y S.

6. Las hojas presentan la mayor extracción de Ca, K y N, siendo los periodos de máxima respuesta comprendidos entre los 112 y 147 días después del trasplante. Los tallos presentan la mayor extracción de K, Ca y N, siendo el periodo de máxima respuesta a los 147 días después del trasplante, asimismo los frutos presentan la mayor extracción de K, N y P, siendo el periodo de máxima respuesta a los 112 días después del trasplante.
7. La cantidad de macronutrientes extraído por el cultivo de pimiento paprika es de 282.81 kg/ha de N, 31.46 kg/ha de P, 376.53 kg/ha de K, 217.80 kg/ha de Ca, 57.42 kg/ha de Mg y 68.09 kg/ha de S, con un máximo rendimiento de fruto fresco de 25.00 t/ha.
8. A partir de los 112 días después del trasplante, se produce una intensa translocación desde los órganos vegetativos hacia los frutos de los macronutrientes primarios N, P y K y en el caso de la acumulación de los macronutrientes secundarios Ca, Mg y S se presentaron a los 147 días después del trasplante.
9. La variación en el contenido de nutrientes y su extracción en los distintos órganos de la planta de pimiento paprika no se relaciona con la cantidad requerida para soportar los procesos fisiológicos y cubrir sus necesidades, por lo que el aporte de los fertilizantes dentro de un plan de fertilización constituye en un elemento indispensable para el conjunto de procesos demandados por el cultivo.
10. El alcance del estudio obtenido nos permite establecer la curva de respuesta y realizar un buen plan de fertilización en el cultivo de pimiento paprika en condiciones del valle de Pativilca. Por tal razón no solo es necesario identificar los requerimientos nutricionales, sino también de las condiciones del suelo y su interacción con el medio ambiente de la zona en estudio.

VI. RECOMENDACIONES

En suelos con características similares al trabajo de experimentación comparar los niveles de respuesta del potasio, magnesio y calcio y su comportamiento en los rendimientos.

Evaluar fuentes de fertilizantes, momentos idóneos de fertilización y su respuesta a la extracción en pimiento paprika tipo Papriking en condiciones controladas.

Realizar ensayos de investigación donde se relacione la densidad de siembra y su influencia en la acumulación de la biomasa y absorción de nutrientes.

Elaborar programas de extensión que permita el adecuado empleo de los insumos externos (fertilizantes orgánicos e inorgánicos) con un enfoque sostenible en los sistemas de producción de pimiento paprika tipo Papriking.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALCANTAR, G.; TREJO, L. 2007. Nutrición de cultivo. México DF, México, Mundi Prensas SA. 457 p.
- ÁLVAREZ, R.; RUBIO, G.; ÁLVAREZ, C.; LAVADO, R. 2012. Fertilidad de suelos: Caracterización y manejo en la región Pampeana. 2ed. Facultad de agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 538 p.
- ARTEAGA, A. 2012. Determinación de la curva de extracción y de la hoja a muestrear para análisis de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annuum* L.). Tesis Mg.Sc. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 129 p.
- AZABACHE, A. 2003. Fertilidad de suelos para una agricultura sostenible. Universidad Nacional del Centro. Huancayo, Perú. 225 p.
- AZCÓN, J.; TALÓN, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ed. Madrid, España. Mc Graw Hill Interamericana de España SA. 651 p.
- AZOFEIFA, A.; MOREIRA, M. 2008. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de Chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Agronomía Costarricense* 32 (1): 19-29. Consultado 22 feb. 2019. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v29n01_077.pdf.
- BARCELÓ, J.; NICOLÁS, G.; SABATEA, B.; SÁNCHEZ, R. 2001. Fisiología vegetal. Madrid, España, Ediciones Pirámide. 566 p.
- BAZÁN, R. 1996. Manual para análisis químico de suelos aguas y plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina, Fundación para el Desarrollo Agrario, Lima, Perú. 55 p.
- BENITES, M. 2012. Comparativo de fuentes y niveles de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) cv. Papriking bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agro. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 104 p.

- BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense. 1ed. San José, Costa Rica. 307 p.
- BLEASDALE, J. 1973. Plant physiology in relation to Horticulture. Royal horticultural society, the horticultural education association, University of Buth, London, King United. 144 p.
- BORNEMISZA, E. 1982. Introducción a la química de suelos. Secretaria general de la Organización de los Estados Americanos. Washington DC, Estados Unidos, OEA. 74 p.
- BORNEMISZA, E. 1990. Problemas del azufre en suelos y cultivos de mesoamerica. 1ed. San José, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 101 p.
- CADAHIA, C. 2008. La savia como índice de fertilización: Cultivos agroenergéticos, hortícolas frutales y ornamentales. Mundi prensa SA, Madrid, España. 256 p.
- CAMPOS, D. 2005. Agroclimatología cuantitativa de los cultivos. 1ed. México DF, México, Editorial Trillas SA. 320 p.
- CASTAGNINO, A. 2009. Manual de cultivos hortícolas innovadores. Buenos Aires, Argentina, Editorial Hemisferio Sur. 356 p.
- CASTILLO, S. 2014. Curvas de extracción de macronutrientes en ají escabeche (*Capsicum baccatum var pendulum*) bajo las condiciones del valle de chicama. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 132 p.
- COOK, G. 1987. Fertilización para rendimientos máximos. 3ed. Rev. México DF, México, Compañía Editorial Continental SA. 383 p.
- DOMÍNGUEZ, A. 1997. Tratado de fertilización. 3ed. Madrid, España, Mundi prensa SA. 613 p.
- ECHEVARRÍA, H.; GARCÍA, F. 2003. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Instituto del fosforo y potasio, Instituto nacional de tecnología agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 520 p.
- ELÍAS, F.; CASTELLVI, F. 1996. Agrometeorología. Ministerio de agricultura, pesca y Alimentación. Madrid, España, Mundi Prensa SA. 517 p.
- EVANS, L. 1983. Fisiología de cultivos. Buenos Aires, Argentina, Editorial Hemisferio Sur SA. 402 p.

- FAGERIA, N.; BALIGAR, V.; CLARK, R. 2006. Physiology of crop production. Food products. New York, United States of America. Press crop science Binghamton. 345 p.
- FASSBENDER, H. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la Organización de Estados Americanos, Turrialba, Costa Rica. 398 p.
- FINCK, A. 2013. Fertilizantes y fertilización. Barcelona, España. Reverte SA. 439 p.
- FUENTES, J. 2000. Iniciación de la meteorología y climatología. 1ed. Agroguía, Madrid, España, Mundi prensa SA. 171 p.
- GARCÍA, J. 1992. Agrometeorología energía y agua en la agricultura. Lima, Perú, Ediciones Universidad Nacional Agraria La Molina. 176 p.
- GUARDIOLA, J.; GARCÍA, A. 1990. Fisiología vegetal I: Nutrición y transporte. Madrid, España, Editorial Síntesis SA. 440 p.
- GUILLEN, L. 2014. Manejo y producción de hortalizas. Arequipa, Perú, Fondo editorial Universidad Católica de Santa María. 557 p.
- GUZMÁN, M. 2004. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. México DF, México, Grupo Noriega editores. 366 p.
- HAVLIN, J.; BEATÓN, J.; TISDALE, S.; NELSON, W. 1999. Soil fertility and fertilizers an Introduction to nutrient management. 6 ed., New Jersey, United States of America, Prentice Hall Inc. 494 p.
- HUAMÁN, E. 2016. Producción de doce cultivares de pimiento tipo guajillo (*Capsicum annuum* L.) bajo las condiciones del valle de Casma. Tesis Ing. Agro. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 142 p.
- JENSEN, T.; NORTON, R.; HARMANDREP, K. 2012. 4R de la nutrición de plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. International plant nutrition institute, Norcross, United States of America. 112 p.
- JUÁREZ, M.; SUAREZ, J. 1996. Fosforo en agricultura. Universidad de Alicante, Compobell, S.L., Murcia, España. 135 p.

- LAVADO, R. 2016. Sustentabilidad de los agrosistemas y uso de fertilizantes. 1ed. Asociación Argentina de la ciencia del suelo. Buenos Aires, Argentina, Orientacion gráfica. 252 p.
- LÁZARO, W. 2008. Producción y calidad de tres cultivares de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.) bajo diferentes niveles de potasio en el valle de Chancay. Tesis Mg.Sc., Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 111 p.
- LOZANO, F.; JURADO, B. 2018. Gestión de cultivos. Madrid, España. Editorial síntesis SA. 318 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; DE OLIVERA, S. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Associação brasileira para pesquisa de potássio e fósforo, Instituto del fósforo y potasio, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 201 p.
- MAROTO, J. 2002. Horticultura Herbácea Especial. 5ed. Madrid, España, Mundi Prensa SA. 702 p.
- MARSCHNER, P. 2012. Mineral nutrition of higher plants. San Diego, United States of America, Academic Press in of Elsevier. 651 p.
- MARTÍNEZ, G. 1995. Elementos de fisiología vegetal. Madrid, España, Mundi Prensa SA. 1147 p.
- MATARIN, A.; URRESTAZU, M.; GARCÍA, A. 2008. Producción controlada de hortalizas en la agricultura intensiva. 1ed. Almería, España, Editorial Universidad de Almería. 255 p.
- MAZLIAK, P. 1979. Fisiología vegetal: nutrición y metabolismo. Barcelona, España, Ediciones Omega SA. 349 p.
- MELGAR, R.; DÍAZ, M. 2008. Fertilización de cultivos y pasturas. 2ed. Buenos Aires, Argentina, Editorial Hemisferio Sur SA. 569 p.
- MENGEL, K.; KIRBY, E. 2001. Principles of plant nutrition. 5ed. Bázile, Suiza, Kluwer academic Publishers Science business. 849 p.
- METCALFE, D.; ELKINS, D. 1987. Producción de cosechas: fundamentos y prácticas. 1ed. México DF, México, Editorial Limusa SA. 991p.

- MILLER, C. 1979. Relationship between growth of bell peppers (*Capsicum. annuum* L.) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. *Journal American Society Horticulture Science* 104 (6): 53-59.
- NAVARRO, G.; NAVARRO, S. 2013. *Química agrícola*. 3ed. Madrid, España, Mundi Prensa SA. 492 p.
- NAVARRO, G.; NAVARRO, S. 2014. *Fertilizantes: Química y acción*. Madrid, España, Mundi Prensa SA. 229 p.
- NICHO, P.; VALENCIA, A. 2009. Manejo técnico del cultivo de ají paprika. Instituto Nacional de Innovación Agraria, Ministerio de Agricultura, Lima, Perú. 64 p. (serie: 1-69 manual).
- NOVAES, A. 1979. *Fisiología vegetal*. Sao Paulo, Brasil. Editora Pedagógica e universitaria Universidade de Sao Paulo, v. 1. 349 p.
- NUEZ, F.; GIL, R.; COSTA, J. 2003. *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. 1ed. Madrid, España, Mundi Prensa SA. 607 p.
- PEIL, R.; GÁLVEZ, J. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivados en invernadero, *Revista Agrociencia Sao Paulo* 11 (1): 5-1. Consultado 22 feb. 2019. Disponible en <http://www.researchgate.net/290129769>.
- PETOSEED. C. 1999. Folleto descriptivo del pimiento piquillo y corzo, Lima, Perú. 5 p.
- PHILLIPS, S.; MAJUMDAR, K. 2012. *Nutricion de las plantas: principios científicos*. International, plan nutrition institute, Norcross Georgia, United States of America. 118 p.
- PORTA, J.; LÓPEZ, M.; POCH, R. 2013. *Edafología: Uso y protección de suelos*. 3ed. Madrid, España, Mundi Prensa SA. 608 p.
- PORTER, J. 2006. *The physiology of crop yield*. 2ed. Minnesota, United States of America. Willey Blackwell. 358 p.
- QUEVEDO, F.; VILLAGARCIA, S. 1986. *Fertilidad de suelos*. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria, Agencia para el Desarrollo Internacional,

- Universidad Nacional Agraria La Molina, curso de actualización a nivel profesional, Lima, Perú. 114 p.
- RAMÍREZ, F. 2000. Cultivo de Capsicum. Curso de capacitación, Arequipa, Perú. 22 p.
- RINCÓN, L.; SÁENZ, J.; BALSALOBRE, E.; PELLICER, M. 1993. Nutrición del pimiento grueso de invernadero. Revista Hortofruticultura 5(1): 37-14. Consultado 18 feb. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=2007.pdf>.
- RODRÍGUEZ, H; RODRÍGUEZ, J. 2011. Métodos de análisis de suelos y plantas: Criterios de Interpretación. 1ed., México DF, México, Editorial Trillas SA. 239 p.
- ROMÁN, S. 2002. Libro Azul: Manual de fertirriego de sociedad química y mineral. 3ed. Santiago, Chile, SOQuimich Comercial SA. 231 p.
- ROMERO, M.; PUENTES, Y.; MENJIVAR, J. 2017. Extracción de nutrientes minerales en hojas y frutos de ají (*Capsicum sp.*) y su influencia en el rendimiento. Revista Colombiana de ciencias hortícolas 11(1): 114-121. Consultado 21 feb. 2019. Disponible en <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5809.pdf>.
- SALAZAR, F.; JUÁREZ, P. 2012. Requerimiento macronutricional en plantas de Chile (*Capsicum annuum* L.). Revista Biociencias Xalisco 2(2):27-34. Consultado 21 feb. 2019. Disponible en <http://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article.pdf>.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. Fisiología vegetal. 3ed. v.1. California, Estados Unidos. Universitat Jaume I Publicacions. 580 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. Fisiología vegetal. 3ed. v.2. California, Estados Unidos. Universitat Jaume I Publicacions. 748 p.
- TANAKA, A.; YAMAGUCHI, J. 1984. Producción de materia seca: Componentes del rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Colegio de Postgraduados. Institución Postgraduados, Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, Chapingo, México. 120 p.
- TESILLO, E. 2012. Evaluación de diez cultivares de pimiento paprika (*Capsicum annuum*) bajo las condiciones del valle de Casma. Tesis Ing. Agro. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 70 p.

- TIRADO, R. 2014. Absorción de macro y micronutrientes en ají escabeche (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) bajo condiciones del valle de Cañete. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 210 p.
- THOMPSON, L.; Troeh, F. 2015. Los suelos y su fertilidad. 4ed. Barcelona, España, Editorial Reverte SA. 649 p.
- THOMPSON, L.; Troeh, F. 2018. Los suelos y su fertilidad. 5ed. Barcelona, España, Editorial Reverte SA. 629 p.
- TORRES, E. 2011. Agrometeorología. México DF, México, Editorial Trillas SA. 154 p.
- URCIA, P. 2012. Extracción de micronutrientes en dos cultivares de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo las condiciones del valle de Casma. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 98 p.
- USON, A.; BOIXANDERA, J.; BOSCH, A.; ENRIQUE, A. 2010. Tecnología de suelos. 1ed. Zaragoza, España, Universitaria de Zaragoza. 513 p.
- VALENTÍN, M. 2011. Crecimiento y extracción de Macronutrientes del chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Tesis Mg.Cs. Consultado 12 de Feb. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v19n4/v19n4a6.pdf>.
- VALERIO, R. 2016. Efecto de la concentración de ácido giberélico en el crecimiento y rendimiento de tres cultivares de pimiento paprika (*Capsicum annuum* L.). Tesis Ing. Agro. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, 83 p.
- VIGLIOLA, M. 2007. Manual de horticultura. 6ed., Buenos Aires, Argentina. Editorial Hemisferio Sur SA. 235 p.
- VILLAGARCIA, S.; AGUIRRE, G. 2014. Manual de uso de fertilizantes para las condiciones del Perú. Fondo editorial Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 165 p.
- VILLALOBOS, F; FERERES, E. 2017. Fitotecnia: Principios de agronomía para una agricultura sustentable. Madrid, España, Ediciones Mundi Prensa SA. 603 p.
- ZAPATA, M.; BAÑON, S.; CABRERA, P. 1992. El pimiento para pimentón. Madrid, España, Ediciones Mundi Prensa SA, Agrogúa. 240 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Actividades realizadas durante el trabajo de investigación

Fecha	Días desde el inicio de actividades	Días después del trasplante (ddt)	Labores
14/08/2016	0		Limpieza de terreno de la parcela experimental
16/08/2016	2		Toma de muestra de suelo y agua de riego
20/08/2016	6		Incorporación de guano en el terreno
25/09/2016	36		Preparación de la parcela experimental
27/09/2016	38		Delimitación de la parcela experimental
29/09/2016	40	0	Siembra-Trasplante de pimiento paprika
01/10/2016	42	2	1er. Tratamiento fitosanitario
06/10/2016	47	7	1er. Cambio de surco después del trasplante
07/10/2016	48	8	1er. Riego
09/10/2016	53	10	1er. Abonamiento (NPK)
13/10/2016	54	14	2do Riego
15/10/2016	56	16	2do tratamiento fitosanitario
21/10/2016	62	22	3er. Riego
26/10/2016	67	27	Primer cultivo (tracción animal)
28/10/2016	69	29	4to. Riego
28/10/2016	69	29	3er tratamiento fitosanitario
01/11/2016	71	31	2do. Abonamiento (NPK)
04/11/2016	74	34	4to. Tratamiento fitosanitario
05/11/2016	75	35	5to. Riego
09/11/2016	79	39	Deshierbo manual
10/11/2016	80	40	6to. Riego
12/11/2016	82	42	Primer muestreo foliar (hojas y tallos)
13/11/2016	83	43	5to. Tratamiento fitosanitario
17/11/2016	87	47	7mo. Riego
19/11/2016	89	49	6to. Tratamiento fitosanitario
24/11/2016	94	54	8vo. Riego
25/11/2016	95	55	3er. Abonamiento (NK)
28/11/2016	98	58	9no. Riego
02/12/2016	102	62	10mo. Riego
03/12/2016	103	63	7mo. Tratamiento fitosanitario
06/12/2016	106	66	10mo. Riego

Continuación

07/12/2016			8vo. Tratamiento fitosanitario
10/12/2016	110	70	4to. Abonamiento (N)
14/12/2016	114	74	11vo. Riego
15/12/2016	115	75	9no. Tratamiento fitosanitario
17/12/2016	117	77	Segundo muestreo foliar(hojas, tallos y frutos)
18/12/2016	118	78	12vo. Riego
22/12/2016	122	82	13er. Riego
26/12/2016	126	86	14to. Riego
27/12/2016	127	87	10mo. Tratamiento fitosanitario
31/12/2016	131	91	15vo. Riego
04/01/2017	135	95	16to. Riego
05/01/2017	136	96	11vo Tratamiento fitosanitario
06/01/2017	137	97	Control mecánico de malezas
08/01/2017	139	99	17mo. Riego
10/01/2017	141	101	12vo. Tratamiento fitosanitario
11/01/2017	142	102	18vo Riego
14/01/2017	145	105	19no. Riego
16/01/2017	147	107	13er. Tratamiento fitosanitario
17/01/2017	148	108	20vo. Riego
21/01/2017	152	112	Tercer muestreo foliar (hojas, tallos y frutos)
22/01/2017	153	113	21er. Riego
25/01/2017	156	116	22do. Riego
26/01/2017	157	117	14to. Tratamiento fitosanitario
28/01/2017	159	119	23er. Riego
01/02/2017	163	123	24to. Riego
04/02/2017	166	126	25to. Riego
07/02/2017	169	129	26to. Riego
10/02/2017	172	132	27mo. Riego
25/02/2017	187	147	Cuarto muestreo foliar (hojas, tallos y frutos)
26/02/2017	188	148	Cosecha de frutos de parcela experimental

ANEXO 2. Análisis de varianza para rendimiento total de fruto fresco

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	7.54	2.51	23.49	0.85	N.S.
Tratamiento	3	668.69	222.89	0.26	0.0001	**
Error	9	85.39	9.49			
Total	15	761.62				

C.V.(%) = 16.71

Promedio general = 18.43

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media	Agrupación
T4(300-200-300)	25.00	a
T3(250-150-250)	21.27	a
T2(200-100-200)	19.73	a
T1(0-0-0)	7.74	b

Diferencia significativa mínima = 6.80

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 3. Análisis de varianza para rendimiento total de fruto seco

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	0.45	0.15	0.80	0.83	N.S.
Tratamiento	3	65.64	21.88	43.12	<0.0001	**
Error	9	4.57	4.57			
Total	15	70.66				

C.V. = 12.35 %

Promedio general = 5.77

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media	Agrupación
T4(300-200-300)	7.58	a
T3(250-150-250)	7.35	a
T2(200-100-200)	5.64	b
T1(0-0-0)	2.51	c

Diferencia significativa mínima = 1.57

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 4. Análisis de varianza para materia seca total

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	2972.68	990.89	125.54	<0.0001	**
Tratamiento	3	41.67	13.89	1.76	0.22	N.S.
Error	9	71.04	7.89			
Total	15	3085.39				

C.V. (%) = 9.54

Promedio general =29.45kg/ha

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5%

Tratamiento	Media (kg/ha)	Agrupación
T1(0-0-0)	32.00	a
T2(200-100-200)	29.66	a
T3(250-150-250)	28.21	a
T4(300-200-300)	27.91	a

Diferencia significativa mínima = 6.20

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 5. Acumulación periódica de materia seca total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	6.87	8.16	18.45	19.85
	T2 (200-100-200)	7.50	6.93	16.29	16.75
	T3 (250-150-250)	7.49	7.54	15.28	14.38
	T4(300-200-300)	7.50	8.40	15.12	14.36
	Media	7.34	7.76	16.38	16.33
Tallo	T1 (0-0-0)	4.99	7.58	17.97	17.87
	T2 (200-100-200)	5.00	8.36	16.47	17.80
	T3 (250-150-250)	5.01	8.39	15.31	16.46
	T4(300-200-300)	4.98	8.26	15.16	16.19
	Media	5.00	8.15	16.23	17.08
Fruto	T1 (0-0-0)		4.08	12.57	9.59
	T2 (200-100-200)		3.62	8.64	11.29
	T3 (250-150-250)		3.95	7.13	10.72
	T4(300-200-300)		4.30	7.43	11.15
	Media		3.99	8.94	10.69

ANEXO 6. Análisis de varianza para concentración de nitrógeno

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	14.62	4.87	244.32	0.00	**
Tratamiento	3	0.43	0.14	7.20	0.01	**
Error	9	0.18	0.02			
Total	15	15.23				

C.V. (%) = 5.08

Promedio general = 2.78

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (%)	Agrupación
T4(300-200-300)	2.96	a
T3(250-150-250)	2.84	a
T2(200-100-200)	2.82	ab
T1(0-0-0)	2.51	b

Diferencia significativa mínima = 0.31

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 7. Acumulación periódica de la concentración de nitrógeno total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	5.04	4.02	2.68	1.88
	T2 (200-100-200)	5.36	4.31	2.96	1.93
	T3 (250-150-250)	5.17	4.31	3.07	2.32
	T4(300-200-300)	5.50	4.96	2.96	2.19
	Media	5.27	4.42	2.92	2.08
Tallo	T1 (0-0-0)	2.98	1.41	1.24	1.04
	T2 (200-100-200)	3.19	1.68	1.38	1.11
	T3 (250-150-250)	3.26	1.58	1.50	1.16
	T4(300-200-300)	3.27	1.86	1.51	1.27
	Media	3.18	1.63	1.39	1.14
Fruto	T1 (0-0-0)		2.86	2.29	2.02
	T2 (200-100-200)		3.13	2.56	2.20
	T3 (250-150-250)		2.93	2.14	2.42
	T4(300-200-300)		3.18	1.97	2.39
	Media		3.02	2.24	2.26

ANEXO 8. Análisis de varianza para concentración de fósforo

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	0.26	0.09	12.20	0.00	**
Tratamiento	3	0.01	0.01	0.67	0.59	N.S.
Error	9	0.06	0.01			
Total	15	0.33				

C.V. (%) = 27.32

Promedio general = 0.31

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (%)	Agrupación
T3(250-150-250)	0.36	a
T4(300-200-300)	0.31	a
T1(0-0-0)	0.29	a
T2(200-100-200)	0.28	a

Diferencia significativa mínima = 0.19

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 9. Acumulación periódica de la concentración de fósforo total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	0.48	0.24	0.25	0.21
	T2 (200-100-200)	0.80	0.22	0.18	0.22
	T3 (250-150-250)	1.16	0.22	0.27	0.22
	T4(300-200-300)	0.72	0.22	0.24	0.20
	Media	0.79	0.23	0.22	0.21
Tallo	T1 (0-0-0)	0.37	0.15	0.16	0.14
	T2 (200-100-200)	0.32	0.15	0.14	0.14
	T3 (250-150-250)	0.34	0.06	0.14	0.15
	T4(300-200-300)	0.34	0.13	0.13	0.13
	Media	0.34	0.12	0.14	0.14
Fruto	T1 (0-0-0)		0.34	0.36	0.38
	T2 (200-100-200)		0.34	0.33	0.35
	T3 (250-150-250)		0.32	0.34	0.36
	T4(300-200-300)		0.36	0.36	0.34
	Media		0.34	0.35	0.36

ANEXO 10. Análisis de varianza para concentración de potasio

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	7.94	2.65	47.08	0.00	**
Tratamiento	3	0.61	0.2	3.62	0.06	NS
Error	9	0.51	0.06			
Total	15	9.06				

C.V. (%) = 7.02

Promedio general = 3.38

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (%)	Agrupación
T3(250-150-250)	3.58	a
T4(300-200-300)	3.51	a
T2(200-100-200)	3.35	a
T1(0-0-0)	3.07	a

Diferencia significativa mínima = 0.52

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p < 0.05$)

ANEXO 11. Acumulación periódica de la concentración de potasio total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	4.14	4.03	2.90	2.11
	T2 (200-100-200)	3.54	4.63	3.94	3.15
	T3 (250-150-250)	3.51	4.67	4.32	3.63
	T4(300-200-300)	3.15	4.33	4.09	3.50
	Media	3.58	4.41	3.81	3.10
Tallo	T1 (0-0-0)	4.46	3.65	2.07	1.87
	T2 (200-100-200)	4.99	3.53	3.10	2.02
	T3 (250-150-250)	5.79	3.65	2.87	2.68
	T4(300-200-300)	4.58	5.19	3.43	2.55
	Media	4.95	4.00	2.86	2.28
Fruto	T1 (0-0-0)		2.68	2.42	2.05
	T2 (200-100-200)		2.92	2.22	1.90
	T3 (250-150-250)		2.89	2.38	1.97
	T4(300-200-300)		2.81	2.44	1.99
	Media		2.83	2.36	1.98

ANEXO 12. Análisis de varianza para concentración de calcio

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	P	Signif.
Bloque	3	2.57	0.86	67.51	0.00	**
Tratamiento	3	0.03	0.01	0.67	0.59	N.S
Error	9	0.11	0.01			
Total	15	2.71				

C.V. (%) = 5.76

Promedio general = 1.96

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (%)	Agrupación
T1(0-0-0)	2	a
T2(200-100-200)	1.99	a
T4(300-200-300)	1.93	a
T3(250-150-250)	1.9	a

Diferencia significativa mínima = 0.25

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 13. Acumulación periódica de la concentración de calcio total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	2.31	3.56	5.08	5.45
	T2 (200-100-200)	1.98	3.79	4.96	5.37
	T3 (250-150-250)	1.93	3.68	4.32	5.10
	T4(300-200-300)	1.89	3.31	5.53	5.07
	Media	2.02	3.58	4.97	5.25
Tallo	T1 (0-0-0)	0.97	0.95	1.25	1.92
	T2 (200-100-200)	1.08	0.80	1.82	1.80
	T3 (250-150-250)	1.03	1.00	1.47	1.96
	T4(300-200-300)	0.95	1.06	1.44	1.73
	Media	1.01	0.95	1.49	1.95
Fruto	T1 (0-0-0)		0.28	0.25	0.32
	T2 (200-100-200)		0.30	0.22	0.24
	T3 (250-150-250)		0.27	0.28	0.33
	T4(300-200-300)		0.31	0.22	0.23
	Media		0.29	0.24	0.28

ANEXO 14. Análisis de varianza para concentración de magnesio

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	0.16	0.05	34.34	0.00	**
Tratamiento	3	0.00	0.00	0.56	0.65	N.S.
Error	9	0.01	0.00			
Total	15	0.17				

C.V. (%) = 6.48

Promedio general = 0.61

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (%)	Agrupación
T2(200-100-200)	0.63	a
T1(0-0-0)	0.61	a
T4(300-200-300)	0.60	a
T3(250-150-250)	0.59	a

Diferencia significativa mínima = 0.09

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 15. Acumulación periódica de la concentración de magnesio total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	0.88	0.89	0.74	0.90
	T2 (200-100-200)	0.74	1.05	0.90	0.98
	T3 (250-150-250)	0.76	1.08	0.83	0.91
	T4(300-200-300)	0.78	0.96	0.87	0.84
	Media	0.78	0.99	0.83	0.91
Tallo	T1 (0-0-0)	0.67	0.40	0.47	0.84
	T2 (200-100-200)	0.79	0.48	0.57	0.69
	T3 (250-150-250)	0.76	0.49	0.44	0.67
	T4(300-200-300)	0.74	0.47	0.51	0.66
	Media	0.74	0.46	0.50	0.71
Fruto	T1 (0-0-0)		0.26	0.17	0.20
	T2 (200-100-200)		0.23	0.15	0.20
	T3 (250-150-250)		0.25	0.18	0.20
	T4(300-200-300)		0.24	0.17	0.19
	Media		0.25	0.16	0.20

ANEXO 16. Análisis de varianza para concentración de azufre

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	0.60	0.20	42.02	0.00	**
Tratamiento	3	0.02	0.00	1.65	0.25	N.S.
Error	9	0.04	0.01			
Total	15	0.66				

C.V. (%) = 12.64

Promedio general = 0.55

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (%)	Agrupación
T1(0-0-0)	0.61	a
T3(250-150-250)	0.54	a
T2(200-100-200)	0.52	a
T4(300-200-300)	0.51	a

Diferencia significativa mínima = 0.15

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p < 0.05$)

ANEXO 17. Acumulación periódica de la concentración de azufre total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	0.31	0.54	1.32	1.49
	T2 (200-100-200)	0.30	0.59	0.97	1.16
	T3 (250-150-250)	0.27	0.72	1.24	1.15
	T4(300-200-300)	0.27	0.68	0.93	1.15
	Media	0.29	0.63	1.11	1.24
Tallo	T1 (0-0-0)	0.27	0.41	0.76	0.89
	T2 (200-100-200)	0.31	0.37	0.56	0.68
	T3 (250-150-250)	0.28	0.38	0.41	0.74
	T4(300-200-300)	0.31	0.36	0.44	0.74
	Media	0.29	0.38	0.54	0.76
Fruto	T1 (0-0-0)		0.29	0.32	0.43
	T2 (200-100-200)		0.37	0.26	0.34
	T3 (250-150-250)		0.31	0.32	0.40
	T4(300-200-300)		0.32	0.26	0.41
	Media		0.32	0.29	0.39

ANEXO 18. Análisis de varianza para extracción de nitrógeno

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	20516.94	6838.98	25.36	0.00	**
Tratamiento	3	2532.94	844.31	3.13	0.08	N.S.
Error	9	2427.95	269.67			
Total	15	25477.83				

C.V. (%) = 28.71

Promedio general = 57.20

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (kg/ha)	Agrupación
T4(300-200-300)	70.70	a
T3(250-150-250)	63.37	a
T2(200-100-200)	57.85	a
T1(0-0-0)	36.89	a

Diferencia significativa mínima = 36.25

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 19. Acumulación periódica de la extracción de nitrógeno total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	3.00	17.87	15.08	11.88
	T2 (200-100-200)	3.24	24.67	28.64	11.15
	T3 (250-150-250)	3.38	24.36	30.47	29.53
	T4(300-200-300)	3.44	30.55	29.71	30.66
	Media	3.26	24.36	25.98	20.81
Tallo	T1 (0-0-0)	1.23	5.02	7.57	10.92
	T2 (200-100-200)	1.14	10.52	12.84	14.53
	T3 (250-150-250)	1.18	7.88	15.33	19.05
	T4(300-200-300)	1.25	10.51	14.35	23.61
	Media	1.20	8.48	12.52	17.03
Fruto	T1 (0-0-0)		20.32	43.45	8.20
	T2 (200-100-200)		30.23	83.46	10.98
	T3 (250-150-250)		25.74	75.12	21.45
	T4(300-200-300)		46.06	64.41	28.23
	Media		30.59	66.61	17.21

ANEXO 20. Análisis de varianza para extracción de fósforo

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	350.92	116.97	50.93	0.00	**
Tratamiento	3	27.34	9.11	3.97	0.05	*
Error	9	20.67	2.30			
Total	15	398.93				

C.V. (%) = 23.26

Promedio general = 6.52

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (kg/ha)	Agrupación
T4(300-200-300)	7.86	a
T3(250-150-250)	7.42	ab
T2(200-100-200)	6.30	ab
T1(0-0-0)	4.48	b

Diferencia significativa mínima = 3.35

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 21. Acumulación periódica de la extracción de fósforo total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	0.29	0.85	1.37	1.32
	T2 (200-100-200)	0.46	1.21	1.73	1.27
	T3 (250-150-250)	0.78	1.78	2.19	2.77
	T4(300-200-300)	0.45	1.38	2.41	2.81
	Media	0.49	1.30	1.92	2.04
Tallo	T1 (0-0-0)	0.15	0.60	0.92	1.44
	T2 (200-100-200)	0.11	0.93	1.31	1.92
	T3 (250-150-250)	0.12	0.32	1.21	2.08
	T4(300-200-300)	0.13	0.76	1.21	2.30
	Media	0.13	0.65	1.16	1.93
Fruto	T1 (0-0-0)		2.48	6.98	1.51
	T2 (200-100-200)		3.70	10.80	1.76
	T3 (250-150-250)		2.76	12.44	3.24
	T4(300-200-300)		3.87	12.11	4.02
	Media		3.20	10.58	2.63

ANEXO 22. Análisis de varianza para extracción de potasio

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	33176.96	11058.99	24.60	0.00	**
Tratamiento	3	5774.16	1924.72	4.28	0.04	*
Error	9	4045.80	449.53			
Total	15	42996.92				

C.V. (%) = 29.09

Promedio general = 72.89

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (kg/ha)	Agrupación
T4(300-200-300)	94.12	a
T3(250-150-250)	84.04	ab
T2(200-100-200)	69.84	ab
T1(0-0-0)	43.58	b

Diferencia significativa mínima = 46.80

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p <= 0.05$)

ANEXO 23. Acumulación periódica de la extracción de potasio total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	2.45	19.03	16.32	12.82
	T2 (200-100-200)	2.14	26.97	37.58	18.04
	T3 (250-150-250)	2.28	26.30	42.70	45.55
	T4(300-200-300)	1.97	28.70	41.33	48.14
	Media	2.21	25.55	34.42	31.14
Tallo	T1 (0-0-0)	1.83	13.38	12.99	19.93
	T2 (200-100-200)	1.77	22.78	29.93	26.90
	T3 (250-150-250)	2.10	17.28	29.89	41.51
	T4(300-200-300)	1.72	30.33	31.31	46.83
	Media	1.85	20.84	25.64	33.79
Fruto	T1 (0-0-0)		20.73	46.78	8.15
	T2 (200-100-200)		31.75	73.10	9.52
	T3 (250-150-250)		25.43	86.39	17.97
	T4(300-200-300)		40.83	81.35	23.46
	Media		29.68	72.00	14.77

ANEXO 24. Análisis de varianza para extracción de calcio

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	15842.50	5280.83	27.57	0.00	**
Tratamiento	3	1328.05	442.68	2.31	0.14	N.S.
Error	9	1723.80	191.53			
Total	15	18894.35				

C.V. (%) = 31.18

Promedio general = 44.38

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (kg/ha)	Agrupación
T4(300-200-300)	54.31	a
T3(250-150-250)	49.27	a
T2(200-100-200)	44.04	a
T1(0-0-0)	29.91	a

Diferencia significativa mínima = 30.55

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p <= 0.05$)

ANEXO 25. Acumulación periódica de la extracción de calcio total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	1.40	15.92	28.14	33.69
	T2 (200-100-200)	1.19	22.79	42.20	38.66
	T3 (250-150-250)	1.26	20.28	47.73	66.34
	T4(300-200-300)	1.18	21.73	54.99	71.30
	Media	1.26	20.18	43.29	52.50
Tallo	T1 (0-0-0)	0.40	3.82	7.71	20.24
	T2 (200-100-200)	0.38	5.08	17.51	23.95
	T3 (250-150-250)	0.37	4.99	14.73	31.53
	T4(300-200-300)	0.36	5.95	13.90	33.67
	Media	0.38	4.96	13.46	27.35
Fruto	T1 (0-0-0)		2.10	4.62	1.30
	T2 (200-100-200)		2.96	7.47	1.18
	T3 (250-150-250)		2.37	10.42	2.83
	T4(300-200-300)		4.49	7.43	2.74
	Media		2.97	7.48	2.01

ANEXO 26. Análisis de varianza para extracción de magnesio

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	883.30	294.44	34.71	0.00	**
Tratamiento	3	88.33	29.44	3.71	0.06	N.S.
Error	9	76.35	8.48			
Total	15	1047.98				

C.V. (%) = 24.05

Promedio general = 12.11

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (kg/ha)	Agrupación
T4(300-200-300)	14.55	a
T3(250-150-250)	13.67	a
T2(200-100-200)	11.83	a
T1(0-0-0)	8.42	a

Diferencia significativa mínima = 6.43

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 27. Acumulación periódica de la extracción de magnesio total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	0.51	4.00	4.09	5.58
	T2 (200-100-200)	0.44	6.22	8.63	5.76
	T3 (250-150-250)	0.58	5.97	8.26	11.87
	T4(300-200-300)	0.49	6.17	8.65	11.85
	Media	0.50	5.59	7.41	8.77
Tallo	T1 (0-0-0)	0.28	1.55	2.92	8.82
	T2 (200-100-200)	0.28	2.98	5.34	9.21
	T3 (250-150-250)	0.28	2.41	4.46	10.47
	T4(300-200-300)	0.28	2.05	4.92	11.92
	Media	0.28	2.40	4.41	10.11
Fruto	T1 (0-0-0)		1.92	3.18	0.80
	T2 (200-100-200)		2.48	4.95	1.01
	T3 (250-150-250)		2.15	6.37	1.84
	T4(300-200-300)		3.48	5.55	2.22
	Media		2.51	5.01	1.47

ANEXO 28. Análisis de varianza para extracción de azufre

Fuente de variación	G.L.	SC	CM	F	Pr>F	Signif.
Bloque	3	1747.51	582.50	36.72	0.00	**
Tratamiento	3	97.23	32.41	2.04	0.18	N.S.
Error	9	142.78	15.86			
Total	15	1987.52				

C.V. (%) = 27.55

Promedio general = 14.46

* Significación de F al 0.05; ** Significación de F al 0.01; N.S. No significativo

Prueba de comparación de medias de Tukey 5 %

Tratamiento	Media (kg/ha)	Agrupación
T4(300-200-300)	17.05	a
T3(250-150-250)	16.73	a
T2(200-100-200)	12.71	a
T1(0-0-0)	11.37	a

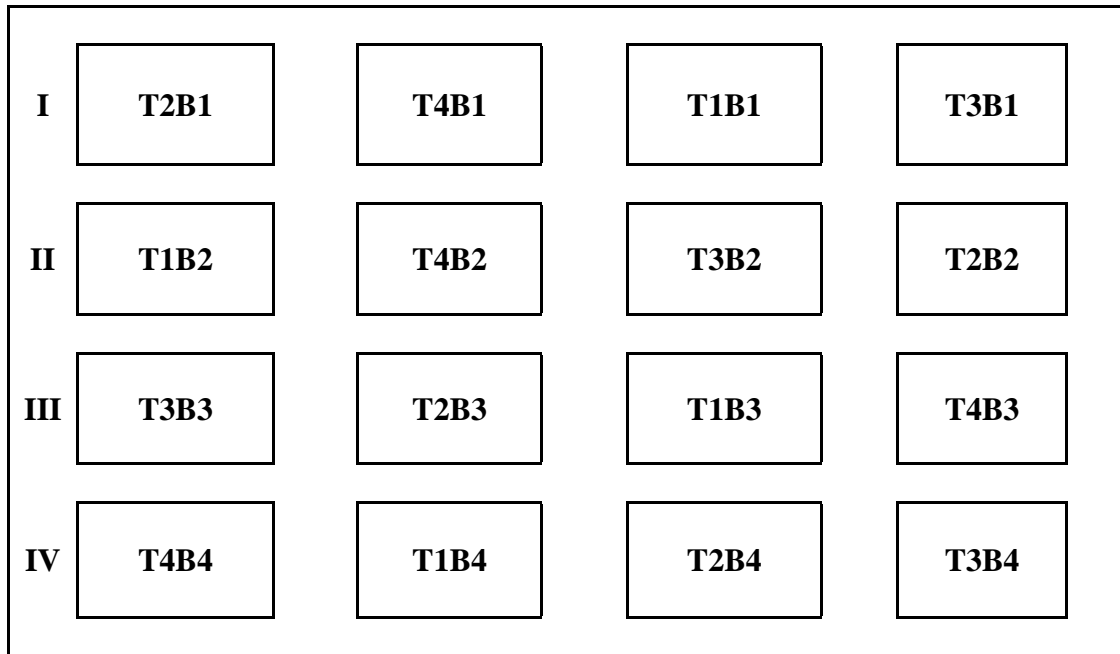
Diferencia significativa mínima = 8.79

Las medias con una letra común no son significativamente diferente ($p \leq 0.05$)

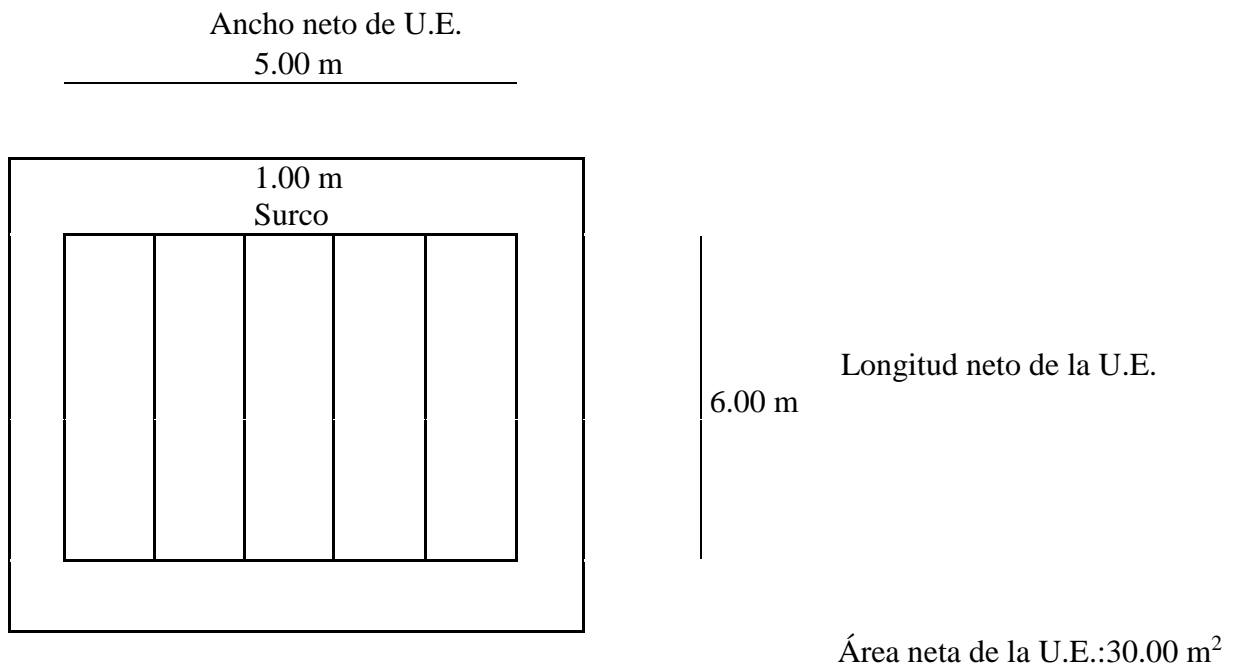
ANEXO 29. Acumulación periódica de la extracción de azufre total

Órgano	Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Días después del trasplante			
		42	77	112	147
Hoja	T1 (0-0-0)	0.18	2.28	7.64	9.28
	T2 (200-100-200)	0.18	3.49	9.33	7.21
	T3 (250-150-250)	0.18	4.23	12.44	14.79
	T4(300-200-300)	0.17	4.30	9.29	16.22
	Media	0.18	3.57	9.67	11.87
Tallo	T1 (0-0-0)	0.11	1.54	4.75	9.65
	T2 (200-100-200)	0.11	2.28	5.23	9.35
	T3 (250-150-250)	0.10	1.95	4.08	11.72
	T4(300-200-300)	0.12	2.01	4.27	13.59
	Media	0.11	1.94	4.58	11.08
Fruto	T1 (0-0-0)		2.27	6.10	1.67
	T2 (200-100-200)		3.65	8.39	1.62
	T3 (250-150-250)		2.69	11.53	3.63
	T4(300-200-300)		4.50	8.78	4.82
	Media		3.28	8.70	2.93

ANEXO 30. Distribucion de los tratamientos y bloques de la parcela experimental



Croquis de la unidad experimental



ANEXO 31. Periodos de muestreo foliar del pimiento paprika

Parcela experimental

1. Primer periodo de muestreo 42 ddt



2. Segundo periodo de muestreo 77 ddt



3. Tercer periodo de muestreo 112 ddt



4. Cuarto periodo de muestreo 147 ddt



ANEXO 32. Cosecha de frutos en la parcela experimental

Rendimiento de la parcela experimental por tratamiento



ANEXO 33. Proceso de obtención de la materia seca del pimiento paprika



ANEXO 34. Trabajo de laboratorio

Laboratorio de fertilidad de suelos y fertilizantes (UNALM)

1. Preparación de la muestra



2. Proceso de obtención del nitrógeno total



3. Filtrado de las muestras del extracto

de pimiento paprika

4. Extractos para la obtención de la

concentración de P, K, Ca, Mg, S

