

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN PLANTAS DE
ESPÁRRAGO (*Asparagus officinalis* L.) DE UN AÑO DE EDAD, BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

SOLEDAD MEDRANO DAMIAN

LIMA-PERÚ

2022

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presenta investigación
(Art. 24 - Reglamento de propiedad intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN PLANTAS DE
ESPÁRRAGO (*Asparagus officinalis* L.) DE UN AÑO DE EDAD, BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO”**

SOLEDAD MEDRANO DAMIAN

Tesis para optar el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Dr. Juan Waldir Mendoza Cortez
Presidente

.....
Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa
Asesor

.....
Dr. Alfredo Salomón Rodríguez Delfín
Co-Asesor

.....
Ing. M. S. Andrés Virgilio Casas Díaz
Co-Asesor

.....
Dr. Sady García Bendezú
Miembro

.....
Ing. Mg. Sc. Pedro Pablo Gutiérrez
Vilchez
Miembro

LIMA-PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mis padres, Tomás Medrano Sirena y Eugenia Damían Ramos, así como a mis hermanos, quienes me enseñaron que con el trabajo, esmero y perseverancia se puede lograr los objetivos trazados.

También a mis asesores, Dr. Oscar Loli Figueroa, Ing. Mg.Sc. Andrés Casas Díaz, Dr. Alfredo Rodríguez Delfín, por el apoyo, paciencia y colaboración para poder realizar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Aspectos agronómicos	3
2.1.1. Requerimientos edafoclimáticos	3
2.1.2. Cultivar UC 115 F1 DePaoli	4
2.1.3. Fenología	5
2.1.4. Siembra.....	6
2.1.5. Rendimientos	7
2.2. Nutrición mineral.....	7
2.2.1. Nitrógeno	7
2.2.2. Fósforo.....	9
2.2.3. Potasio	11
2.2.4. Calcio.....	13
2.2.5. Magnesio	14
2.2.6. Azufre	15
2.2.7. Microelementos	16
2.3. Interacción y absorción de nutrientes	16
2.4. Extracción de nutrientes	17
2.5. Determinación del color	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Ubicación de la investigación.....	21
3.2. Materiales empleados	21
3.2.1. Materiales biológicos.....	21
3.2.2. Sustrato	21
3.2.3. Agua de riego	22
3.2.4. Solución nutritiva	23
3.2.5. Equipos e insumos de campo y laboratorio	23
3.3. Tratamientos evaluados	24
3.4. Diseño estadístico.....	24
3.5. Métodos y procedimientos	25
3.5.1. Fase de maceta.....	25
3.5.2. Metodología de evaluación.....	27

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	29
4.1. Efecto del elemento faltante en las características cuantitativas del cultivo de espárrago.....	29
4.1.1. Altura de planta (cm).....	29
4.1.2. Porcentaje de materia seca del follaje y la corona (%).....	34
4.1.3. Número total de tallos.....	43
4.2. Concentración de nutrientes en el follaje y la corona de espárrago empleando la metodología del elemento faltante.....	48
4.2.1. Nitrógeno.....	48
4.2.2. Fósforo.....	58
4.2.3. Potasio.....	66
4.2.4. Calcio.....	75
4.2.5. Magnesio.....	85
4.3. Efecto del elemento faltante en las características cualitativas del cultivo de espárrago.....	94
4.3.1. Color del follaje y otras características visuales.....	94
V. CONCLUSIONES	107
VI. RECOMENDACIONES.....	109
VII. BIBLIOGRAFÍA	110
VIII. ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de los factores ambientales para el cultivo de espárrago.....	4
Tabla 2: Concentración promedio de macronutrientes en el follaje del cultivo de espárrago.....	18
Tabla 3: Resultados del análisis del agua de riego	22
Tabla 4: Concentraciones de macro y micronutrientes de la solución nutritiva.....	23
Tabla 5: Concentración de macro y micronutrientes a dosis de 50%, 100% y 150%	23
Tabla 6: Fertilizantes empleados en la solución nutritiva	24
Tabla 7: Factores evaluados en el experimento.....	24
Tabla 8: Efecto del lavado de la arena en los valores de CE y del pH	26
Tabla 9: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la altura de planta (cm)	30
Tabla 10: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la altura de planta (cm)	31
Tabla 11: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la altura de planta (cm)	32
Tabla 12: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la altura de planta (cm)	33
Tabla 13: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para el porcentaje de materia seca foliar (%)	35
Tabla 14: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para el porcentaje de materia seca foliar (%).....	36
Tabla 15: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para el porcentaje de materia seca foliar (%)	37
Tabla 16: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza para la interacción de factores para el porcentaje de materia seca foliar (%)	38

Tabla 17: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para el porcentaje de materia seca de la corona (%)	39
Tabla 18: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para el porcentaje de materia seca de la corona.....	41
Tabla 19: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para el porcentaje de materia seca de la corona	42
Tabla 20: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para el porcentaje de materia seca de la corona (%)	43
Tabla 21: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para el número de tallos.....	44
Tabla 22: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para el número de tallos.....	45
Tabla 23: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para el número de tallos.....	46
Tabla 24: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para el número de tallos.....	47
Tabla 25: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de N en el follaje (%)....	49
Tabla 26: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de N en la corona (%)....	50
Tabla 27: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de N en el follaje.....	52
Tabla 28: Prueba de comparación de medias de Tukey del factor deficiencia nutricional para la concentración N en la corona.....	53
Tabla 29: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de N en el follaje	54
Tabla 30: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de N en la corona.....	55

Tabla 31: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de N en el follaje (%)	56
Tabla 32: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de N en la corona (%).....	57
Tabla 33: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de P en el follaje (%).....	58
Tabla 34: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de P en la corona (%)	59
Tabla 35: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de P en el follaje	61
Tabla 36: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de P en la corona.....	62
Tabla 37: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de P en el follaje	63
Tabla 38: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de P en la corona	64
Tabla 39: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de P en el follaje (%).....	65
Tabla 40: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de P en la corona (%)	66
Tabla 41: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de K en el follaje (%).....	67
Tabla 42: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de K en la corona (%)....	68
Tabla 43: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de K en el follaje.....	70
Tabla 44: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de K en la corona.....	71

Tabla 45: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de K en el follaje	72
Tabla 46: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de K en la corona.....	73
Tabla 47: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza en la interacción de factores para la concentración de K en el follaje (%)	74
Tabla 48: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de K en la corona (%).....	75
Tabla 49: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de Ca en el follaje (%)...76	
Tabla 50: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de Ca en la corona (%) ..78	
Tabla 51: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de Ca en el follaje	79
Tabla 52: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de Ca en la corona	80
Tabla 53: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de Ca en el follaje.....	81
Tabla 54: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de Ca en la corona	82
Tabla 55: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de Ca en el follaje (%).....	83
Tabla 56: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de Ca en la corona (%)	84
Tabla 57: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de Mg en el follaje (%)..86	
Tabla 58: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de Mg en la corona (%) .87	

Tabla 59: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de Mg en el follaje.....	88
Tabla 60: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de Mg en la corona	89
Tabla 61: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de Mg en el follaje.....	90
Tabla 62: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de Mg en la corona	91
Tabla 63: Prueba de comparación de medias de Tukey en la interacción de factores para la concentración de Mg en el follaje (%).....	93
Tabla 64: Prueba de comparación de medias de Tukey en la interacción de factores para la concentración de Mg en la corona (%)	94
Tabla 65: Coloración del follaje del tratamiento sin deficiencia a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios	95
Tabla 66: Coloración del follaje del tratamiento sin N a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios.....	97
Tabla 67: Coloración del follaje del tratamiento sin P a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios.....	99
Tabla 68: Coloración del follaje del tratamiento sin K a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios.....	101
Tabla 69: Coloración del follaje del tratamiento sin Ca a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios.....	103
Tabla 70: Coloración del follaje del tratamiento sin Mg a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fenología del espárrago (<i>Asparagus officinalis</i> L.).....	6
Figura 2: Síntomas por deficiencia de fósforo	11
Figura 3: Síntomas por deficiencia de potasio	12
Figura 4: Síntomas por deficiencia de calcio	14
Figura 5: Síntomas por deficiencia de magnesio.....	15
Figura 6: Tablas Munsell de color.....	20
Figura 7: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la altura de planta (cm)	30
Figura 8: Efecto de la deficiencia nutricional en la altura de planta	32
Figura 9: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la altura de planta.....	33
Figura 10: Efecto de la interacción de factores en la altura de planta.....	34
Figura 11: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para el porcentaje de materia seca foliar.....	35
Figura 12: Efecto de la deficiencia nutricional en el porcentaje de materia seca foliar	36
Figura 13: Efecto de la dosis de solución nutritiva en el porcentaje de materia seca foliar	37
Figura 14: Efecto de la interacción de factores en el porcentaje de materia seca foliar.....	38
Figura 15: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para el porcentaje de materia seca de la corona.....	40
Figura 16: Efecto de la deficiencia nutricional en el porcentaje de materia seca de la corona	41
Figura 17: Efecto de la concentración para el porcentaje de materia seca de la corona	42
Figura 18: Efecto de la interacción de factores en el porcentaje de materia seca de la corona	43
Figura 19: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para el número de tallos.....	44

Figura 20: Efecto de la deficiencia nutricional en el número de tallos	45
Figura 21: Efecto de la dosis de solución nutritiva en el número de tallos	46
Figura 22: Efecto de la interacción de factores en el número de tallos	48
Figura 23: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de N en el follaje	49
Figura 24: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de N en la corona	51
Figura 25: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de N en el follaje	52
Figura 26: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de N en la corona	53
Figura 27: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de N en el follaje.	54
Figura 28: Efecto de la dosis de solución nutritiva para la concentración de N en la corona	55
Figura 29: Efecto de las interacciones factores en la concentración de N en el follaje.....	56
Figura 30: Efecto de las interacciones factores en la concentración de N en la corona	57
Figura 31: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de P en el follaje	59
Figura 32: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de P en la corona	60
Figura 33: Efecto del factor deficiencia nutricional en la concentración de P en el follaje	61
Figura 34: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de P en la corona	62
Figura 35: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de P en el follaje	63
Figura 36: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de P en la corona	64
Figura 37: Efecto de la interacción de factores en la concentración de P en el follaje	65
Figura 38: Efecto de la interacción de factores en la concentración de P en la corona.....	66

Figura 39: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de K en el follaje	68
Figura 40: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de K en la corona	69
Figura 41: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de K en el follaje	70
Figura 42: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de K en la corona	71
Figura 43: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de K en el follaje.	72
Figura 44: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de K en la corona	73
Figura 45: Efecto de la interacción de factores en la concentración de K en el follaje.....	74
Figura 46: Efecto de la interacción de factores en la concentración de K en la corona	75
Figura 47: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de Ca en el follaje	77
Figura 48: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de Ca en la corona	78
Figura 49: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de Ca en el follaje	79
Figura 50: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de Ca en la corona.....	80
Figura 51: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de Ca en el follaje	81
Figura 52: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de Ca en la corona	82
Figura 53: Efecto de la interacción de factores en la concentración de Ca en el follaje	83
Figura 54: Efecto de la interacción de factores en la concentración de Ca en la corona	84
Figura 55: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de Mg en el follaje	86

Figura 56: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de Mg en la corona	87
Figura 57: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de Mg en el follaje	89
Figura 58: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de Mg en la corona....	90
Figura 59: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de Mg en el follaje	91
Figura 60: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de Mg en la corona	92
Figura 61: Efecto de la interacción de factores en la concentración de Mg en el follaje	93
Figura 62: Efecto de la interacción de factores en la concentración de Mg en la corona ...	94
Figura 63: Sintomatología visual del follaje en el tratamiento sin deficiencia	96
Figura 64: Sintomatología visual de follaje en el tratamiento sin N	98
Figura 65: Sintomatología visual de follaje en el tratamiento sin P	100
Figura 66: Sintomatología visual del follaje en el tratamiento sin K	102
Figura 67: Sintomatología visual del follaje en el tratamiento sin Ca.....	104
Figura 68: Sintomatología visual de follaje en el tratamiento sin Mg	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de arena realizado por el Laboratorio de Fertilidad de Suelos	117
Anexo 2: Análisis de agua realizado por el Laboratorio de Fertilidad de Suelos	118
Anexo 3: Cronograma del experimento	119
Anexo 4: Contenido de nutrientes del tratamiento sin deficiencia a las tres dosis evaluadas	120
Anexo 5: Contenido de nutrientes del tratamiento sin N a las tres dosis evaluadas.....	121
Anexo 6: Contenido de nutrientes del tratamiento sin P a las tres dosis evaluadas	122
Anexo 7: Contenido de nutrientes del tratamiento sin K a las tres dosis evaluadas.....	123
Anexo 8: Contenido de nutrientes del tratamiento sin Ca a las tres dosis evaluadas	124
Anexo 9: Contenido de nutrientes del tratamiento sin Mg a las tres dosis evaluadas.....	125
Anexo 10: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la altura de planta	126
Anexo 11: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para el porcentaje de Materia seca foliar	128
Anexo 12: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para el porcentaje de materia seca de la corona.....	130
Anexo 13: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para el número total de tallos.....	132
Anexo 14: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de nitrógeno foliar	134
Anexo 15: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de nitrógeno en la corona.....	136
Anexo 16: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de fósforo foliar	138
Anexo 17: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de fósforo en la corona	140
Anexo 18: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de potasio foliar	142

Anexo 19: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de potasio en la corona	144
Anexo 20: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de calcio foliar	146
Anexo 21: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de calcio en la corona	148
Anexo 22: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de magnesio foliar	150
Anexo 23: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de magnesio en la corona.....	152

RESUMEN

El espárrago es uno de los principales productos peruanos de exportación. Para una correcta fertilización es importante conocer la manifestación de la planta frente a la ausencia de determinado nutriente. Se realizó un ensayo bajo condiciones controladas en las instalaciones del Laboratorio e Invernadero de Fertilidad de Suelos (LIFS) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Este consistió en un DCA con arreglo factorial y un testigo, cada uno con tres repeticiones. Los factores estudiados fueron la deficiencia nutricional (Sin deficiencia y deficiencias de N, P, K, Ca y Mg); y la dosis de solución nutritiva (50%, 100% y 150%). Se evaluaron la altura de planta, porcentaje de materia seca foliar y de corona, número de tallos y coloración, y las concentraciones de los elementos en hojas y corona. Una adecuada fertilización siempre mostró una buena respuesta de todos los parámetros. La coloración del follaje fue un indicador de deficiencia en todos los elementos, principalmente en forma de amarillamiento. La deficiencia por P fue la que más afectó al espárrago en altura de planta, porcentaje de materia seca en raíz y menor número de tallos, y provocando la caída de los filocladios por una necrosis descendente. La deficiencia por Ca afectó a los tejidos más jóvenes y zonas meristemáticas, causando deformaciones y necrosis de brotes. La deficiencia por Mg provocó la necrosis de los filocladios y su posterior caída, dejando el tallo desnudo. El incremento de la dosis de solución nutritiva tuvo un impacto positivo en el número de tallos, concentración de Mg radicular; y negativo en la altura de planta y concentración de N y P en raíces, así como en la concentración de Ca bajo deficiencia de N y P. Se apreció una sinergia entre el K y Ca en el follaje.

Palabras clave: espárrago, elemento faltante, deficiencia nutricional, sinergia, clorosis, necrosis

ABSTRACT

Asparagus is one of the main peruvian export products. For a correct fertilization it is important to know the manifestation of the plant in the absence of a certain nutrient. A trial was carried out under controlled conditions in the facilities of the Soil Fertility Laboratory and Greenhouse (LIFS) of the Faculty of Agronomy of the La Molina National Agrarian University. This consisted of a CRD with factorial arrangement and a control, each with three repetitions. The factors studied were nutritional deficiency (Without deficiency and deficiencies of N, P, K, Ca and Mg); and the dose of nutrient solution (50%, 100% and 150%). Plant height, percentage of leaf and crown dry matter, number of stems and coloration, and concentrations of the elements in leaves and crown were evaluated. An adequate fertilization always showed a good response of all the parameters. Foliage coloration was an indicator of deficiency in all elements, mainly in the form of yellowing. Phosphorus deficiency was the one that most affected asparagus in plant height, percentage of dry matter in the root and fewer stems, and causing the fall of the phylloclades due to descending necrosis. Calcium deficiency affected the youngest tissues and meristematic areas, causing deformation and necrosis of shoots. Magnesium deficiency caused necrosis of the phylloclades and their subsequent fall, leaving the stem bare. The increase in the dose of nutrient solution had a positive impact on the number of stems, root magnesium concentration; and negative in plant height and nitrogen and phosphorus concentration in roots, as well as in calcium concentration under nitrogen and phosphorus deficiency. A synergy between potassium and calcium in foliage was observed.

Key words: asparragus, missing element, nutritional deficiency, synergy, chlorosis, necrosis.

I. INTRODUCCIÓN

El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) es considerado como producto bandera de la agroexportación peruana en fresco, conserva y congelado (León 2019). Los mayores importadores de esta hortaliza en el mundo son, los Estados Unidos de América con un 61 %, equivalente a 265,836 toneladas, Canadá con 6 %, y Alemania, con 5 %. Para el mercado con mayor demanda los principales proveedores son México y Perú, con envíos de 170 234 toneladas por US\$ 385 millones y 93,676 toneladas por US\$ 327 millones respectivamente en 2020, donde el peruano fue el mejor cotizado, con US\$ 3.50/kg. En nuestro país la superficie sembrada a nivel global de espárragos pasó de 207,280 hectáreas (ha) en 2013 a 265,000 ha en 2018 (con un incremento de 22 %) (Corvera, 2021).

La gran parte de la producción de las naciones como China (93,000 ha), Alemania (28,000 ha) y otros, son comercializadas en sus mercados internos. Sin embargo, México (29,000 ha) y Perú (22,000 ha) presentan una producción orientada a la exportación. En la actualidad, el país azteca ha desplazado al Perú del puesto número uno como exportador de espárrago a nivel mundial, (versión de Ricardo Trentini, citado por Redagrícola 2019).

Como toda planta, el esparrago requiere de condiciones para obtener una buena producción que permita justificar su comercialización. Entre estas se tienen a los nutrientes, que son elementos que intervienen en el proceso metabólico y no pueden ser desplazados por otros. Sus ausencias provocan que la planta no se desarrolle, de allí la importancia de su oportuna aplicación. Esta demanda de nutrientes por parte del cultivo va a estar en función de la etapa fenológica, demandando un abastecimiento de estos nutrientes en el momento más idóneo.

En base a lo expresado es necesario conocer la manifestación de la planta cuando demanda determinado nutriente, es en base a ello que se planteó el presente trabajo experimental. Este se llevó a cabo en macetas, teniendo como objetivo general identificar la sintomatología de las deficiencias de N, P, K, Ca y Mg en plantas de espárrago (*Asparagus officinalis* L.), de un año de edad bajo condiciones de tres dosificaciones de nutrientes en invernadero.

Se tienen como objetivos específicos determinar la sintomatología (color, longitud, número de tallos y materia seca) de la deficiencia de los macronutrientes en el cultivo; la respuesta de las plantas de espárrago a las dosis crecientes de adiciones de macronutrientes. Y la interacción en relación a otros nutrientes frente a la deficiencia a cada macronutriente.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) es originario de Europa y Asia menor, y se le puede encontrar en las costas y zonas arenosas del Mediterráneo (Mortarini *et al.*, 2006, citados por Vargas, 2015; Quiroz, 2008). Es una planta adaptada a climas templados y estaciones definidas (Delgado de la Flor *et al.*, 1993).

Es una planta monocotiledónica, herbácea, perenne y dioica. Es característica la corona, un rizoma o tallo modificado subterráneo, el cual posee yemas que al desarrollarse forman los tallos aéreos. Del rizoma se diferencian dos tipos de raíces: las de almacenamiento, que son gruesas y carnosas; mientras que, las de absorción de agua y nutrimentos, son delgadas y fibrosas. El sistema subterráneo se denomina corona o garra y puede alcanzar grandes dimensiones (Moreira & Gonzáles, 2002).

2.1. Aspectos agronómicos

2.1.1. Requerimientos edafoclimáticos

El espárrago puede cultivarse en muchas clases de suelos, pero un buen drenaje es esencial. Los mejores tipos de suelos para plantaciones permanentes son los suelos profundos y con buen riego. La esparraguera tiene un extenso sistema radicular y para su máximo desarrollo exige suelos porosos. El área y la geografía de estas plantas es muy extensa, ya que resiste tanto a altas temperaturas como las fuertes heladas invernales, que solo afectan el momento de iniciarse la recolección (Vidal, 1958).

La temperatura óptima del ambiente es 19 ± 7 °C, siendo un factor importante en diferentes fases de desarrollo del cultivo, donde la diferencia de temperaturas altas y bajas entre el día y la noche, es de 9 °C, y la mínima no baje de 8 °C. Mientras que la temperatura adecuada del suelo se encuentra entre los 16 °C y 32 °C. Fuera de este rango no es favorable para el crecimiento de los brotes. Valores de humedad relativa mayores a 95 % favorecen el desarrollo de enfermedades foliares, de manera que no es conveniente en etapas de crecimiento de la planta, pero en las épocas de cosecha si favorece la humedad relativa alta,

dado que evita la deshidratación de los turiones (Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas, 2015; Delgado de la Flor et al., 1993). En la Tabla 1 se resumen estos y otros factores favorables para el cultivo del espárrago.

Tabla 1: Resumen de los factores ambientales para el cultivo de espárrago

Factores	Óptimo	Favorable	Desfavorable
Textura	Franco arenoso Arenoso franco	Arena franca	Limosos arcillosos
Permeabilidad	Mod. Rápida	Moderada	Lenta, rápida
Profundidad	Mayor 1,5 m	0,75 m - 1,50 m	Menor 0,75m
Drenaje	Bueno	Tabla de agua >1 m prof.	Tabla de agua <1 m prof.
Reacción (pH)	6,5 - 7,8	6,0 - 6,5 7,8 - 8,3	<6,5 y >8,3
Sales	<4,1 ds/m	4,1 ds/m - 10 ds/m	<10 ds/m
Fertilidad (M.O., P, K ₂ O)	3 parámetros nivel alto	2 parámetros en el nivel alto	Mín.1 parámetro en nivel alto
Nivel de boro	<10 ppm	10 ppm - 15 ppm	>15 ppm
Temperaturas	19 °C/-7 °C	11 °C - 30 °C	Extremos
Precipitaciones	<400 mm	400 mm - 800 mm	>800 mm
Humedad relativa	<70%	70% - 90%	>90%
Luminosidad	****	****	****

Fuente: IPEH, INCAGRO, UNALM (2008).

2.1.2. Cultivar UC 115 F1 DePaoli

Por los constantes cambios climatológicos y campos con plantas viejas disminuyó la productividad; razón por la cual, la Universidad de California Riverside lanza al mercado un nuevo cultivar (UC 115 F1, más conocida como DePaoli), este es un híbrido diploide, que rinde aproximadamente 20 % más que la UC 157 F1 desde la primera cosecha (Stone, 2018).

El UC115 es un cultivar más flexible a diferentes condiciones de suelo y clima, los cuales permiten la alta adaptabilidad; además, presenta cualidades muy favorables en cuanto al vigor, rendimiento, uniformidad y calidad del turión, destacándose por su punta cerrada. Así mismo, presenta crecimiento más rápido (alta precocidad), lo cual favorece la rentabilidad en menor tiempo y permite trabajar en altas densidades (Trylesinski, 2021).

2.1.3. Fenología

La fenología del espárrago puede dividirse en seis etapas bien diferenciadas:

1. **Brotamiento:** Después de realizado el trasplante de corona, los brotes del rizoma comienzan a emerger.
2. **Ramificación:** Cuando se van desarrollando los tallos, hojas y raíces:
 - a. **Raíces principales:** son raíces carnosas no ramificadas, las cuales son formadas en la base de las yemas jóvenes en crecimiento activo. Estas raíces son órganos de reserva que determinan la productividad, densidad y actividad radicular, en función a su profundidad. Además, también cumplen la función de absorción de nutrientes y agua en menor grado.
 - b. **Raíces secundarias:** son raíces fibrosas que se originan a partir del periciclo de las raíces carnosas antes del engrosamiento de la pared y la tuberización epidermal. Su función principal es la absorción de nutrientes y agua.
3. **Floración:** La planta masculina presenta flores elongadas con estambres. Estas plantas producen mayor número de turiones, pero de menor diámetro que la planta femenina, las cuales presentan flores redondas y pequeñas, además de un menor número de turiones de mayor diámetro frente a las plantas masculinas.
4. **Fructificación:** Aparecen primero frutos (bayas) solo en las plantas femeninas y son de color verde antes de la maduración. Esta fase no se presenta en híbridos masculinos puros.
5. **Maduración:** Los frutos son de color rojo y naranja cuando la maduración es prematura. Durante la maduración se seca el follaje.
6. **Formación de turiones:** Ocurre después del agoste y chapodo (corte de la parte aérea de la planta) a partir de la corona. Presentan yemas que van a dar origen a primordios vegetativos que, al desarrollarse, reciben el nombre de turiones que serán verdes si no se aporcaron las plantas, o blancos si sí se realiza previamente.

Esta clasificación fue realizada por Drost (1997) e Yzarra & López (2011).

Drost (1997) menciona que el periodo vegetativo del espárrago es de 300 a 360 días según la variedad; y el ciclo de vida del cultivo es de 8 a 10 años. En la Figura 1 se puede observar la fenología del cultivo.

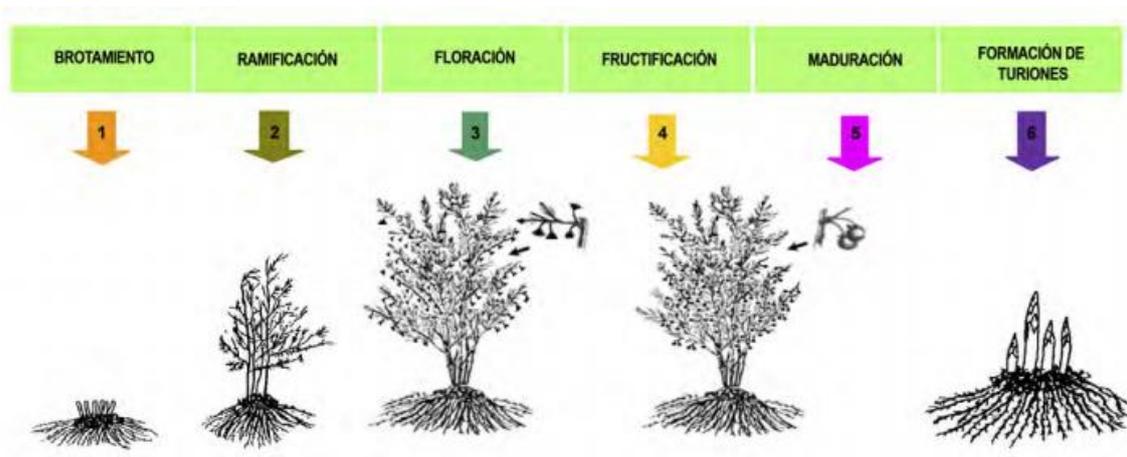


Figura 1: Fenología del espárrago (*Asparagus officinalis* L.).

Fuente: (Yzarra & López, 2011).

Por otro lado, Moreira & Gonzáles (2002), indican que el estímulo consiste en cortar la parte aérea, lo que trae como consecuencia la traslocación de las reservas de las raíces carnosas hacia los brotes o yemas. Las yemas comienzan a desarrollar tallos, los que antes de abrirse y formar sus cladófilos, constituyen los turiones o espárragos propiamente dichos, que son la parte comestible. Si los turiones son cosechados antes de emerger sobre el nivel del suelo se obtiene el espárrago blanco. En este caso, para lograr el desarrollo de un turión de tamaño apropiado, se realiza el aporque antes de que aparezca sobre el nivel del suelo, caso contrario el turión emerge sobre la superficie y desarrolla su coloración verde.

La cosecha se realiza de manera que se aprovechen, en forma eficiente, los carbohidratos acumulados durante la fase de follaje anterior. El ciclo de cultivo es de 8 a 12 años si se mantiene un adecuado balance entre el período de manejo (Moreira & Gonzáles, 2002).

2.1.4. Siembra

La siembra se realiza mayormente mediante el trasplante de coronas previamente sembradas de semilla en un almácigo. Se recomienda un distanciamiento de siete centímetros entre semillas para favorecer un óptimo crecimiento de las plantas en el almácigo. El empleo de coronas tiene como ventajas el lograr una mayor eficiencia en el uso de semillas relativamente costosas, la protección de las plántulas de insectos y enfermedades y la posibilidad de seleccionar las coronas deseadas para su instalación en campo definitivo. Se

recomienda seleccionar coronas con un diámetro de 2,5 a 3 cm, 9 o más raíces reservantes gruesas y 2 a 3 yemas bien diferenciadas (Moreira & Gonzáles 2002; Fernández, 2015).

Antes de instalar las coronas se recomienda realizar una nivelación del terreno para así darle al sistema de riego el nivel óptimo para su funcionamiento. Luego un subsolado, para lograr una buena profundidad para el correcto desarrollo de las raíces. Un mullido de los terrones, si es necesario, y la apertura de surcos. Finalmente, se procede a realizar el trasplante. Las coronas deben ser desinfectadas previamente para evitar el ataque de hongos e insectos (Fernández, 2015).

2.1.5. Rendimientos

En cualquier tipo de cultivo el rendimiento y la calidad están determinados por el componente genético y ambiental (Holliday, 1960).

En el cultivo de espárrago uno de los factores que determina el rendimiento es la fertilización, donde la menor producción está relacionada con inadecuado suministro de nutrientes. Así mismo, el balance nutricional es importante debido a que el déficit o exceso de elementos repercute en la absorción y asimilación de otros (Feher, 1992 y Sanchez, 1992, citados por Loli & Vega, 2012). El rendimiento potencial del espárrago depende directamente de la alta disponibilidad de carbohidratos (CHO) en las raíces reservantes al inicio de la cosecha debido a que son fuentes de energía para la emisión de brotes. Esto repercute en el incremento de la producción y la ampliación del periodo de cosecha en comparación con aquellos campos que registraron baja disponibilidad de CHO. La biomasa producida no es el reflejo de la cosecha a obtener. Sin embargo, aporta con fuentes energéticas de manera indirecta para la producción de turiones (Wilson *et al.*, 2008; Loli & Vega, 2012). Así mismo, la relación de plantas macho y hembra también repercute en el rendimiento. Las plantas estaminadas (masculinas) presentan mayor número de turiones y de menor diámetro, mientras que las pistiladas (femeninas) registran menor número de turiones, pero de mayor diámetro (Castagnino *et al.*, 2009; Risso *et al.* 2012).

2.2. Nutrición mineral

2.2.1. Nitrógeno

Es considerado como el motor del crecimiento de la planta. Se absorbe en forma de nitrato o de amonio y, al ser metabolizado por la planta, forma parte de aminoácidos y proteínas los

cuales están involucrados en el desarrollo y el rendimiento. También favorece la absorción de otros nutrientes. Se considera como el nutriente que comúnmente limita el rendimiento a nivel mundial (Salisbury & Ross., 1994; Beathgen, 1996; Food and Agriculture Organization, 2002).

Mei & Thimann. (1984) mencionan que la deficiencia de nitrógeno observada en *Avena sativa* L. se evidencia en una aceleración en la floración, así como en una deficiencia de clorofila (clorosis) y mayor senescencia de las hojas. En el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), Sarita (1991) informa que la carencia de nitrógeno afecta el desarrollo de la planta, causando que el follaje se torne de color verde amarillento, con hojas y ramificaciones delgadas y un lento desarrollo radicular. Mientras que el exceso de N en relación al P y al K disponible afecta a los tallos y hojas generando que crezcan más de lo normal, lo que los vuelve más susceptibles al estrés hídrico y al ataque de plagas. Además, provoca la deficiencia de calcio en los frutos. Millard (1986) describe la relación entre una deficiente fertilización nitrogenada con un menor contenido de aminoácidos en papa. Ramírez & Sadeghian (2009), al realizar un estudio en Colombia, determinaron que un incremento de la dosis de nitrógeno aplicado al suelo se vio reflejado en el aumento del rendimiento en los casos en los que el N permanecía en el suelo y cuando no se encontraba en exceso.

En general, los síntomas asociados a la deficiencia por N se expresan en un retardo en el crecimiento, menor tamaño, coloración amarillenta de las hojas, clorosis de brotes y muerte prematura de las hojas más viejas (Food and Agriculture Organization, 2002). Para Munsell (1977) los niveles bajos de nitrógeno en el cultivo de maíz son reflejados a través de la coloración amarillenta del tejido foliar que va de 2.5 GY (8/4 a 8/10), este color indica el requerimiento de fertilizantes nitrogenadas.

El cultivo de espárrago responde de manera significativa al aporte de N debido a que el elemento favorece una mayor producción de biomasa (follaje), generando un incremento en la producción de carbohidratos los que, a su vez, son distribuidos y acumulados en forma de fotosintatos en la corona (Sanders, 1999; Loli & Vega, 2012). Así mismo, Ramírez (2021) indica que el espárrago absorbe gran cantidad de nitrógeno durante todo el ciclo fenológico, en especial en las primeras etapas. Además, comenta que bajo condiciones de solución nutritiva que contiene 75 % de N-NO₃ y 25 % de N-NH₄ alcanza el máximo crecimiento foliar.

En los estudios realizados por Benson (1990) se indica que las plántulas deficientes de N presentaron aspectos etiolados en cuanto al crecimiento del follaje y un menor número de verticilos a lo largo de sus tallos y ramas primarios. Así mismo, Valdivia et al. (2011) observaron que de las aplicaciones de dos dosis de nitrógeno (220 y 380 kg N/ha) se obtuvieron mayores rendimientos con la dosis más baja. Por otra parte, Pitman *et al.* (1991) hallaron que a medida que se aumenta los niveles de fertilización (0 a 340 kg N/ha), se disminuía la concentración de fructosa en la corona y se daba lugar al aumento de follaje. Para mantener el equilibrio entre el crecimiento de la copa y la concentración de fructosa en la corona se recomienda aplicar 57 kg de N/ha durante el segundo y tercer año de crecimiento. Por otro lado, Krarup et al. (2002) observaron que la aplicación de nitrógeno a distintas dosis (50, 100, 150, 200 kg N/ha) causa efectos distintos en algunos parámetros de crecimiento al compararlos con el testigo (0 kg N/ha). Los resultados obtenidos hacen referencia que la aplicación de 50 kg N/ha es suficiente para la producción del follaje. León *et al.* (2018) observaron que el incremento en la dosis de fertilización de N no representó un incremento en el rendimiento final.

2.2.2. Fósforo

Tiene un papel importante en la transferencia de energía por lo que es crucial en los procesos fisiológicos. Es necesario en la diferenciación celular y el desarrollo de los tejidos (FAO, 2002). Zamalvide (1996) menciona que, a diferencia del nitrógeno y del potasio, el equilibrio de la cantidad disponible de fósforo depende de su ciclo orgánico y equilibrio químico inorgánico. Así mismo, la solubilidad de este elemento es un factor clave en su disponibilidad y dinámica en el suelo. Los fertilizantes más usados son el fosfato diamónico, el superfosfato triple, mezclas de NPK integradas y otros.

El fósforo es absorbido principalmente en su forma de anión monovalente fosfato (H_2PO_4^-) y con menor rapidez como anión divalente (HPO_4^{2-}), siendo el pH del suelo el que define la relación entre ambas formas. Permanece en la planta en su forma de fosfato libre. Forma parte esencial de procesos como la fotosíntesis, respiración y demás procesos metabólicos, así como del ADN y ARN, fosfolípidos de la membrana celular y, fundamentalmente, del metabolismo energético al estar presente en moléculas de ATP, ADP, AMP y pirofosfato (Salisbury & Ross, 1994).

Los síntomas por deficiencia de fósforo se manifiestan como un retardo en el crecimiento, coloración de un verde más oscuro de lo habitual de las hojas o, en otros casos, de color morado o parduzco en las puntas. El desarrollo es lento y la producción se ve afectada ya sea como deformidad en frutos o pobre llenado de granos (Salisbury & Ross, 1994; Food and Agriculture Organization, 2002). En el cultivo de tomate, Sarita (1991) indica que gran parte del fosforo se concentra en el fruto y en cantidades pequeñas en hojas y tallos. Su deficiencia afecta directamente en la absorción de N por lo que la planta presenta síntomas de deficiencia de los dos macronutrientes tornándose este de una coloración rojiza en la parte inferior de los cotiledones y hojas.

Para el caso del espárrago, Drost (2008) indica que “los niveles elevados de fósforo (P) estimulan el crecimiento temprano de las plantas y la producción de raíces”. También menciona que una única fertilización con este elemento aumenta significativamente la biomasa de las raíces y el rendimiento de los turiones, razón por la cual recomienda realizar una alta dosis como aplicación inicial de fósforo y un posterior monitoreo de los niveles de dicho elemento en el suelo y en la planta durante los primeros años. Además, Ramírez (2021) señala que el P actúa como el regulador del vigor de la planta y favorece en la calidad del turión.

Clore & Stanberry (1946) reportaron que las plantas de espárrago que recibían nitrógeno (N) y fósforo (P) presentaron mayores rendimientos que los que recibían sólo N, lo que refiere que el P es el elemento limitante del rendimiento. Hartmann & Wuchner (1979), citado por Drost (2008), informaron que la producción fue mayor con una fertilización de 150 kg de P_2O_5 /ha respecto a la dosis de 50 kg de P_2O_5 /ha, pero con una diferencia mínima. Por su parte, León *et al.* (2018) hallaron que el incremento en la dosis de fertilización fosforada no se expresó en un incremento en el rendimiento final. Sin embargo, Hartmann *et al.* (1990) indican que un mayor contenido de este elemento en el suelo genera un incremento significativo de la producción. Mientras que Fisher & Benson (1983) observaron que al aplicar dosis crecientes de P (0 a 20 ppm) en la solución nutritiva se genera un incremento lineal en cuanto a los parámetros de crecimiento medidos en las plántulas de espárrago. Y concluye que las concentraciones superiores a 20 ppm aplicadas pueden mejorar aún más el crecimiento y la calidad de las plantas.

La deficiencia por este elemento se manifiesta en los brotes más viejos con manchas cloróticas y necróticas en la punta de los cladófilos de las ramas laterales, mientras que el

color de las demás ramas se observan de un tono verde oscuro (Figura 2 A). En etapas tardías las ramas laterales se caen incluso estando verdes dejando los laterales vacíos (Figura 2 B). Esta sintomatología se muestra en la Figura 2 (Benson, 1990; Feller & Müller, 2018).



Figura 2: Síntomas por deficiencia de fósforo. Fuente: Feller & Müller (2018).

2.2.3. Potasio

El potasio, a diferencia de los otros macroelementos, no se encuentra disponible en grandes cantidades en el suelo. Su presencia se puede clasificar en: potasio en solución, intercambiable, no intercambiable y estructural. Solo los dos primeros son fácilmente asimilables por las plantas mientras que los dos últimos, a pesar de representar un alto porcentaje del total en el suelo, no se encuentran disponibles (Casanova, 1996). Forma parte importante en la activación de más de 60 enzimas además de participar en la apertura y cierre de estomas (Salisbury & Ross, 1994; Food and Agriculture Organization, 2002). Por otro lado, Ramírez (2021) informa que el K es absorbido y traslocado a las zonas de reserva en mayor cantidad, además interviene en los procesos de transporte de carbohidratos dentro de la planta de espárrago.

Tiene una buena capacidad de redistribución en la planta por lo que los síntomas por deficiencia aparecen primero en las hojas más viejas. Está asociada en dicotiledóneas a un menor crecimiento de la planta, decoloración en los bordes de las hojas y cerca de las zonas necróticas las cuales que no tardan en formarse. Finalmente, las hojas afectadas terminan por marchitarse. En las monocotiledóneas, las puntas y los márgenes de las hojas muestran necrosis basipétala. Los frutos terminan de pequeño calibre y posiblemente con daños (Salisbury & Ross, 1994; Food and Agriculture Organization, 2002). La carencia de potasio

en el tomate afecta en al crecimiento de los tallos, provoca el secado de las hojas periféricas las cuales acaban por marchitarse (Sarita, 1991).

El requerimiento de macronutrientes del espárrago según Sánchez (1992), citado por Loli & Vega (2012), indica que es ávido de N y K, mientras que requiere el P en cantidades moderadas. Douglas (1996) reportó que en los suelos volcánicos y con arcilla alófana, el K es el principal elemento requerido para la producción de espárragos. Por otro lado, León *et al.* (2012) observaron que al aplicar tres dosis de K (190, 380 y 570 kg K₂O/ha al año) el mayor rendimiento fue alcanzado con el nivel más bajo de K. Sin embargo, Castillo (1999) obtuvo el mayor rendimiento con 300 kg K₂O/ha. Cabe mencionar que García (1998) informa que al aumentar la dosis de K de 150 a 300 kg/ha de K₂O, se incrementó el rendimiento del espárrago; a diferencia de lo hallado por León *et al.* (2018), quienes observaron que el incremento en la dosis de fertilización potásica no se expresó en un incremento en el rendimiento final. Por otro lado, Benson (1994), citado por Valdivia & Valdivia (2004), recomienda que, en un campo bajo riego por goteo, la dosis de potasio por campaña debe ser entre 40 y 80 kg/ha dependiendo de la disponibilidad de K en el suelo.

La sintomatología visual de la deficiencia de K en alfalfa presenta coloraciones de 5Y 8/8 más 10R 3/4 (Munsell, 1977). Mientras que en espárrago se manifiesta en una clorosis desde la punta a la base de los cladodios de las ramas laterales, necrosis en las puntas de los mismos, mientras que las bases de los restantes continúa verdes y los cladodios necrosados se mantienen en la planta (Figura 3 A y B) (Feller & Müller, 2018). Por otra parte, Benson (1990) informa que las plántulas con deficiencia de K presentan amarillamiento general de toda la planta.

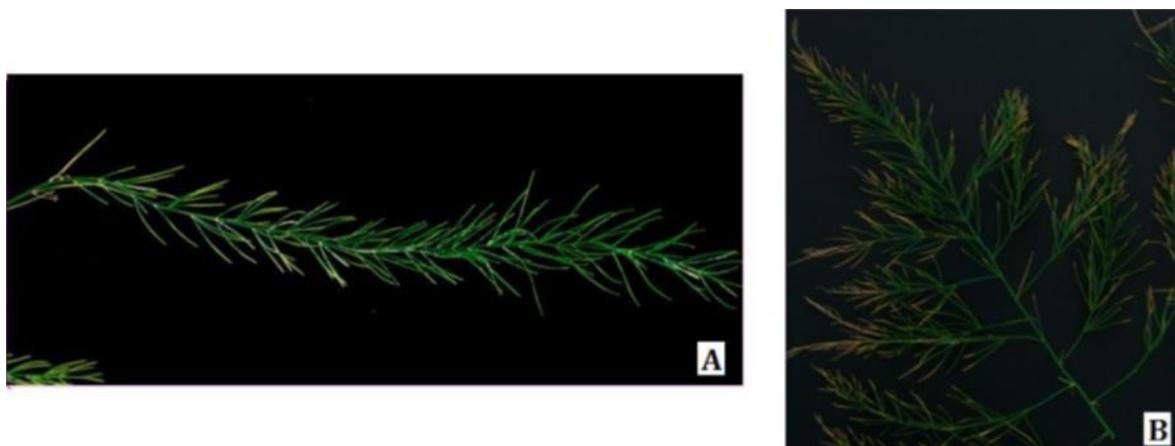


Figura 3: Síntomas por deficiencia de potasio. Fuente: Feller & Müller (2018).

2.2.4. Calcio

Es absorbido en su forma de catión Ca^{2+} . La mayoría de suelos lo contiene en cantidades suficientes, aunque se puede presentar deficiencia en suelos tropicales. Su uso principal en agricultura es para reducir la acidez del suelo. En la planta se ubica principalmente en las vacuolas y las paredes celulares (Salisbury & Ross, 1994; Food and Agriculture Organization, 2002). El movimiento del calcio es unidireccional. Después de la absorción se traslada a través de xilema hacia las zonas meristemáticas y los tejidos jóvenes y, una vez depositado en ellas, no recircula. Por esta razón se acumula en órganos más viejos durante el desarrollo de la planta y su movimiento hacia la raíz es relativamente nulo debido a que es muy poco móvil vía floema (Epstein, 1973; Hanger, 1979; Vejarano, 1990; Domínguez, 1997). Por otra parte, Ramírez (2021) indica que la deficiencia no es tanto por falta de nutriente en el suelo, sino por su inmovilidad en el floema, por esto se limita su movilización hacia las zonas de mayor crecimiento.

La deficiencia por calcio se observa con mayor frecuencia en tejidos jóvenes. Se evidencia en las zonas meristemáticas de las raíces, tallos y hojas provocando que se acorte su crecimiento. Además, estos órganos pueden llegar a deformarse y ponerse cloróticos, o generarse una necrosis de los tejidos del meristemo por la ruptura de las paredes celulares (Chiu & Bould, 1977; Salisbury, 1994; Mengel & Kirkby, 2001). Además, Stoller (1994), citado por Moreno (2017), manifiesta que la deficiencia de Ca limita el crecimiento de pelos radiculares y provoca una escasa síntesis de hormonas radiculares como la citoquinina, siendo los periodos más críticos las etapas iniciales de crecimiento, brotamiento, floración y fructificación. En el cultivo de tomate la carencia puede causar marchitamiento, muerte de los tallos superiores y de las puntas de crecimiento, así como la aparición del “*blossom end rot*”. Este síntoma también se presenta en pimiento y sandía. En la manzana provoca el “*bitter pit*”, y en apio el “corazón negro” (Kirkby, 1979; Sarita, 1991). La deficiencia también se puede presentar por factores climáticos como altas temperaturas y baja humedad relativa, afectando directamente a los frutos por un aumento excesivo de la transpiración en las hojas. Mientras que, en épocas de baja temperatura y alta humedad relativa, los síntomas se manifiestan en las hojas (Adams, 1966).

En el espárrago los síntomas se observan también en los brotes jóvenes con deformaciones y muerte de estos antes de la apertura de los cladodios (Figura 4 A y B), así como un bajo

desarrollo radicular. Las raíces se mantienen pequeñas, lo que se relaciona con su reducido peso fresco (Figura 4 D) (Feller & Müller, 2018).

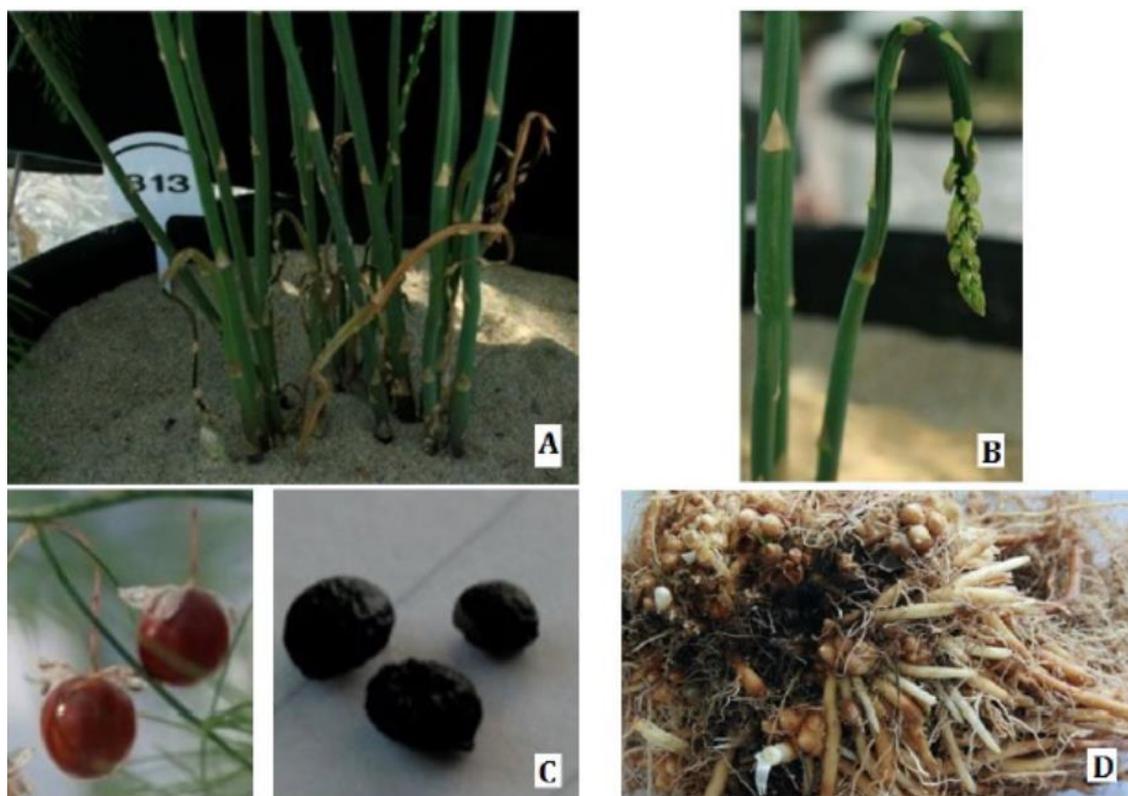


Figura 4: Síntomas por deficiencia de calcio. Fuente: Feller & Müller (2018).

2.2.5. Magnesio

El magnesio es absorbido por la planta en su forma de ion divalente Mg^{2+} . Casi nunca es un factor limitante en los suelos. Forma parte principal de la molécula de clorofila, además de ser esencial en las reacciones bioquímicas del ATP al unirse a éste en dichos procesos. Así mismo, participa en la activación de enzimas que intervienen en la formación de ADN y ARN, respiración y fotosíntesis (Salisbury & Ross, 1994; Food and Agriculture Organization, 2002). Según Ramírez (2021) los requerimientos nutricionales de Mg por el cultivo de espárrago son medianos. Sin embargo, es de vital importancia para la acumulación de sustancias orgánicas, a través de los procesos fotosintéticos, el cual se manifiesta en el rendimiento del cultivo de espárrago.

La deficiencia por magnesio produce generalmente una clorosis intervenal seguida por la formación de manchas y la consecuente muerte de los tejidos, empezando por las hojas inferiores (Salisbury & Ross, 1994; Food and Agriculture Organization, 2002). En las hojas de tabaco la deficiencia se expresa con coloración amarillo claro de 5,0Y (8/6 a 8/10),

mientras que en el cultivo de algodón muestra un color rojo púrpura oscuro 5,0RP (3/8) Munsell (1977).

En el espárrago se manifiesta cambiando de un color verde brillante a amarillento en los cladodios de los brotes más viejos, iniciando en la punta mientras la base de los mismos permanece de color verde (Figura 5 A). Sin embargo, en cladodios con deficiencia avanzada las puntas permanecen verdes mientras el resto se necrosa (Figura 5 B y C). En el desarrollo radicular se evidencia un bajo peso fresco en comparación con una planta control (Feller & Müller, 2018).

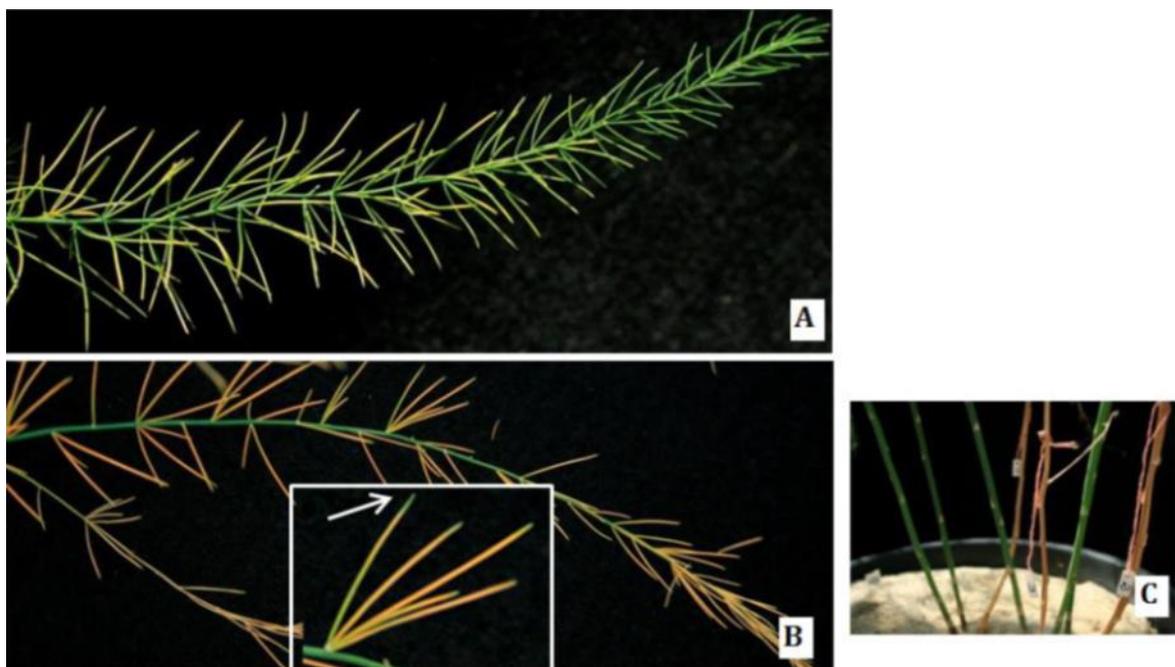


Figura 5: Síntomas por deficiencia de magnesio. Fuente: Feller & Müller (2018).

2.2.6. Azufre

Es absorbido por la planta en su forma de anión sulfato divalente SO_4^{2-} y luego transportado vía xilema a toda la planta. Forma parte de proteínas con cisteína, metionina, tiamina y biotina, coenzima A y ferredoxina. Participa en la formación de clorofila (Salisbury & Ross, 1994; Morón, 1996; Food and Agriculture Organization, 2002).

Es un elemento poco móvil. La deficiencia por azufre se evidencia generalmente por clorosis total de las hojas. En plantas con baja capacidad de translocación de este elemento la clorosis se da principalmente de las hojas nuevas, lo cual puede confundirse con la deficiencia por nitrógeno. El desarrollo del cultivo se ve retrasado (Salisbury & Ross, 1994, Food and

Agriculture Organization, 2002). En el espárrago, los síntomas se observan en las hojas más jóvenes con una clorosis total mientras que las más viejas permanecen verdes. Las flores también se ven afectadas en cuanto a su tamaño y la coloración de sus estambres llegando incluso a atrofiarse. También influye en la disminución del peso de las raíces (Feller & Müller, 2018).

2.2.7. Microelementos

Se refieren al manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl), boro (B), hierro (Fe) y níquel (Ni). Son clave en gran parte de procesos metabólicos de la planta a pesar que las cantidades necesarias son muy pequeñas. Los síntomas en espárrago se presentan principalmente en las hojas jóvenes y van desde clorosis, ramificaciones axilares extra a lo largo del tallo, enanismo y necrosis de los filocladios (Benson, 1990; Salisbury & Ross, 1994; Food and Agriculture Organization, 2002; Feller & Müller, 2018).

2.3. Interacción y absorción de nutrientes

Cuando interactúan los elementos se produce la dependencia en la absorción y la asimilación de los nutrientes. “Existe una alta correlación entre el contenido de fósforo y potasio de la parte aérea y su concentración de nitrógeno; de igual modo, del hierro con respecto al fósforo, y del calcio con relación al boro” (Loli & Vega, 2012).

Así mismo, también manifiestan:

El movimiento dentro de la planta del N, P, K, Mg, Cl y Mo favorece y asegura su almacenamiento en los órganos de reservas como parte de los carbohidratos; mientras que la acumulación de Ca, B, S, Cu, Zn, Mn y Fe se produce debido a su baja movilidad en el floema, reflejándose su acumulación en el follaje (Loli & Vega, 2012).

En estudios realizados por Sanders (1999) se menciona que “la respuesta al incremento de potasio se debe a la dependencia al nitrógeno”. Así mismo, Hartmann *et al.* (1990) reportan que una relación N: K de 1: 0,77 (2,1 % de N y 1,5 % de K en materia seca) indican una sobre-fertilización nitrogenada. Mientras que una relación N: K de 1: 1,1 (1,23 % de N y 1,34 % de K en materia seca) señalan una deficiencia en potasio. Así mismo, las relaciones N: K: Mg de 1: 1,22: 0,05 (2,03 % de N, 2,48 % de K y 0,05 % de Mg en materia seca) apuntan a un suministro de nitrógeno y potasio elevados, pero bajos índices de aporte de magnesio. De igual manera, Sanders (1999) menciona que en la interacción de N y K se

obtuvieron los mejores rendimientos en espárragos empleando 150 kg de N/ha y 150 kg/ha de K₂O.

En los estudios realizados por Valdivia *et al.* (2011) en la costa peruana, la interacción de N y P no es significativa para el rendimiento en la aplicación de dos dosis de N (220 y 380 kg N/ha) y dos dosis de P₂O₅ (200 y 400 kg/ha). Por otro lado, Benson (1990) indica que al fertilizar plántulas de espárrago con solución hidropónica con contenido de N y P al 10 % de la solución base (Hoagland Solution), estas presentaron un menor número de brotes nuevos y una reducción en el peso fresco foliar.

El Ca es transportado y absorbido por mecanismos pasivos y tiene relación directa con la transpiración de la planta (Hochmuth, 1991, citado por Moreno, 2017). En gran medida, el Ca es absorbido por flujo de masas y solo por los tejidos jóvenes (no suberizados) del sistema radicular (Domínguez, 1993). Así mismo, la absorción de Ca puede ser afectada por diversas causas como la intensidad de la transpiración, concentración salina de la solución (principalmente del ion Na⁺ debido al antagonismo) y a altas concentraciones de cationes (Mg²⁺, K⁺, NH₄⁺ y H⁺) por su rápida absorción, y otros (Sarita, 1991; Hopkins & Hüner, 1995). Mientras que, en los suelos calizos con elevado pH, el exceso de carbonato de calcio, puede generar deficiencia de K, así como clorosis férrica, inmovilización del Zn, Cu y P generalmente como consecuencia indirecta del uso excesivo de cal (Rodríguez, 1992; Thompson & Troeh, 2002; Navarro & Navarro, 2003). Por otro lado, el Ca tiene una relación sinérgica con la síntesis de proteínas que aumenta la absorción del nitrógeno en forma de nitrato (NO³⁻) (Lindsay, 2001; Vidal, 2001; Osorio, 2012).

2.4. Extracción de nutrientes

Según los estudios realizados por Valdivia & Valdivia (2004) en campo, las extracciones de P₂O₅ y de K₂O por los diferentes órganos de la planta de espárrago fueron a nivel foliar de 15,7 kg de P₂O₅/ha y 121.9 kg de K₂O/ha. Para los turiones fue de 8.7 kg de P₂O₅/ha y 25.7 kg de K₂O/ha. Las raíces fibrosas (absorbentes) retuvieron 25.1 kg de P₂O₅/ha y 140.3 kg de K₂O/ha, mientras que las raíces carnosas (reservantes) 47.9 kg de P₂O₅/ha y 189.7 kg de K₂O/ha. Los rizomas retuvieron 5,0 kg de P₂O₅/ha y 21.7 kg de K₂O/ha. El órgano con mayor extracción de nutriente es la raíz, y en menor grado los tallos. Un mayor contenido de P en el suelo no significa un aumento del P en el tallo, pero sí incremento significativo en la

producción. Mientras que cualquier aumento de Mg en el suelo no provoca que se eleve su contenido en las raíces.

Por otro lado, Casas & Nuñez (2002) informan que la extracción mineral en el turión fue de 4,63 % de N, 0,57 % de P, 3,41 % de K, 0,36 % de Ca y 0,16 % de Mg. Mientras que el contenido medio de materia seca es de 6,5%.

De acuerdo a la profundidad, no existe correlación entre el contenido de nutrientes en la capa de suelo de 0 a 30 cm y la concentración de los mismos en las raíces. Sin embargo, sí existe una correlación significativa en el contenido de P, K, Ca y Mg (en materia seca) de las raíces y la capa de suelo a 30 y 60 cm de profundidad (Hartmann et al., 1990).

Ramírez (2021) indica que la extracción promedio de macronutrientes por el cultivo del espárrago para un rendimiento de 15 toneladas/ha es de 300 kg de N/ha, 75 kg de P₂O₅/ha y 325 kg de K₂O/ha. Por su parte, Benton *et al.* (1991) describe los porcentajes de macroelementos (N, P, K, Ca y Mg) en el follaje de espárrago durante la segunda cosecha (agosto – setiembre). Clasifica los contenidos en bajo, suficiente y alto (Tabla 2).

Tabla 2: Concentración promedio de macronutrientes en el follaje del cultivo de espárrago

Elemento	Ramírez (2021)	Benton <i>et al.</i> (1991) [altura mayor a 50 cm]		
		Bajo	Suficiente	Alto
N	2,4 – 3,8	2,20 – 2,49	2,50 – 4,00	>4,00
P	0,3 – 0,7	0,22 – 0,24	0,25 – 0,50	>0,50
K	1,7 – 3,5	1,20 – 1,49	1,50 – 2,80	>2,80
Ca	1,0 – 3,0	0,40 – 0,59	0,60 – 1,00	>1,00
Mg	0,2 – 0,6	0,22 – 0,24	0,25 – 0,30	>0,30

Fuente: Benton *et al.* (1991) y Ramírez (2021).

2.5. Determinación del color

Existen distintas metodologías para la determinación del color de los tejidos vegetales, entre las que se encuentra el uso de cartillas de color. Entre las más empleadas están (Pérez *et al.*, 2008).:

- Royal Horticultural Society's Color Charts (RHSCC): es una cartilla de 884 colores, agrupados en cuatro abanicos de matices (amarillo al rojo, rojo-púrpura al azul, azul-verdoso al amarillo-verdoso y grisáceos de todos los grupos de color). Se nombra al color con un número y una letra.

- Modelo Swedish Natural Color System (NCS): elaborado por el Instituto Escandinavo del Color, en 1960, reconoce cuatro tonos únicos (amarillo, rojo, verde y azul), además de los colores blanco y negro. Estos se ordenan en un eje tridimensional.
- Escala CIEL $*a*b*$: desarrollada por la Comisión Internacional de l'Eclairage. Es un sistema que reconoce como parámetros al brillo (L^*) y a la cercanía o lejanía a ciertos colores (a^* positivo para rojo y negativo para verde y b^* positivo para amarillo y negativo para azul), empleando los valores para calcular el croma (C^*) mediante una ecuación.
- Modelo de color aditivo RGB: reconoce los colores rojo, verde y azul, con un valor de luminosidad entre 0 (negro) y 255 (blanco) para cada uno, definiendo entre los tres un color.
- Modelo de color HSL: reconoce como parámetros para la determinación del color al matiz, la saturación y el brillo.
- Modelo de color CMYK: determina el color en base a cuatro colores definidos, el cian, magenta, amarillo y negro. Se basa en la cualidad de los objetos de absorber o reflejar los colores.
- Tablas Munsell.

La tabla Munsell describe a los colores en base a tres atributos: el tono, el valor y el croma. Los colores del croma están divididos en cinco clases principales que les dan nombre a los tonos: rojo (R), amarillo (Y), verde (G), azul (B) y púrpura (P). Una subdivisión adicional para cada tono según cada uno de los nombres anteriormente descritos da tonalidades intermedias como el amarillo-rojo, verde-amarillo, etc. Esto resulta en un total de 10 subtonos. Sin embargo, en la práctica las cartas de colores especifican convencionalmente 40 tonos, en incrementos de 2,5, progresando como, por ejemplo, 10R a 2,5YR. Adicionalmente, cada una de dichas subdivisiones es dividida a su vez en 10 etapas o niveles, lo que eleva el número de tonos descritos a 100. Para denotar al color se coloca la inicial del mismo acompañado por tres valores numéricos: tono, valor y croma (Munsell, 1977). Por ejemplo: el color 5P 5/10 representa a un color púrpura a la mitad de la banda púrpura, con un valor medio de luminosidad (5/) y un croma de 10 (Munsell, 1977).



Figura 6: Tabla Munsell de color. Fuente: Munsell (1977).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar si la deficiencia de los macronutrientes es observable en el crecimiento y desarrollo del cultivo de espárrago se siguió la siguiente metodología.

3.1. Ubicación de la investigación

El presente trabajo de investigación fue realizado, entre los meses de agosto del 2019 a noviembre de 2020, en las instalaciones de Laboratorio e Invernadero de Fertilidad de Suelos (LIFS), y los análisis de agua, arena y plantas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes del Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF - UNALM), situado en el distrito de La Molina, en la provincia y departamento de Lima, cuyas coordenadas geográficas corresponden a latitud 12° 04' 46.3" sur, longitud 76° 56' 45.7" oeste y altitud 243,7 m.s.n.m.

3.2. Materiales empleados

3.2.1. Material biológico

En el presente trabajo experimental se emplearon en total 57 plántulas de espárrago, del cultivar UC 115 F1 de 60 días de edad aproximadamente, considerados desde su siembra en almácigo proporcionados por el Ing. Mg. Sc. Andres Casas.

3.2.2. Sustrato

El sustrato usado en el experimento fue arena proveniente de río Lurín del distrito de Cieneguilla, provincia de Lima, departamento de Lima. Es un sustrato grosero, sin presencia de arcillas, de reacción ligeramente básica, de baja salinidad, bajo en carbonatos y materia orgánica. Por su clase textural se puede indicar que presenta buen drenaje y baja capacidad de retención de agua y de cationes (baja CIC), debido a la escasez de coloides se presenta una baja presencia de elementos disponibles (P y K) (Anexo 1).

3.2.3. Agua de riego

El agua para el riego que se utilizó fue analizada en LASPAF – UNALM e interpretada de acuerdo a Ayers & Westcot (1985). Los resultados indican que el agua no presenta problemas de dureza, es de reacción ligeramente básica, ligeramente salina (0,48 dS/m) con bajo nivel en la Relación de Absorción de Sodio (RAS). No presenta limitaciones para su uso en riego por su contenido de sodio, cloruros, nitratos, azufre, ni micronutrientes, presenta limitaciones ligeras a moderadas para su uso en riego por su contenido de sales, bicarbonatos y por los problemas de infiltración (Tabla 3 y Anexo 2).

Tabla 3: Resultados del análisis del agua de riego

No. Laboratorio		076
No. Campo		Fertilidad de Suelo
pH		7,60
C.E.	dS/m	0,48
Calcio	meq/L	3,58
Magnesio	meq/L	0,50
Potasio	meq/L	0,08
Sodio	meq/L	0,65
SUMA DE CATIONES		4,81
Nitratos	meq/L	0,01
Carbonatos	meq/L	0,00
Bicarbonatos	meq/L	1,67
Sulfatos	meq/L	2,07
Cloruros	meq/L	1,10
SUMA DE ANIONES		4,85
Sodio	%	1,50
RAS		0,46
Boro	ppm	0,26
Clasificación		C2-S1
Hierro	ppm	0,010
Cobre	ppm	0,013
Zinc	ppm	0,038
Manganeso	ppm	0,006

Fuente: LASPAF – UNALM

3.2.4. Solución nutritiva

La solución nutritiva fue empleada y formulada en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM) de la UNALM, tal como se detallan en la tabla 4.

Tabla 4: Concentraciones de macro y micronutrientes de la solución nutritiva

Solución nutritiva	Macronutrientes (ppm)						Micronutrientes (ppm)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
	200	40	300	150	50	130	1,0	0,8	0,8	0,2	0,1	0,05

Fuente: Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral.

Para el propósito del ensayo la solución nutritiva se completa va a ser suministrada en tres dosis. Estas se detallan a continuación en la tabla 5 con sus respectivas concentraciones para cada uno de los elementos.

Tabla 5: Concentración de macro y micronutrientes a dosis de 50%. 100% y 150%

Factor Concentración	Macronutrientes (ppm)						Micronutrientes (ppm)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
50%	100	20	150	75	25	65	0,5	0,4	0,4	0,1	0,05	0,025
100%	200	40	300	150	50	130	1,0	0,8	0,8	0,2	0,1	0,05
150%	300	60	450	225	75	195	1,5	1,2	1,2	0,3	0,15	0,075

Fuente: Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral.

3.2.5. Equipos e insumos de campo y laboratorio

Los materiales empleados fueron:

- Tabla Munsell del tejido vegetal
- Bolsas de papel Kraft
- Cinta masking tape
- Libreta de campo.
- Contenedores de 4 litros
- Cinta métrica
- Rafia
- Cartulina negra
- Tijera

Los equipos empleados fueron:

- Estufa
- Molino
- Cámara fotográfica
- Balanza de precisión

Fertilizantes empleados:

Tabla 6: Fertilizantes empleados en la solución nutritiva

Fertilizantes	Ley (%)
Nitrato de potasio	13.5% N, 46% K ₂ O
Nitrato de amonio	31% N
Nitrato de calcio	15.5%N, 26% CaO
Fosfato monopotásico	52% P ₂ O ₅ , 34% K ₂ O
Fosfato monoamónico	12% N, 60% P ₂ O ₅
Sulfato de potasio	50% K ₂ O, 18% S
Sulfato de magnesio	16% MgO, 13% S
Quelato de hierro	6% Fe
Ácido bórico	18% B
Sulfato de manganeso	25% Mn
Sulfato de zinc	23% Zn
Sulfato de cobre	25% Cu
Molibdato de amonio	54% Mo

3.3. Tratamientos evaluados

Fueron considerados 18 tratamientos más un testigo absoluto, todos ellos con tres repeticiones, siendo el total 57 unidades experimentales (Tabla 7).

Tabla 7: Factores evaluados en el experimento

Factor Dosis de solución nutritiva	Factor Deficiencia nutricional					
	Todo los elementos	Sin N	Sin P	Sin K	Sin Ca	Sin Mg
50%	T1	T4	T7	T10	T13	T16
100%	T2	T5	T8	T11	T14	T17
150%	T3	T6	T9	T12	T15	T18

3.4. Diseño estadístico

Se consideró dos análisis de varianza (ANVA):

El primero corresponde a un diseño completamente al azar (DCA) comparando el testigo absoluto (0-0-0) sin fertilización, versus cada uno de los 18 tratamientos que se indican en la Tabla 7.

El segundo corresponde a un DCA con Arreglo Factorial 3 x 6 + 1 con tres repeticiones.

- El factor 1 será la deficiencia nutricional: sin deficiencia, sin N, sin P, sin K, sin Ca y sin Mg.
- El factor 2 será la dosis de solución nutritiva: 50 %, 100 % y 150 %.

Para cada ANVA, se efectuó una prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05 comparando las medias de los diferentes tratamientos.

El modelo será el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

para $i = 1, \dots, a$; $j = 1, \dots, b$, $k = 1, \dots, n$ donde:

- μ es el efecto medio global.
- α_i es el efecto incremental sobre la media causada por el nivel i del factor A.
- β_j el efecto incremental sobre la media causada por el nivel j del factor B.
- $(\alpha\beta)_{ij}$ el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel i del factor A y el nivel j del factor B.
- ε_{ijk} el término de error

3.5. Métodos y procedimientos

3.5.1. Fase de maceta

a. Preparación de las macetas

Se analizaron en el LIFS (Laboratorio e Invernadero de Fertilidad de Suelos) el pH y C.E. (1:1) en dS/m del sustrato con la finalidad de determinar si se requería de un previo lavado. Se optó por usar la arena sin lavar debido a que esta presentó una C.E. de 0,27 dS/m y pH de 7,8, similar a los valores obtenidos para el agua empleada en la preparación de la pasta (C.E.: 0,27 dS/m; pH:7,8). Además, la C.E. de la arena lavada (C.E.: 0,30 dS/m) fue mayor

que aquella que no fue lavada. Sin embargo, ambas características se encuentran dentro del rango óptimo (Sánchez, 2008). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Efecto del lavado de la arena en los valores de CE y del pH

Sustrato	CE (dS/m)	pH
Arena sin lavar	0,27	7,8
Arena lavada (con agua de riego de LIFS)	0,30	7,59

Posteriormente se procedió a pesar 4 kg de arena de río (provenientes del río Lurín) para colocarla en cada una de las macetas de 4 litros.

b. Trasplante

Previo al trasplante de las plántulas de tres meses se regaron a capacidad de campo los contenedores con agua de regadío de LIFS con pH = 7,60 y CE = 0,48 dS/m. Luego, se realizó la siembra por trasplante colocando una única planta de espárrago de la variedad UC 115 por contenedor. Posteriormente, se etiquetaron todos los contenedores siguiendo la distribución según el método estadístico empleado.

Las plantas se regaron con agua de riego proveniente del tanque de almacenamiento del LIFS durante los tres meses siguientes al trasplante para que formen nuevas raíces antes de la primera aplicación de la solución nutritiva.

c. Fertilización

El régimen de fertilización posterior al prendimiento (formación de nuevas raíces) de las plántulas se dio inicio el 11 de setiembre de 2019 y finalizó el 9 de marzo de 2020, período durante el cual se realizaron dos aplicaciones semanales de 200 ml de solución, siendo en total 50 aplicaciones. La dosis e insumos del total de las aplicaciones en los 18 tratamientos y el testigo se muestran (Anexos 4, 5, 6, 7, 8 y 9).

3.5.2. Metodología de evaluación

a. Características cuantitativas evaluadas

- **Altura de planta (cm)**

Se registraron y analizaron estadísticamente las mediciones del crecimiento de las plantas una semana antes de realizar el agoste. Para ello se usó una cinta métrica.

- **Pesos frescos y secos del follaje y la corona (g)**

La primera cosecha del follaje se dio después de nueve meses del trasplante y la segunda cosecha de la parte aérea después de cinco meses del primer chapodo (Anexo 3), cuando se procedió a cortar a la altura del cuello de la planta. Luego se realizó el pesado en fresco, cuya suma proporcionará el peso de la biomasa total de cada tratamiento. Una vez evaluadas estas variables, se colocaron los follajes en bolsas de papel Kraft y se etiquetaron para proceder a un secado en estufa a 70 °C por 48 horas (hasta lograr peso constante). Posterior a ello, se pesó la biomasa seca empleando una balanza de precisión. Se siguió el mismo procedimiento para la cosecha de la corona, con la única diferencia de que fueron lavadas y secadas al aire antes de obtener el peso fresco. Posterior a ello, los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente.

- **Porcentaje de materia seca (%)**

Se calculó a partir de los valores obtenidos de la evaluación de pesos frescos y secos del follaje y la corona.

- **Número de tallos**

Se contabilizó el número de tallos presentes por cada planta antes del agoste.

b. Extracción de elementos

- **Análisis foliar y de corona (% N, % P, % K, % Ca y % Mg)**

Secado y molienda: Después del secado en la estufa a 70 °C se procedió pesar y luego a moler el tejido.

Para el análisis de los macroelementos en los tejidos de la parte aérea y la corona (N, P, K, Ca y Mg) se empleó la digestión húmeda para obtener la alícuota y determinar los elementos P, K, Ca y Mg, mediante el empleo de la absorción atómica. La determinación de N fue a través del método de micro-Kjeldahl modificado.

c. Características cualitativas

Se evaluaron los síntomas de deficiencia de nutrientes basados en el desarrollo de la planta y en la ubicación de las áreas cloróticas o coloraciones rojizas.

• Color del follaje

Se registraron y fotografiaron los cambios de color que se fueron presentando en los tratamientos. Los síntomas tomados en cuenta fueron los siguientes: cambios de coloración y forma de los brotes, los tratamientos fueron comparados tomando como base los estudios realizados por Feller & Müller (2018) en sintomatología de la ausencia de nutrientes.

Para la determinación de color se empleó una tabla Munsell para tejidos vegetales la cual ofrece escalas de colores para diversas aplicaciones en ingeniería de tejidos vegetales. Cada color cuenta con tres cualidades o atributos fundamentales: matiz, intensidad y croma. A partir de ello, Munsell (1977) estableció escalas numéricas para cada uno de dichos atributos, como indica la figura 7.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Efecto del elemento faltante en las características cuantitativas del cultivo de espárrago

Para este estudio se efectuaron dos análisis de varianza, el primero para la existencia de diferencias entre el testigo absoluto y los demás tratamientos; y el segundo buscó hallar las diferencias significativas entre los distintos niveles de los factores evaluados (Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva) y su interacción. Ambos se resumen en un solo cuadro en los anexos mencionados en cada punto a tratar.

4.1.1. Altura de planta (cm)

Al efectuar los análisis de varianza para la altura de planta se observa que solo algunos tratamientos resultaron significativos (Anexo 11).

a) Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

En la tabla 9 y figura 7 se muestra la prueba de Tukey a un nivel de significación de 0,05. Se puede observar que el testigo absoluto presentó diferencias estadísticamente significativas frente al tratamiento sin deficiencia. El testigo absoluto presentó el menor promedio de altura (47,7 cm) en comparación con el tratamiento sin deficiencia (109,77 cm) que corresponde a las plantas que recibieron la solución nutritiva completa al 100%. Sin embargo, el testigo fue estadísticamente similar al resto, principalmente a los tratamientos sin P a dosis de 100 % (49,67 cm), 150 % (53,52 cm) y 50 % (60,73).

Tabla 9: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la altura de planta (cm)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	47,7 ^B			
Sin deficiencia		88,67 ^{AB}	109,77 ^A	83,53 ^{AB}
Sin N		92,93 ^{AB}	82,9 ^{AB}	75,33 ^{AB}
Sin P		60,73 ^{AB}	49,67 ^B	53,52 ^B
Sin K		83,83 ^{AB}	95,17 ^{AB}	87,93 ^{AB}
Sin Ca		91,47 ^{AB}	89,27 ^{AB}	66,77 ^{AB}
Sin Mg		78 ^{AB}	88,17 ^{AB}	75,6 ^{AB}

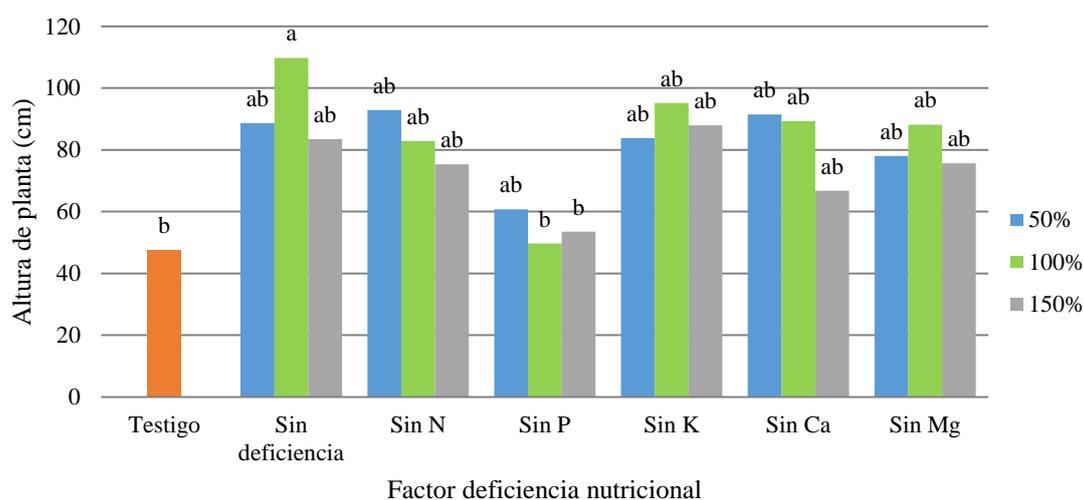


Figura 7: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la altura de planta (cm)

Los elementos nutricionales son fundamentales para el desarrollo de la planta, principalmente en las primeras etapas del cultivo. Esta situación explica lo observado en el testigo absoluto. Los macronutrientes como el N y P favorecen el crecimiento temprano, además de actuar como regulador de vigor (Drost, 2008; Ramírez, 2021), estas afirmaciones explican el menor crecimiento del follaje en los tratamientos sin P en los tres niveles de dosis. Por otro lado, Benson (1990) indica que las plantas con deficiencia de N presentan aspectos etiolados en cuanto al crecimiento del follaje, puede que este sea el caso del

tratamiento sin N a dosis de 50 % de concentración nutricional que ha logrado alcanzar 92,93 cm cercano a la mayor altura promedio.

b) Factor Deficiencia nutricional

Al evaluar los factores y su interacción se observó que existen diferencias estadísticas únicamente entre uno de los niveles del factor Deficiencia nutricional frente a los demás. En la tabla 10 y figura 8 se muestran la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0,05. Se observa que el tratamiento sin deficiencia de elementos obtuvo el mayor crecimiento del follaje con 93,99 cm de altura. Seguida por los tratamientos sin K (88,98 cm), sin N (83,72 cm), sin Ca (82,5 cm) y sin Mg con (80,59 cm). Sin embargo, los tratamientos mencionados no son estadísticamente diferentes entre sí. Mientras que el tratamiento sin P presenta 54,64 cm de crecimiento foliar, siendo estadísticamente menor a los demás. Este resultado se encuentra muy por debajo al obtenido con el tratamiento sin deficiencia debido a que el fósforo estimula el crecimiento temprano de las plantas y su deficiencia causa un retardo en el desarrollo (Salisbury & Ross, 1994; Drost, 2008). Se puede afirmar que el P es un elemento muy importante para el buen desarrollo y crecimiento de la planta.

Tabla 10: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor Deficiencia nutricional para la altura de planta (cm)

Deficiencia nutricional	Altura de planta (cm)
Sin deficiencia	93,99 ^A
Sin K	88,98 ^A
Sin N	83,72 ^A
Sin Ca	82,50 ^A
Sin Mg	80,59 ^A
Sin P	54,64 ^B

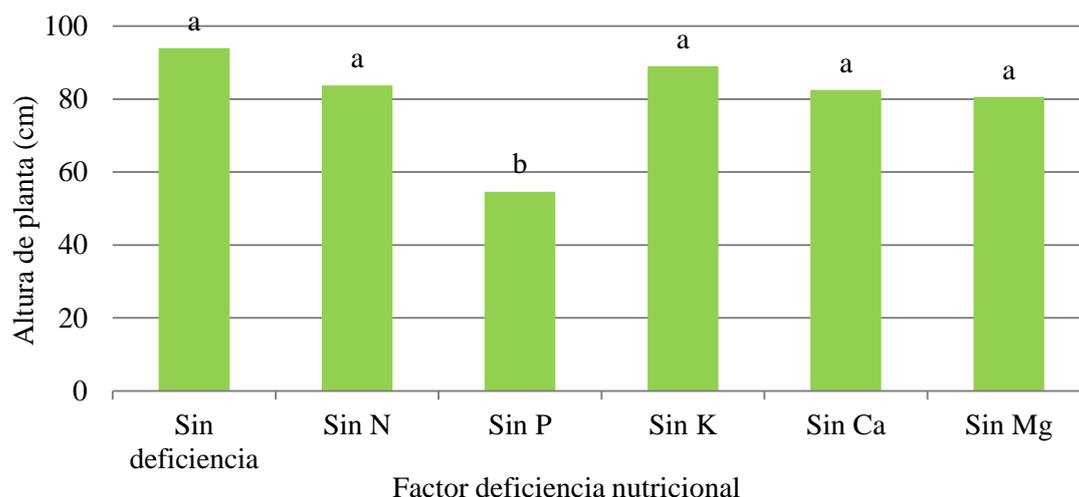


Figura 8: Efecto de la deficiencia nutricional en la altura de planta

c) Factor Dosis de solución nutritiva

Al evaluar la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0,05, se observa que no existen diferencias estadísticas entre los niveles del factor Dosis de solución nutritiva (tabla 11 y figura 9). Sin embargo, los tratamientos con mayor y menor crecimiento son los que contienen el fertilizante a dosis del 100 % y 150 % de concentración, respectivamente. Un buen desarrollo foliar asegura una mayor translocación de fotosintatos a la corona. León *et al.* (2018) hallaron que la dosis de fertilización no tuvo efecto en el rendimiento final, acorde a lo observado en el presente estudio.

Tabla 11: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la altura de planta (cm)

Dosis de solución nutritiva	Altura de planta (cm)
100%	85,82 ^A
50%	82,61 ^A
150%	73,78 ^A

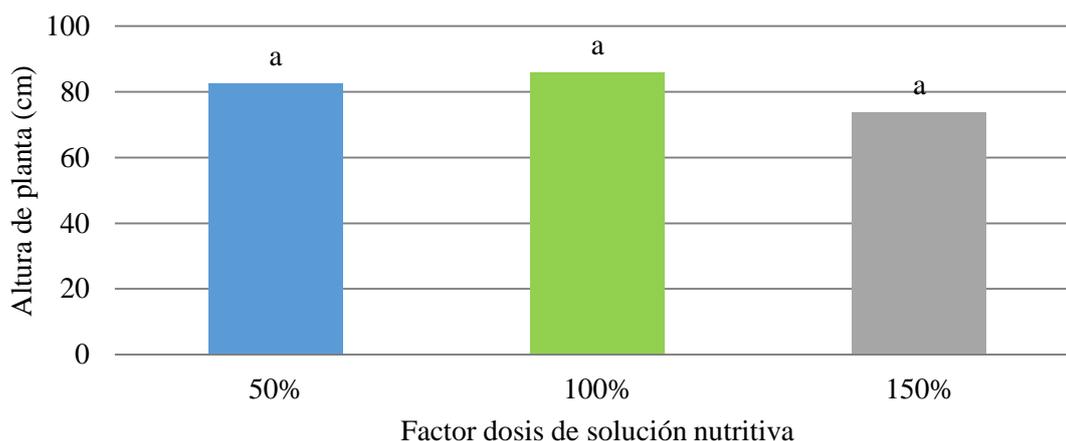


Figura 9: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la altura de planta

d) Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

Al evaluar la interacción de ambos factores (deficiencia nutricional y dosis de solución nutritiva) el resultado del análisis de varianza fue estadísticamente no significativo. Sin embargo, al realizar la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0,05, se observa que existen diferencias estadísticas dentro de la interacción (tabla 12 y figura 10). Este resultado puede estar influenciado por el número de repeticiones de los tratamientos el cual no fue alto y estaría generando una alta dispersión de datos (ver Anexo 11). No obstante, el tratamiento sin deficiencia a dosis del 100 % fue el de mayor crecimiento foliar con 109,77 cm. Mientras que los tratamientos con menor altura son los que tienen deficiencia de P a dosis de fertilización de 100 % y 150 %. Por otro lado, la dosis de 50 % la altura de planta fue estadísticamente similar al resto de tratamientos.

Tabla 12: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la altura de planta (cm)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	88,67 ^{AB}	109,77 ^A	83,53 ^{AB}
Sin N	92,93 ^{AB}	82,9 ^{AB}	75,33 ^{AB}
Sin P	60,73 ^{AB}	49,67 ^B	53,52 ^B
Sin K	83,83 ^{AB}	95,17 ^{AB}	87,93 ^{AB}
Sin Ca	91,47 ^{AB}	89,27 ^{AB}	66,77 ^{AB}
Sin Mg	78 ^{AB}	88,17 ^{AB}	75,6 ^{AB}

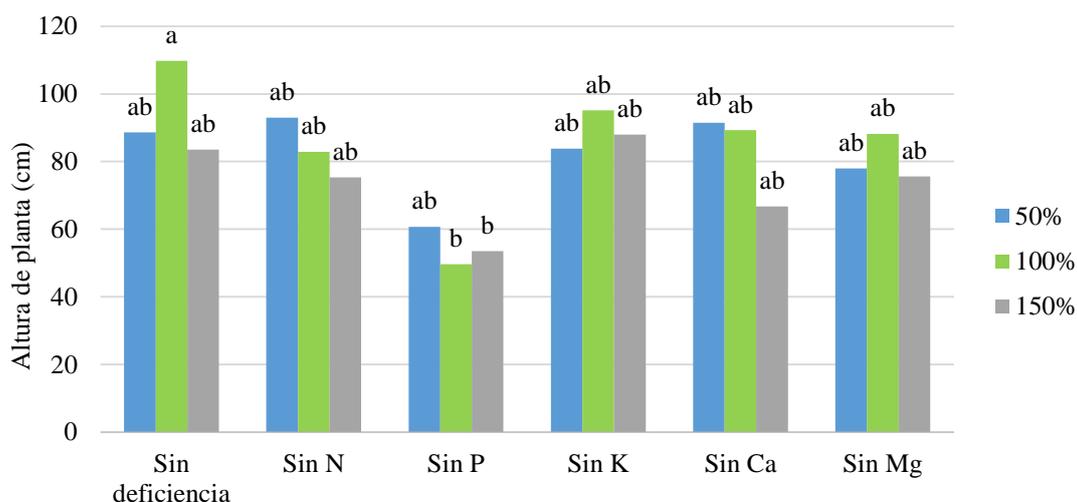


Figura 10: Efecto de la interacción de factores en la altura de planta

4.1.2. Porcentaje de materia seca del follaje y la corona

a) Porcentaje de materia seca foliar

Al efectuar los análisis de varianza para el porcentaje de materia seca foliar, se observa que ninguno presenta diferencias estadísticamente significativas (anexo 12).

Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

En la tabla 13 y figura 11 se muestran la prueba de Tukey a un nivel de confianza del 95 %. Al comparar las medias del testigo absoluto y los demás tratamientos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Se observa que el porcentaje de materia seca del testigo (0 % de solución nutritiva) es de 32,22 % y es superior a seis tratamientos, siendo los menores aquellos con deficiencia de Ca al 50 % (27,64%) y N al 150 % (29,26 %). Mientras que los dos primeros tratamientos con mayor contenido porcentual de materia seca son Sin deficiencia al 50% (44,21 %) y sin N al 100 % (43,25 %).

Tabla 13: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para el porcentaje de materia seca foliar (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	32,22 ^A			
Sin deficiencia		44,21 ^A	35,20 ^A	34,47 ^A
Sin N		29,76 ^A	43,25 ^A	29,26 ^A
Sin P		34,53 ^A	36,92 ^A	32,57 ^A
Sin K		31,99 ^A	32,59 ^A	34,16 ^A
Sin Ca		27,64 ^A	32,37 ^A	30,58 ^A
Sin Mg		32,52 ^A	31,12 ^A	35,94 ^A

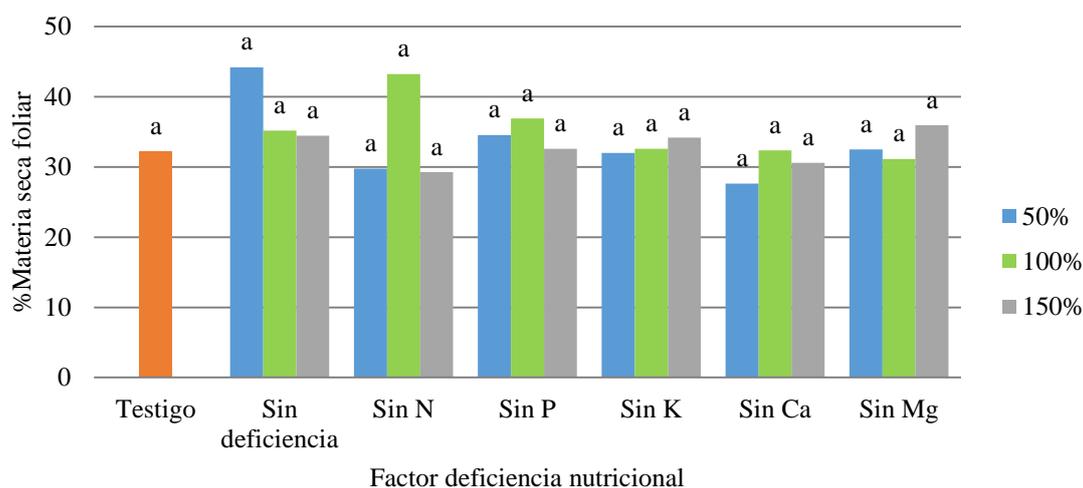


Figura 11: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para el porcentaje de materia seca foliar

Factor deficiencia nutricional

Al realizar las comparaciones para el factor Deficiencia nutricional en la tabla 14 y figura 12 se observa que el mayor porcentaje de peso seco se presenta en los tratamientos sin deficiencia con un valor de 37,96 %, mientras que el más bajo se registra en el tratamiento sin Ca con 30,20 %. Sin embargo, todos los tratamientos son estadísticamente iguales.

Tabla 14: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para el porcentaje de materia seca foliar

Deficiencia nutricional	Materia seca foliar (%)
Sin deficiencia	37,96 ^A
Sin P	34,67 ^A
Sin N	34,09 ^A
Sin Mg	33,19 ^A
Sin K	32,92 ^A
Sin Ca	30,20 ^A

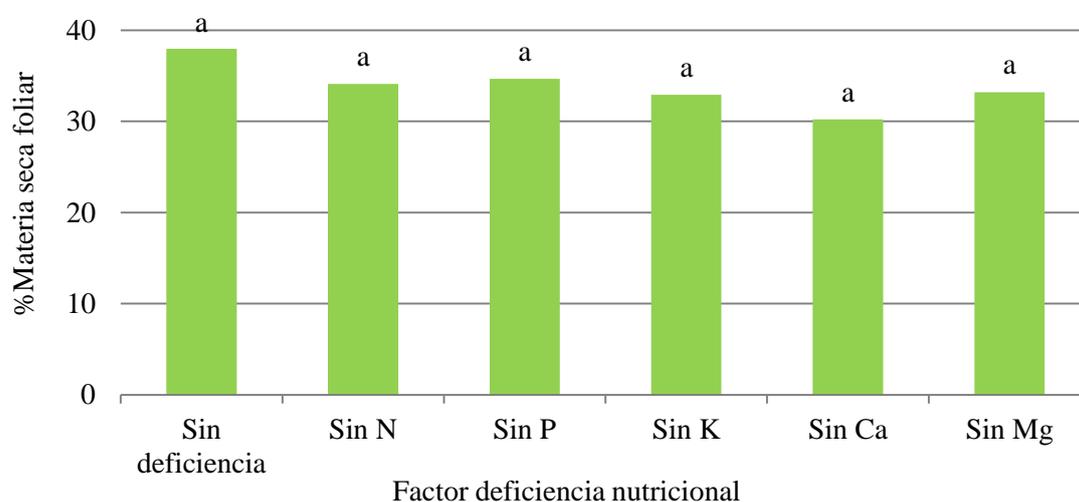


Figura 12: Efecto de la deficiencia nutricional en el porcentaje de materia seca foliar

Factor dosis de solución nutritiva

Las comparaciones para el factor dosis de solución nutritiva se observan en la tabla 15 y figura 13. Se halló que el mayor porcentaje de peso seco se presentó en el tratamiento a dosis de 100 % (53,24 %), mientras que el mejor ocurrió con la dosis al 150 % (32,83 %). Sin embargo, todos los tratamientos son estadísticamente iguales, acorde a los hallado por León *et al.* (2018) quienes hallaron que la dosis de fertilización no tuvo efecto en el rendimiento final del cultivo.

Tabla 15: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para el porcentaje de materia seca foliar

Dosis de solución nutritiva	Materia seca foliar (%)
100%	35,24 ^A
50%	33,44 ^A
150%	32,83 ^A

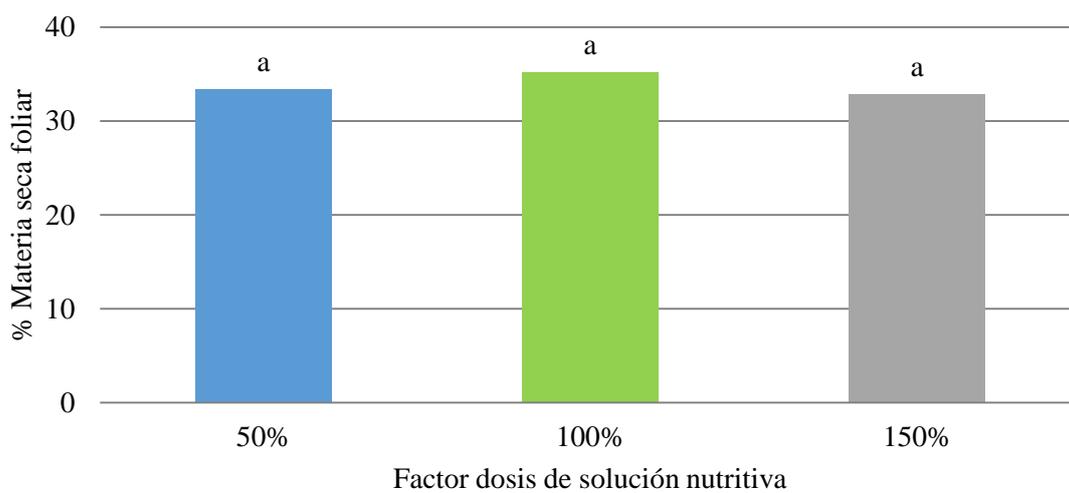


Figura 13: Efecto de la dosis de solución nutritiva en el porcentaje de materia seca foliar

Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

Las comparaciones de interacción de factores (deficiencia nutricional y dosis de solución nutritiva) en la tabla 16 y la figura 14 muestran que el mayor porcentaje del peso seco se presenta en los tratamientos sin deficiencia a dosis de 50 % (37,96 %). Mientras que el más bajo se registra en el tratamiento sin Ca a dosis de 50 % (30,20 %). Sin embargo, todos los tratamientos son estadísticamente iguales.

Tabla 16: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza para la interacción de factores para el porcentaje de materia seca foliar (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	44,21 ^A	35,20 ^A	34,47 ^A
Sin N	29,76 ^A	43,25 ^A	29,26 ^A
Sin P	34,53 ^A	36,92 ^A	32,57 ^A
Sin K	31,99 ^A	32,59 ^A	34,16 ^A
Sin Ca	27,64 ^A	32,37 ^A	30,58 ^A
Sin Mg	32,52 ^A	31,12 ^A	35,94 ^A

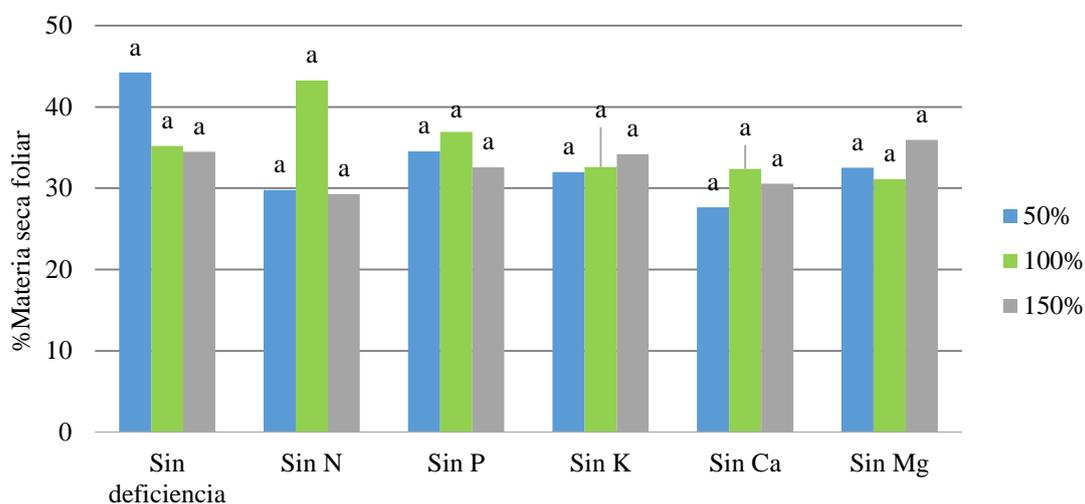


Figura 14: Efecto de la interacción de factores en el porcentaje de materia seca foliar

b. Porcentaje de materia seca de la corona

Al efectuar los análisis de varianza para el porcentaje de materia seca radicular (corona) se observa que existe evidencia estadística significativa para algunas variables evaluadas (anexo 13).

Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

La comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza, entre el testigo absoluto y los demás tratamientos, se presenta en la tabla 17 y figura 15. Se observa que el porcentaje de materia seca más baja se da en el tratamiento sin P a dosis de 150 % con un porcentaje de 17

%, siendo este inferior incluso al testigo absoluto (dosis de 0 %) con un porcentaje de materia seca de 25,23 %, aunque no llegan a ser estadísticamente distintos. Mientras que el mayor porcentaje de materia seca se presenta en el tratamiento sin deficiencia a dosis de 50 % con 34,06 %.

Tabla 17: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para el porcentaje de materia seca de la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	25,23 ^{AB}			
Sin deficiencia		34,06 ^A	31,37 ^{AB}	24,9 ^{AB}
Sin N		27,05 ^{AB}	30,73 ^{AB}	27,88 ^{AB}
Sin P		24,1 ^{AB}	21,76 ^{AB}	17 ^B
Sin K		23,8 ^{AB}	22,37 ^{AB}	25,12 ^{AB}
Sin Ca		25,09 ^{AB}	27,38 ^{AB}	30,04 ^{AB}
Sin Mg		24,75 ^{AB}	24,83 ^{AB}	27,66 ^{AB}

Los resultados indican que el cultivo requiere altas cantidades de fósforo y, tal como menciona Drost (2008), este elemento es necesario para un crecimiento temprano de la planta. Mientras que requiere relativamente en menor grado otros elementos ya que se observan similitudes entre los demás tratamientos con deficiencia y los tratamientos sin deficiencia al 50 % y 100 % de dosis de solución nutritiva. Sin embargo, el tratamiento sin deficiencia al 150 % fue menor al testigo, esto nos induce a pensar en la existencia de antagonismo entre algunos de los elementos a dicha dosis (tabla 17 y figura 15).

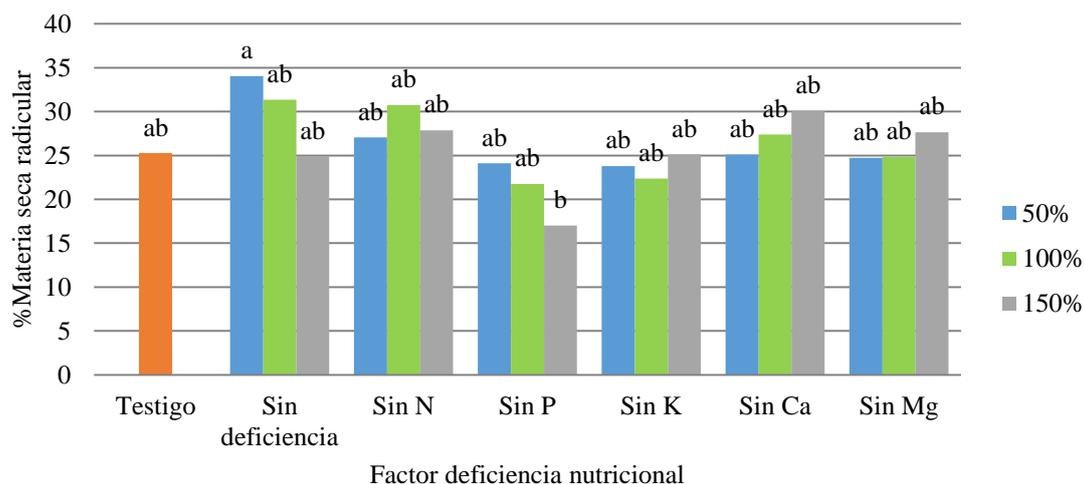


Figura 15: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para el porcentaje de materia seca de la corona

Factor deficiencia nutricional

Al realizar la comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza se observa que existen diferencias significativas entre los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional (tabla 18 y figura 16). Se halló que el mayor porcentaje de materia seca lo tiene el tratamiento sin deficiencia con un valor de 30,11 % y es estadísticamente similar a los tratamientos con deficiencia de N (28,55 %), Ca (27,5 %), Mg (25,75 %) y K (23,76 %). Mientras que el tratamiento sin P fue el de menor porcentaje de materia seca, con un valor de 20,95 %, siendo estadísticamente menor al tratamiento sin deficiencia, pero similar a los demás.

Estas observaciones coinciden con lo documentado por Drost (2008), quien menciona que el fósforo es un elemento importante en la formación de raíces en el espárrago, teniendo influencia directa con la producción de biomasa de las raíces, así como con el rendimiento de los turiones.

Tabla 18: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor Deficiencia nutricional para el porcentaje de materia seca de la corona

Deficiencia nutricional	Materia seca de la corona (%)
Sin deficiencia	30,11 ^A
Sin N	28,55 ^A
Sin Ca	27,5 ^{AB}
Sin Mg	25,75 ^{AB}
Sin K	23,76 ^{AB}
Sin P	20,95 ^B

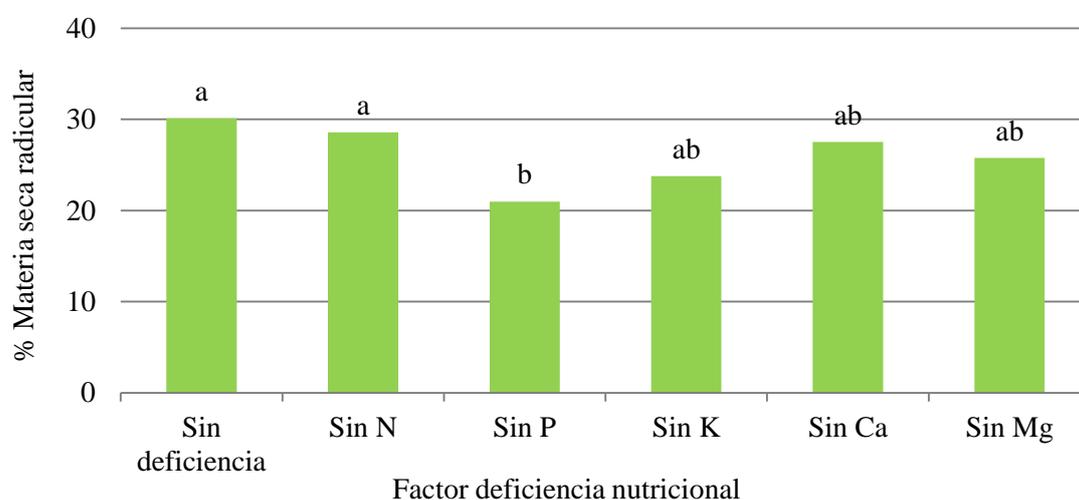


Figura 16: Efecto de la deficiencia nutricional en el porcentaje de materia seca de la corona

Factor dosis de solución nutritiva

Al comparar los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva (tabla 19 y figura 17) se observa que el mayor y menor porcentaje del peso seco se presentan en los tratamientos a dosis de 50 % (26,48 %) y 150 % (25,43 %). Sin embargo, al realizar la prueba de Tukey se observa que ningún tratamiento es estadísticamente distinto al resto.

Aparentemente la cantidad de fertilizante empleado no influyó directamente en el peso seco de las coronas, tal como observaron León *et al.* (2018) al estudiar el efecto de la dosis de fertilización en el rendimiento final del cultivo de espárrago.

Tabla 19: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para el porcentaje de materia seca de la corona

Dosis de solución nutritiva	Materia seca de la corona (%)
50%	26,48 ^A
100%	26,40 ^A
150%	25,43 ^A

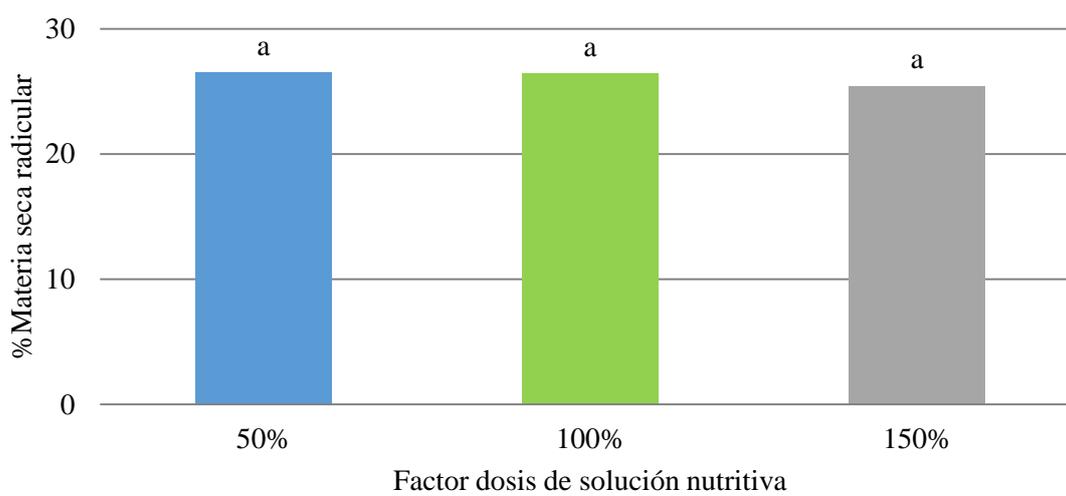


Figura 17: Efecto de la concentración para el porcentaje de materia seca de la corona

Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

En la comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza (tabla 20 y figura 18) se observa que existen diferencias estadísticas significativas en los promedios obtenidos entre la interacción de factores (deficiencia nutricional y dosis de solución nutritiva). El mayor porcentaje de peso seco lo obtiene el tratamiento sin deficiencia a dosis de 50 % (34,06 %). Mientras que el más bajo se registra en el tratamiento sin P al 150 % (17 %). Entre ambos existen diferencias estadísticamente significativas, mientras que entre los demás tratamientos no.

Clore & Stanberry (1946) observaron una interacción positiva entre el N y el P, por lo que la ausencia de este último tendría un impacto negativo en la productividad de la planta. Esto se corrobora con lo registrado durante la presente investigación. Aquellos tratamientos con deficiencia de fósforo presentaron los menores porcentajes de materia seca en la corona en comparación con el resto, principalmente con el tratamiento Sin deficiencia.

Tabla 20: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para el porcentaje de materia seca de la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	34,06 ^A	31,37 ^{AB}	24,9 ^{AB}
Sin N	27,05 ^{AB}	30,73 ^{AB}	27,88 ^{AB}
Sin P	24,1 ^{AB}	21,76 ^{AB}	17 ^B
Sin K	23,8 ^{AB}	22,37 ^{AB}	25,12 ^{AB}
Sin Ca	25,09 ^{AB}	27,38 ^{AB}	30,04 ^{AB}
Sin Mg	24,75 ^{AB}	24,83 ^{AB}	27,66 ^{AB}

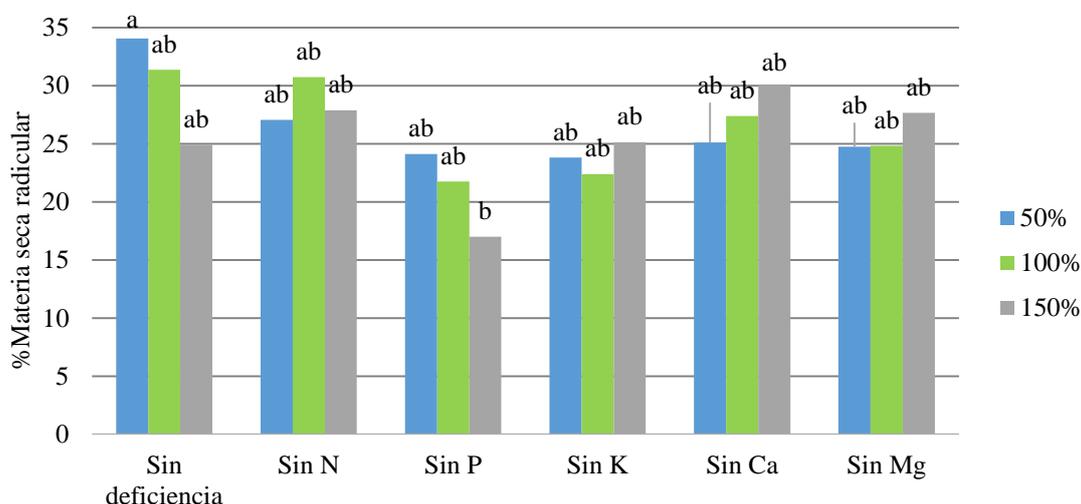


Figura 18: Efecto de la interacción de factores en el porcentaje de materia seca de la corona

4.1.3. Número total de tallos

a) Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Al efectuar el análisis de varianza para el número de tallos (anexo 14) se observa que este resultó significativo al comparar el testigo frente a los demás tratamientos, así como entre los niveles del factor concentración nutricional.

En la comparación de medias de Tukey a un nivel de confianza del 95 % (tabla 21 y figura 19) se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre el testigo

absoluto y los tratamientos Sin deficiencia al 150 % de dosis y Sin K a dosis de 150 %. El testigo absoluto contabiliza el menor número de tallos con un promedio de 3,33; seguido por el tratamiento sin Mg a dosis de 100 % con 3,67. Mientras que los tratamientos con mayor número de tallos fueron Sin K y sin deficiencia ambos a dosis de 150 % registrando ambos un promedio de 12,67 tallos por planta.

El menor número de tallos observado en el testigo absoluto puede estar relacionado a la deficiencia total de elementos frente a los demás, incluso ante aquellos con ausencia de P, los cuales registraron la menor cantidad de tallos.

Tabla 21: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para el número de tallos

Deficiencia nutricional	Concentración de fertilizante			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	3,33 ^B			
Sin deficiencia		6 ^{AB}	9 ^{AB}	12,67 ^A
Sin N		6,33 ^{AB}	7 ^{AB}	10,67 ^{AB}
Sin P		5,67 ^{AB}	5,67 ^{AB}	8,67 ^{AB}
Sin K		7,67 ^{AB}	8 ^{AB}	12,67 ^A
Sin Ca		11,33 ^{AB}	8 ^{AB}	6,67 ^{AB}
Sin Mg		10,33 ^{AB}	3,67 ^B	10,33 ^{AB}

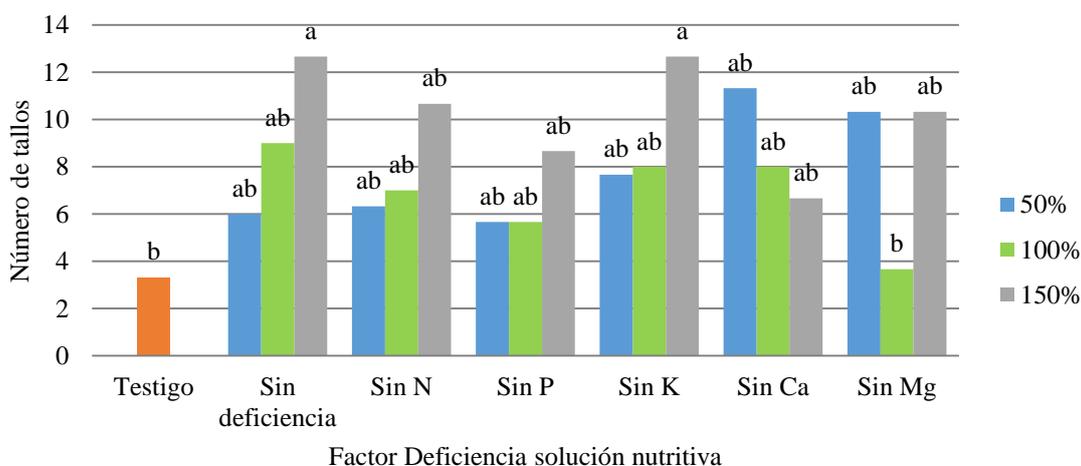


Figura 19: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para el número de tallos

b) Factor deficiencia nutricional

Al realizar la comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza para el factor deficiencia nutricional (tabla 22 y gráfico 20) se observa que los tratamientos sin K y sin deficiencia obtuvieron mayor número de tallos con 9,44 y 9,22, respectivamente. Mientras que el de menor número de tallos presenta el tratamiento sin P con 6,67. Sin embargo, no son estadísticamente diferentes. Según Clore & Stanberry (1946) las fuentes fosfatadas son indispensables en espárrago, por lo que su ausencia tendría un impacto negativo significativo en su productividad expresada en el número de tallos por planta.

Tabla 22: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para el número de tallos

Deficiencia nutricional	Número de tallos
Sin K	9,44 ^A
Sin deficiencia	9,22 ^A
Sin Ca	8,67 ^A
Sin Mg	8,11 ^A
Sin N	8 ^A
Sin P	6,67 ^A

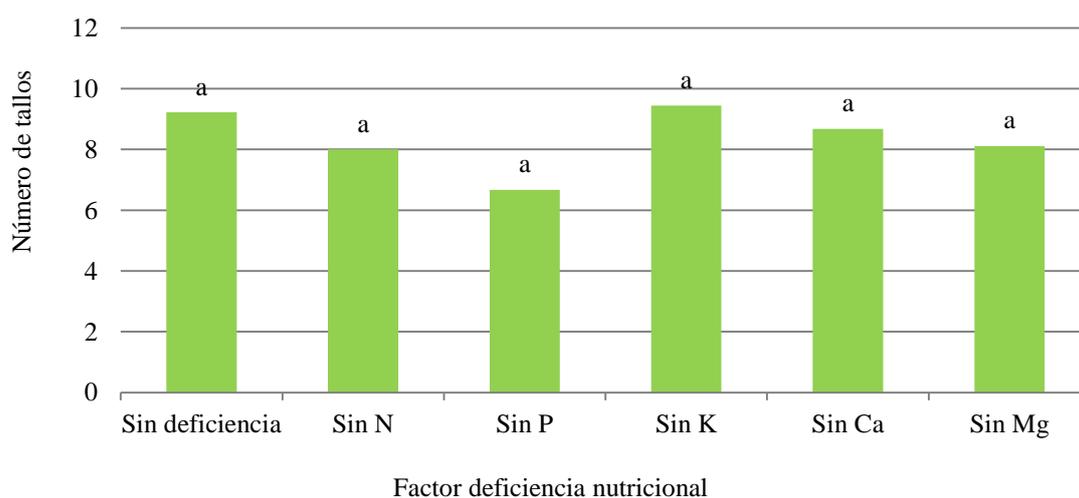


Figura 20: Efecto de la deficiencia nutricional en el número de tallos

c) Factor dosis de solución nutritiva

Al realizar la comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza para el factor dosis de solución nutritiva (tabla 23 y figura 21) se observa que a una dosis de 150 % se presenta un mayor número de tallos (10,28) y es estadísticamente distinto al resto. Mientras que a dosis de 50 % la contabilidad promedio de tallos fue de 7,89 y al 100 % de fertilizante el número promedio de tallos por planta fue de 6,89. Ambos son estadísticamente similares entre sí. Benson (1990) refiere que al fertilizar con concentraciones bajas de P y N se presenta un menor número de brotes nuevos y, por consiguiente, menor número de tallos. Sin embargo, León *et al.* (2018) hallaron que la dosis de fertilización no tuvo efecto en el rendimiento final.

Tabla 23: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para el número de tallos

Dosis de solución nutritiva	Número de tallos
150%	10,28 ^A
50%	7,89 ^B
100%	6,89 ^B

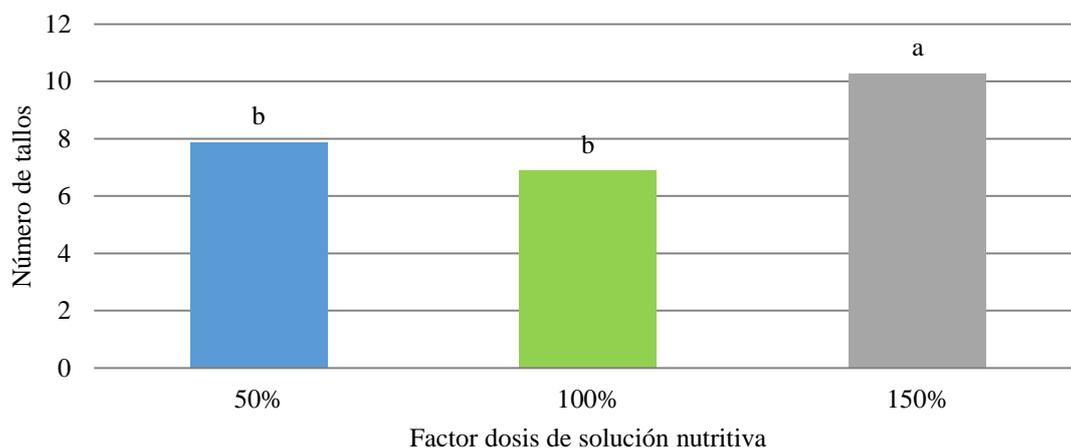


Figura 21: Efecto de la dosis de solución nutritiva en el número de tallos

d) Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

La comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza para la interacción de factores deficiencia nutricional y dosis de solución nutritiva se muestra en la tabla 24 y la figura 22.

Se observa que los tratamientos con mayor número de tallos fueron sin K y sin deficiencia a dosis de 150 %, ambos con un valor de 12,67, siendo los dos estadísticamente similares al resto excepto a al tratamiento sin Mg a dosis del 100 % de fertilizante, el cual registró un promedio de 3,67 tallos por planta.

Se puede notar que existe interacción entre la deficiencia y las distintas dosis de solución nutritiva en los tratamientos sin deficiencia, sin N, sin P y sin K. Tal como lo menciona Clore & Stanberry (1946), un bajo suministro de fósforo en el espárrago tiene impacto en el rendimiento.

A medida que la dosis se incrementó lo hizo la contabilidad del número de tallos. Dicho efecto no se observó en el tratamiento sin Ca que incluso fue opuesto; mientras que en aquel con deficiencia de Mg no hubo una tendencia clara. Feller & Müller (2018) hacen referencia a la deformación y muerte de los brotes jóvenes antes de la apertura en plantas con deficiencia de Ca. Es probable que dichos síntomas se hayan ido acentuando conforme el suministro del resto de elementos aumentó frente a una situación de deficiencia de Ca.

Tabla 24: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para el número de tallos

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	6 ^{AB}	9 ^{AB}	12,67 ^A
Sin N	6,33 ^{AB}	7 ^{AB}	10,67 ^{AB}
Sin P	5,67 ^{AB}	5,67 ^{AB}	8,67 ^{AB}
Sin K	7,67 ^{AB}	8 ^{AB}	12,67 ^A
Sin Ca	11,33 ^{AB}	8 ^{AB}	6,67 ^{AB}
Sin Mg	10,33 ^{AB}	3,67 ^B	10,33 ^{AB}

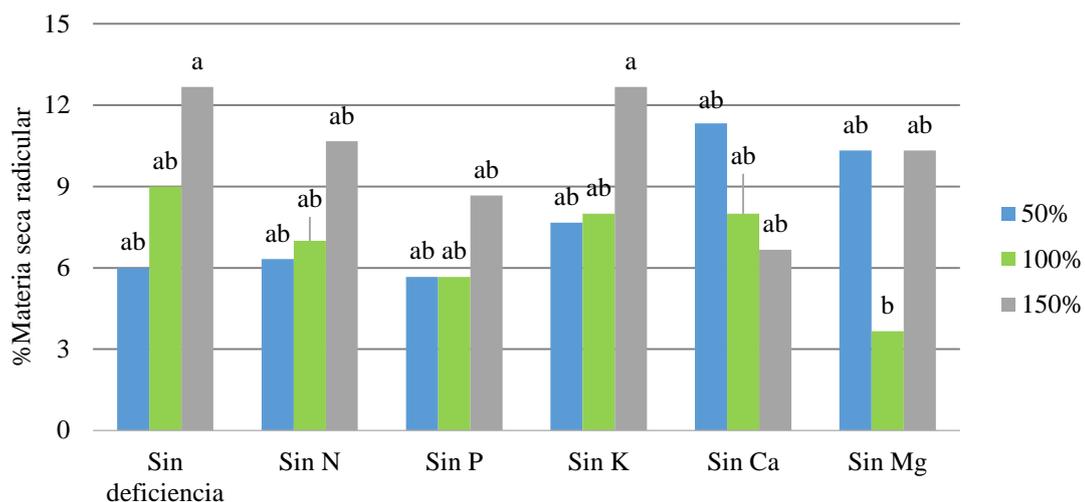


Figura 22: Efecto de la interacción de factores en el número de tallos

4.2. Concentración de nutrientes en el follaje y la corona de espárrago empleando la metodología del elemento faltante

4.2.1. Nitrógeno

El análisis de varianza de la concentración de nitrógeno en la parte foliar y radicular mostró diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, en la parte aérea solo algunos tratamientos muestran significancia, mientras que en la corona todos los factores evaluados evidencian diferencias significativas. Para cada uno de ellos se efectuaron dos análisis de varianza los cuales se resumen en los anexos 14 y 15.

a) Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Follaje

En la Tabla 25 y Figura 23 se muestra la comparación de medias de Tukey al 95% de confianza para el follaje. Se observa que no hay diferencia estadística significativa entre el testigo absoluto y los demás tratamientos evaluados. Sin embargo, el tratamiento que obtuvo menor concentración es Sin N (1,4%) seguido por el testigo absoluto (1,61%). Mientras que la concentración más alta la obtuvo Sin K (2,94%).

Si bien hubo un aporte de N en el agua de riego (Anexo 2), este no fue suficiente para que el testigo absoluto mostrara diferencias significativas con los demás tratamientos.

A pesar de no observarse diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo a lo registrado por Benton *et al.* (1991), únicamente los tratamientos Sin K al 50% de dosis de solución nutritiva, Sin P al 150% y Sin deficiencia a dosis de 50% y 100% mostraron concentraciones suficientes de nitrógeno en el follaje (2,5% a 4%). Mientras que los demás tratamientos mostraron concentraciones de nitrógeno en el follaje por debajo de valores suficientes (menores a 2,49%).

Tabla 25: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de N en el follaje (%)

Deficiencia	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	1,61 ^A			
Sin deficiencia		2,60 ^A	2,5 ^A	2,2 ^A
Sin N		1,67 ^A	2,05 ^A	1,4 ^A
Sin P		2,43 ^A	2,28 ^A	2,7 ^A
Sin K		2,94 ^A	1,87 ^A	2,05 ^A
Sin Ca		1,84 ^A	2,43 ^A	1,68 ^A
Sin Mg		2,24 ^A	2,24 ^A	2,15 ^A

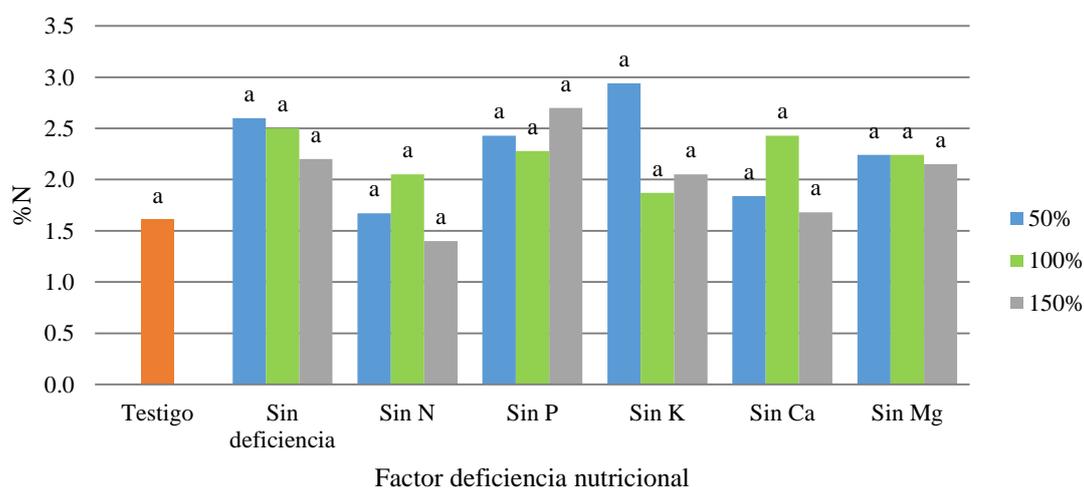


Figura 23: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de N en el follaje

Corona

En la tabla 26 y la figura 24 se muestra la comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza para la corona. Se observa que la mayor concentración de nitrógeno se dio en el tratamiento sin K a dosis del 100 % con un valor de 1,87 %. Mientras que la concentración más baja fue registrada en el tratamiento sin N al 100 % (0,37 %), el testigo absoluto (0,4 %) y el tratamiento sin Ca al 50 % (0,44 %). Sin embargo, a pesar de los distintos valores, solo el tratamiento sin K a dosis del 100 % destacó en cuanto a su significancia frente a los demás aun cuando fue estadísticamente similar a los tratamientos sin deficiencia al 150 %, sin P al 100%, sin Ca al 150 %, sin Mg al 150 % y sin K al 150 %.

La baja concentración de N en los distintos niveles del tratamiento sin N y el testigo absoluto en la corona se corresponde con lo esperado. Al igual que en el caso del follaje, el aporte de N del agua es mínimo.

Tabla 26: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de N en la corona (%)

Deficiencia Nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	0,4 ^B			
Sin deficiencia		0,78 ^B	0,77 ^B	1,31 ^{AB}
Sin N		0,52 ^B	0,37 ^B	0,55 ^B
Sin P		0,84 ^B	1,23 ^{AB}	0,85 ^B
Sin K		0,61 ^B	1,87 ^A	1,03 ^{AB}
Sin Ca		0,44 ^B	0,73 ^B	1,12 ^{AB}
Sin Mg		0,80 ^B	0,65 ^B	1,12 ^{AB}

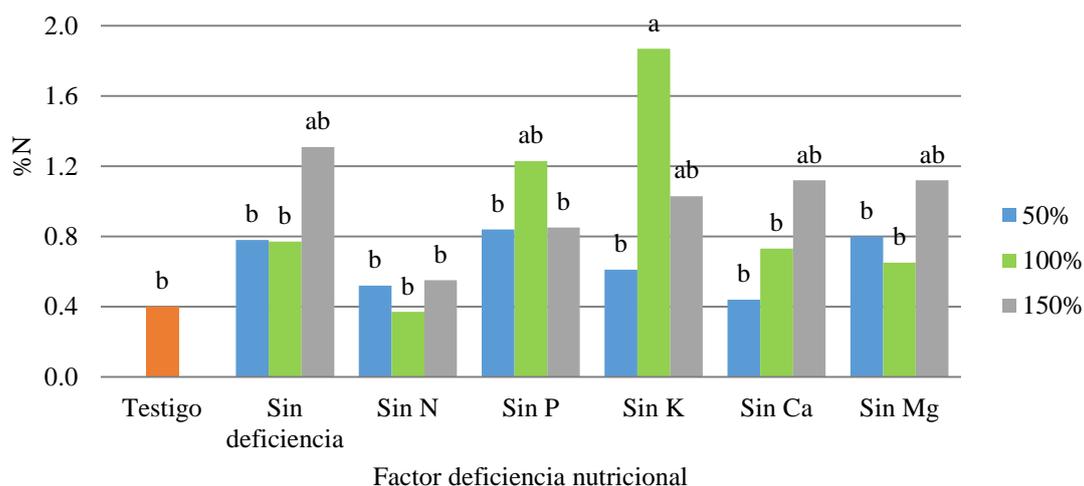


Figura 24: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de N en la corona

b) Comparación entre los distintos niveles del factor deficiencia nutricional

Al realizar las comparaciones de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la parte aérea y la corona se observó que la mayor concentración de N en el follaje se dio en los tratamientos sin P, sin K y sin deficiencia. Si bien los porcentajes variaron y las significancias también los tres mostraron mayor contenido en general.

Follaje

Para el follaje, el tratamiento Sin P registró una media de 2,47% de N y fue estadísticamente mayor al tratamiento Sin N el cual registró en promedio 1,71% de N. El resto de tratamientos fue estadísticamente similar a ambos. (Tabla 27 y Figura 25).

De acuerdo a lo observado por Benton *et al.* (1991) las concentraciones de nitrógeno en todos los tratamientos fueron bajas. Sin embargo, puede deducirse que la ausencia de P o de K no influyó negativamente en la concentración de N en el follaje. Feller & Müller (2018) observaron que ninguna carencia de nutrientes tuvo efecto en la concentración de N en el follaje.

Tabla 27: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de N en el follaje

Deficiencia nutricional	Concentración de N en el follaje (%)
Sin P	2,47 ^A
Sin deficiencia	2,43 ^{AB}
Sin K	2,29 ^{AB}
Sin Mg	2,21 ^{AB}
Sin Ca	1,98 ^{AB}
Sin N	1,71 ^B

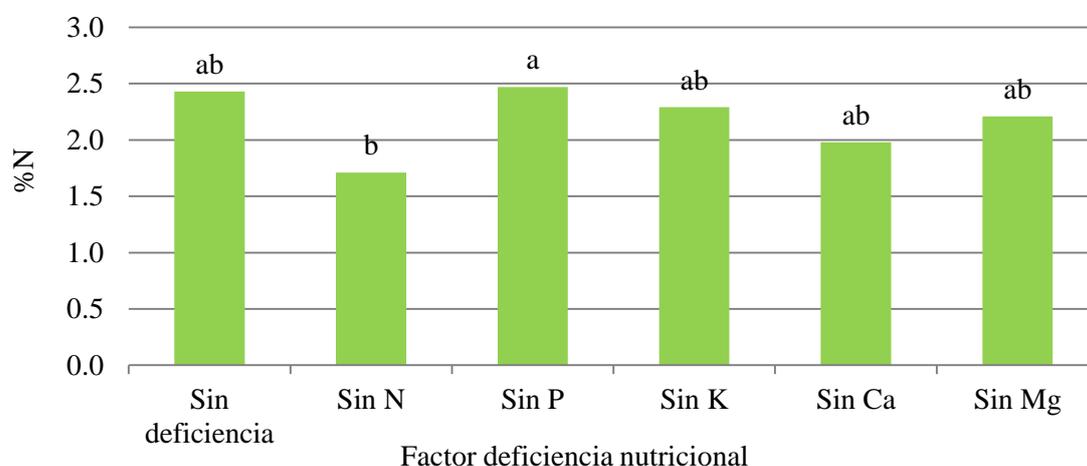


Figura 25: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de N en el follaje

Corona

En cuanto a la corona, el tratamiento sin K fue el registró la mayor media (1,17 %), seguido por los tratamientos sin P y sin deficiencia, ambos con una media de 0,97% y 0,95% de concentración de N, respectivamente. Entre los tres no hubo diferencias estadísticamente significativas, mientras que con el tratamiento sin N sí lo hubo (0,48 %). Los tratamientos sin Mg y sin Ca fueron estadísticamente iguales a todos los demás (tabla 28 y figura 26).

La mayor y menor concentración de N en el follaje y la corona guardan relación con los resultados de la cosecha foliar. Así mismo, si bien las fuentes de N fueron diversas dada la variedad de fertilizantes empleados, la cantidad asimilada por las raíces no fue suficiente como para igualar estadísticamente a los tratamientos sin deficiencia, sin P y sin K. Se

evidencia la importancia del N en el desarrollo de los distintos órganos de la planta, así como su mayor concentración en el follaje que en la corona, tal como observaron Pitman *et al.* (2011), quienes hallaron que al aumentar las dosis de N se observaba un aumento de la concentración de dicho elemento en el follaje.

Tabla 28: Prueba de comparación de medias de Tukey del factor deficiencia nutricional para la concentración N en la corona

Deficiencia Nutricional	Concentración de N en la corona (%)
Sin K	1,17 ^A
Sin P	0,97 ^A
Sin deficiencia	0,95 ^A
Sin Mg	0,86 ^{AB}
Sin Ca	0,76 ^{AB}
Sin N	0,48 ^B

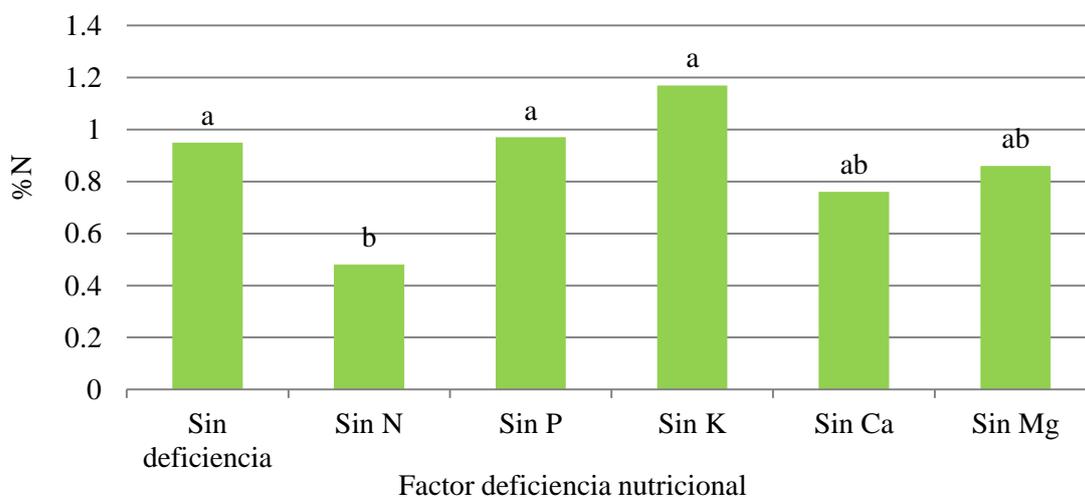


Figura 26: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de N en la corona

c) Comparación entre los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva

Follaje

Al realizar las comparaciones de Tukey al 95% de confianza para el factor dosis de solución nutritiva, se observa que las medias de los tratamientos para la parte aérea son estadísticamente similares entre sí (Tablas 29 y Figura 27). Según lo observado por Benton

et al. (1991), todas las dosis de solución nutritiva registraron concentraciones promedio de N en el follaje por debajo de valores suficientes. Krarup *et al.* (2002) observaron que no hace falta incrementar la dosis de N para mantener una buena producción de follaje en el espárrago.

Tabla 29: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de N en el follaje

Dosis de solución nutritiva	Concentración de N en el follaje (%)
50%	2,29 ^A
100%	2,23 ^A
150%	2,03 ^A

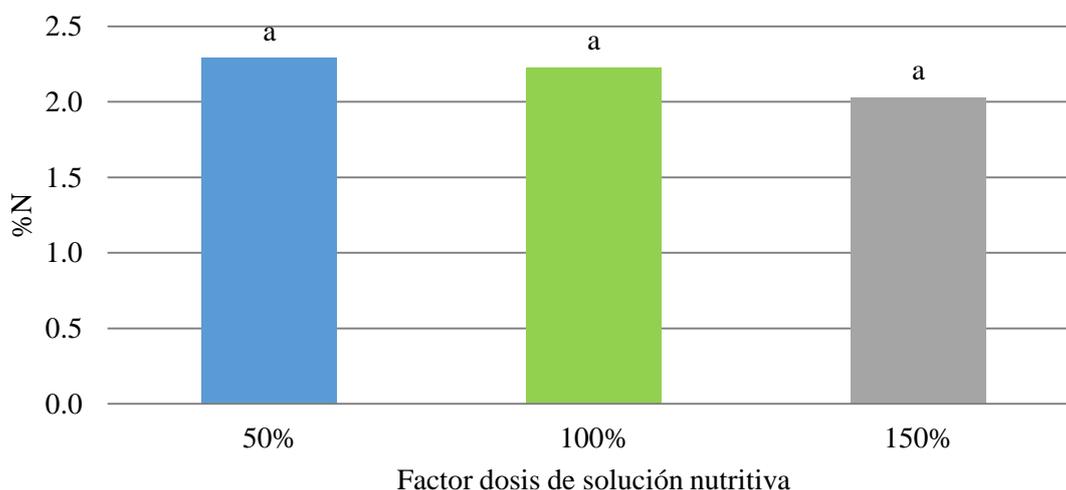


Figura 27: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de N en el follaje

Corona

Los tratamientos a dosis de 150 % y 100 % de fertilizante fueron los que registraron una mayor concentración de N en la corona (1,00 y 0,94 % respectivamente), y fueron estadísticamente mayores a lo registrado por el tratamiento a dosis de 50 %, el cual contabilizó un valor de 0,67 % de N (tabla 30 y figura 28). Un mayor contenido de nitrógeno se ve reflejado en una mayor producción de biomasa foliar y una mayor traslocación de fotosintatos a la corona (Sanders, 1999; Loli & Vega, 2012).

Tabla 30: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de N en la corona

Dosis de solución nutritiva	Concentración de N en la corona (%)
150%	1,00 ^A
100%	0,94 ^A
50%	0,67 ^B

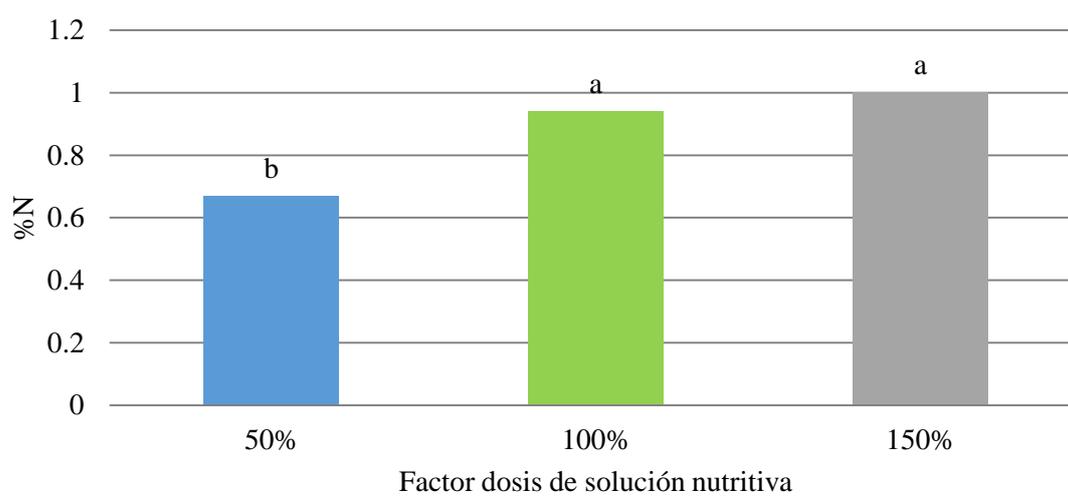


Figura 28: Efecto de la dosis de solución nutritiva para la concentración de N en la corona

d) Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

Follaje

Al realizar las comparaciones de Tukey al 95% de confianza para la interacción de factores (deficiencia nutricional y dosis de solución nutritiva) se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en la parte aérea (Tabla 31 y Figura 29).

Si bien al evaluar el efecto de la ausencia de N únicamente en el factor deficiencia nutricional se observó que este se expresaba en una menor concentración de dicho elemento en el follaje, esta situación no se vio reflejada al evaluar su interacción con la dosis de solución nutritiva. Probablemente este caso puede deberse al bajo número de repeticiones para cada interacción.

Según Benton *et al.* (1991), solo los tratamientos Sin K al 50% de dosis de solución nutritiva, Sin P al 150% y Sin deficiencia a dosis de 50% y 100% mostraron concentraciones suficientes de nitrógeno en el follaje (2,5% a 4% según los autores). Mientras que los demás tratamientos mostraron concentraciones de nitrógeno en el follaje por debajo de valores suficientes (menores a 2,49%).

Tabla 31: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de N en el follaje (%)

Deficiencia Nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	2,6 ^A	2,5 ^A	2,2 ^A
Sin N	1,67 ^A	2,05 ^A	1,4 ^A
Sin P	2,43 ^A	2,28 ^A	2,7 ^A
Sin K	2,94 ^A	1,87 ^A	2,05 ^A
Sin Ca	1,84 ^A	2,43 ^A	1,68 ^A
Sin Mg	2,24 ^A	2,24 ^A	2,15 ^A

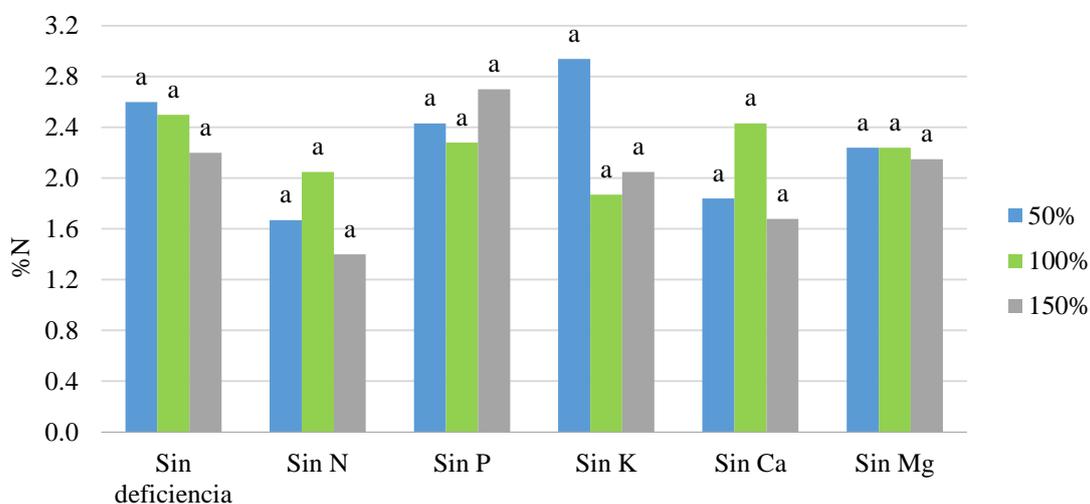


Figura 29: Efecto de las interacciones factores en la concentración de N en el follaje

Corona

En la corona, el tratamiento sin K y a dosis del 100 % de fertilizante presentó la mayor concentración de N (1,87 %), destacando del resto a pesar de ser estadísticamente similar a los tratamientos sin deficiencia al 150 % (1,31 %), sin P al 100 % (1,23%), sin Ca al 150 %

(1,12%), sin Mg al 150 % (1,12 %) y sin K al 150%. Mientras que el menor registro se dio con el tratamiento sin N y a dosis del 100 % con un valor de 0,37% (tabla 32 y figura 30).

Las fuentes de fertilizantes empleadas dieron un aporte de nitrógeno adicional aún en el tratamiento con deficiencia del mismo. A pesar de ello, las interacciones entre el factor deficiencia de nitrógeno y las tres dosis de solución nutritiva mostraron los menores valores en comparación con el resto.

Es probable que lo observado en el tratamiento con deficiencia de K a dosis de 100 % sea producto de la dispersión de los datos a causa de las pocas repeticiones empleadas.

Tabla 32: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de N en la corona (%)

Deficiencia Nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	0,78 ^B	0,77 ^B	1,31 ^{AB}
Sin N	0,52 ^B	0,37 ^B	0,55 ^B
Sin P	0,84 ^B	1,23 ^{AB}	0,85 ^B
Sin K	0,61 ^B	1,87 ^A	1,03 ^{AB}
Sin Ca	0,44 ^B	0,73 ^B	1,12 ^{AB}
Sin Mg	0,8 ^B	0,65 ^B	1,12 ^{AB}

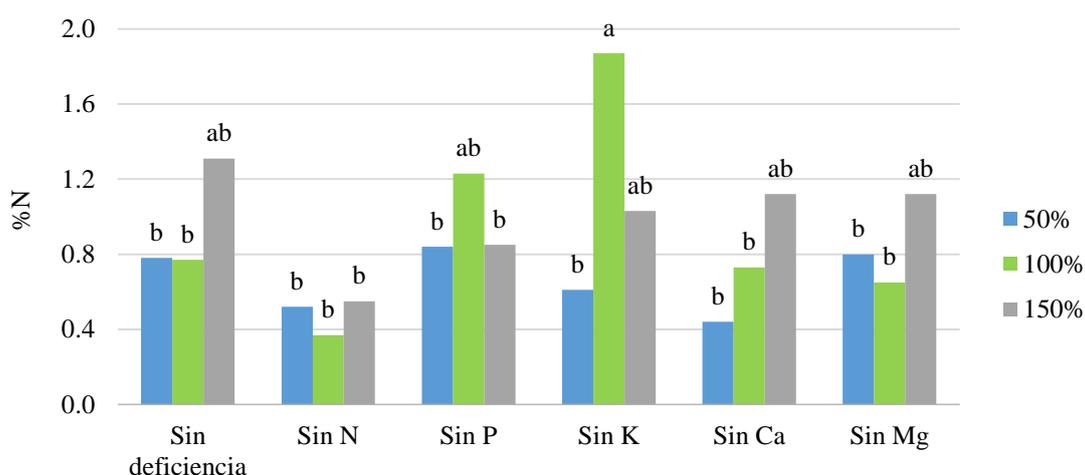


Figura 30: Efecto de las interacciones factores en la concentración de N en la corona

4.2.2. Fósforo

a) Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

En el análisis de varianza para la extracción de fósforo se observó que solo algunos tratamientos muestran diferencias estadísticamente significativas en la corona. Mientras que el tejido foliar no muestra significancia entre tratamientos. Para cada uno de ellos se efectuaron dos análisis, ambos se resumen en un solo cuadro en los anexos 16 y 17.

Follaje

Al comparar el testigo absoluto (0,08 %) frente a los demás tratamientos se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas con ningún otro tratamiento en cuanto a la concentración de P en el follaje.

Sin embargo, el tratamiento sin deficiencia a dosis de 50 % fue el que registró la mayor concentración de P en las hojas, al igual que el de sin Ca a dosis de 100 % (ambos 0,1 % de P). Mientras que quien registró la menor concentración de P fue el correspondiente al tratamiento con deficiencia de dicho elemento a dosis de 100 %, con un valor de 0,03 % en el follaje (tabla 33 y figura 31).

Tabla 33: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de P en el follaje (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	0,08 ^A			
Sin deficiencia		0,1 ^A	0,08 ^A	0,07 ^A
Sin N		0,05 ^A	0,04 ^A	0,08 ^A
Sin P		0,04 ^A	0,03 ^A	0,06 ^A
Sin K		0,08 ^A	0,08 ^A	0,07 ^A
Sin Ca		0,06 ^A	0,1 ^A	0,05 ^A
Sin Mg		0,06 ^A	0,04 ^A	0,04 ^A

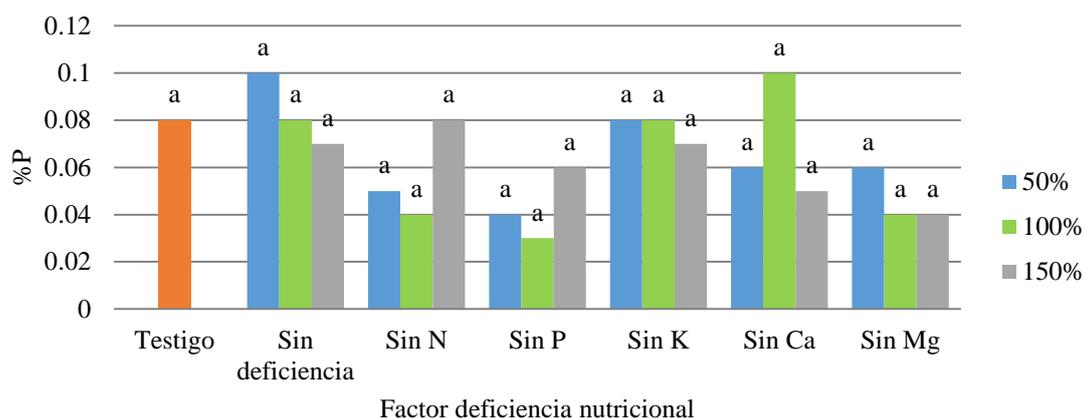


Figura 31: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de P en el follaje

Corona

En cuanto a la corona, el testigo absoluto tampoco mostró diferencias estadísticamente significativas con ninguno de los tratamientos. Sin embargo, sí se observó que el tratamiento sin deficiencia a dosis de 150 % fue quien registró la mayor concentración de P, con un valor de 0,06 %, siendo estadísticamente mayor al tratamiento sin P a dosis del 50 % (0,01 %), mas no así con los demás tratamientos a pesar de registrar distintos porcentajes (tabla 34 y figura 32). Es probable que este resultado se haya visto afectado por el bajo número de repeticiones.

Tabla 34: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de P en la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	0,02 ^{AB}			
Sin deficiencia		0,03 ^{AB}	0,04 ^{AB}	0,06 ^A
Sin N		0,03 ^{AB}	0,04 ^{AB}	0,03 ^{AB}
Sin P		0,01 ^B	0,02 ^{AB}	0,01 ^{AB}
Sin K		0,03 ^{AB}	0,06 ^{AB}	0,06 ^{AB}
Sin Ca		0,03 ^{AB}	0,02 ^{AB}	0,02 ^{AB}
Sin Mg		0,02 ^{AB}	0,04 ^{AB}	0,03 ^{AB}

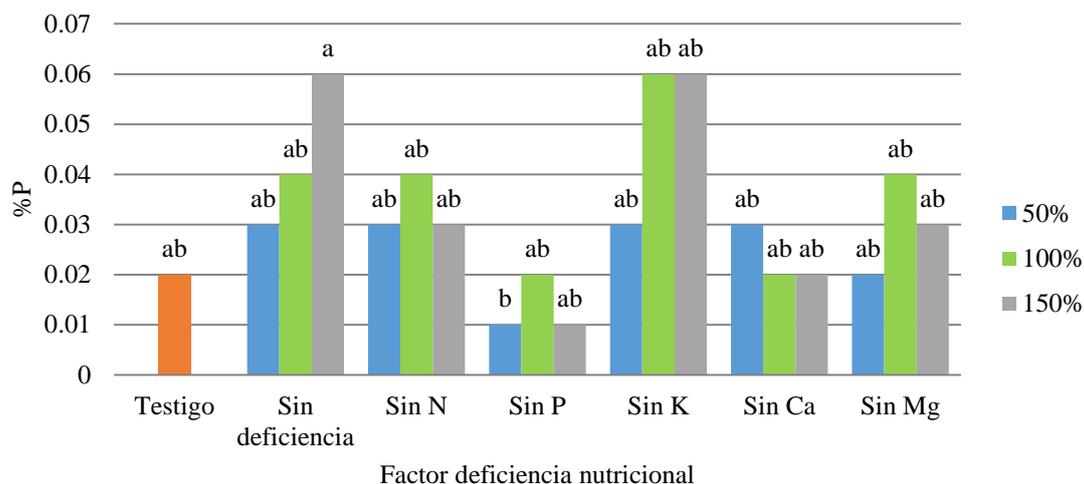


Figura 32: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de P en la corona

b) Comparación entre los distintos niveles del factor deficiencia nutricional

Follaje

Al realizar la prueba de comparaciones de Tukey para la cosecha de la parte aérea al 95 % de confianza para el factor deficiencia nutricional (tabla 35 y figura 33) se observó que el tratamiento Sin deficiencia obtuvo el mayor porcentaje de P en follaje con un valor promedio de 0,08 %; mientras que, tal como se esperaba, el tratamiento con deficiencia de P fue quien mostró la menor concentración promedio de P en follaje (0,04 %). Sin embargo, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tratamientos. Aun así, esta observación se corresponde con la tendencia hallada en la evaluación de la altura de planta y el número de tallos, donde el tratamiento con deficiencia de P fue el que presentó los menores valores a pesar de no ser estadísticamente distinto.

Si bien estadísticamente no hubo diferencias, se puede observar una tendencia hacia lo observado por Clore & Stanberry (1946) y Hartmann *et al.* (1990), quienes hallaron una relación positiva entre el N y el P. Los resultados muestran que, en los tratamientos con deficiencia de N y P, la concentración de P fue menor en ambos casos.

Tabla 35: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de P en el follaje

Deficiencia nutricional	Concentración de P en el follaje (%)
Sin deficiencia	0,08 ^A
Sin K	0,08 ^A
Sin Ca	0,07 ^A
Sin N	0,06 ^A
Sin Mg	0,05 ^A
Sin P	0,04 ^A

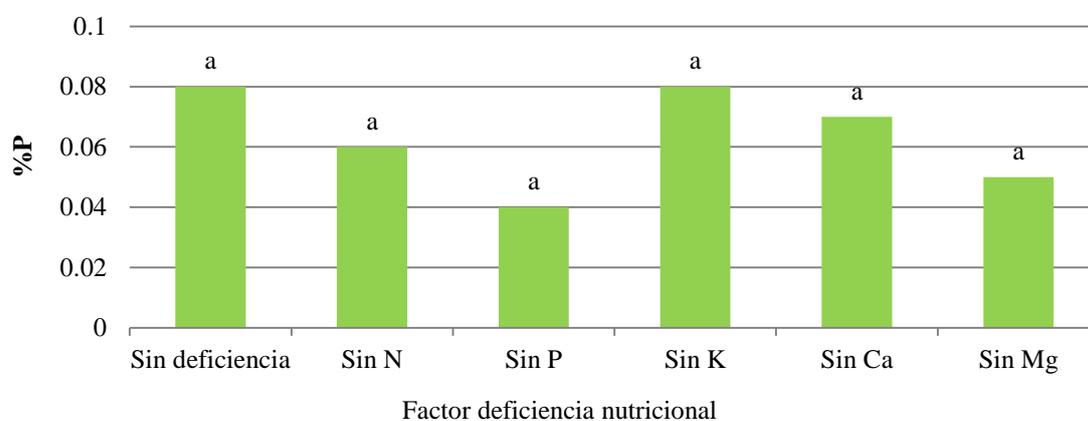


Figura 33: Efecto del factor deficiencia nutricional en la concentración de P en el follaje

Corona

Para el caso de la corona, el tratamiento con deficiencia de K fue el que registró el mayor porcentaje promedio con un valor de 0,05 %, seguido por el tratamiento sin deficiencia, con un promedio de 0,04 % de concentración de nitrógeno. Ambos tratamientos fueron estadísticamente iguales entre sí, y mayores al tratamiento con deficiencia de P. Este último fue el que registró la menor concentración promedio con un valor de 0,01 %. Los tratamientos con deficiencia de N, Mg y Ca fueron estadísticamente iguales a todos los demás (tabla 36 y figura 34).

Drost (2008) menciona que una fertilización elevada con fósforo tiene un efecto positivo en la biomasa de las raíces, por lo que lo observado corrobora la importancia de este elemento

en la formación de la corona. Esta situación guarda relación con el bajo contenido porcentual de materia seca observado para el tratamiento con deficiencia de P (tabla 18 y figura 16).

Tabla 36: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de P en la corona

Deficiencia nutricional	Concentración de P en la corona (%)
Sin K	0,05 ^A
Sin deficiencia	0,04 ^A
Sin N	0,03 ^{AB}
Sin Mg	0,03 ^{AB}
Sin Ca	0,02 ^{AB}
Sin P	0,01 ^B

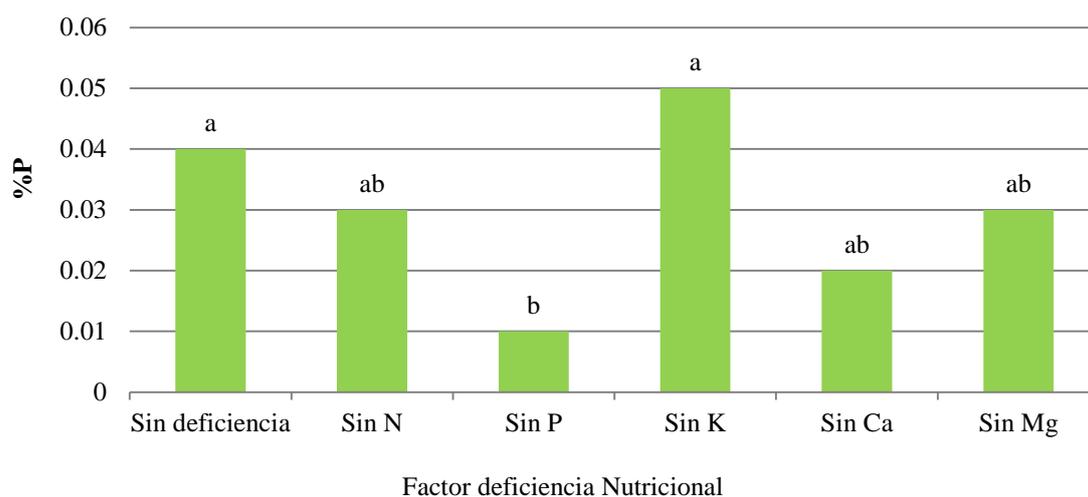


Figura 34: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de P en la corona

c) Comparación entre los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva

Follaje

En la tabla 37 y figura 35 se muestran los resultados de la evaluación del factor dosis de solución nutritiva en el follaje. Se observa que a una dosis de 150 % de solución nutritiva se obtiene la mayor extracción de P, frente a las dosis de 50 % y 100 %. Sin embargo, estadísticamente no fueron diferente ninguno frente al otro. Drost (2008) hace referencia que el incremento de la dosis de fósforo repercute mínimamente en el incremento de la

producción lo cual es probable se haya reflejado en la concentración de dicho elemento en el follaje.

Tabla 37: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de P en el follaje

Dosis de solución nutritiva	Concentración de P en el follaje (%)
50	0,06 ^A
150	0,06 ^A
100	0,06 ^A

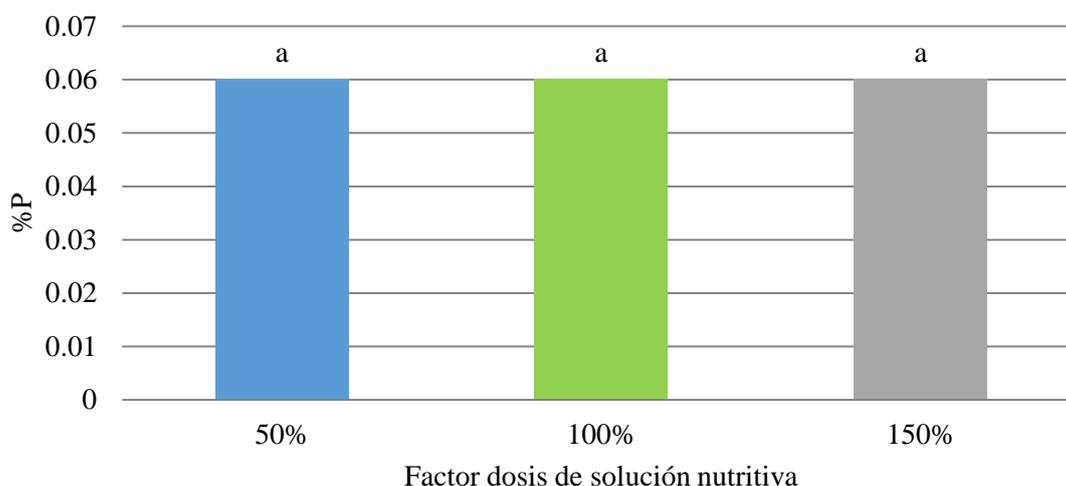


Figura 35: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de P en el follaje

Corona

Al igual que en el follaje, en la corona no se observaron diferencias estadísticas entre ninguno de los tratamientos evaluados. Sin embargo, se nota que la dosis de 150 % de fertilizante fue la que registró la mayor concentración promedio de P (0,04 %) (tabla 38 y figura 36).

Según lo mencionado por Fisher & Benson (1983), Hartmann *et al.* (1990) y Drost (2008) el incremento de las dosis de P en el espárrago tiene un efecto positivo en el rendimiento. Si bien no hubo significancia en la diferencia entre las concentraciones promedio de P en la corona, se aprecia una mayor concentración de este elemento en las dosis de 100 % y 150 %.

Tabla 38: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de P en la corona

Dosis de solución nutritiva	Concentración de P en la corona (%)
150	0,04 ^A
100	0,04 ^A
50	0,03 ^A

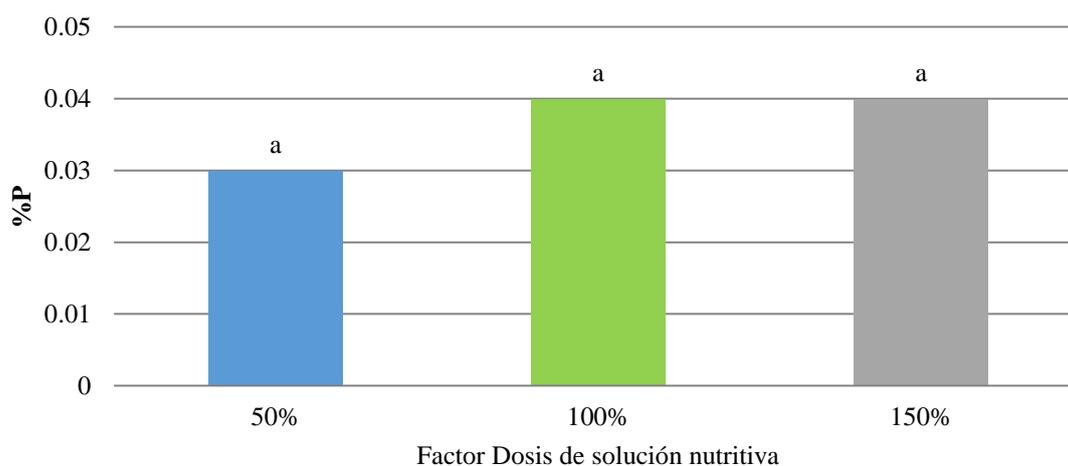


Figura 36: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de P en la corona

d) Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

Foliar

No se observan diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las interacciones de los factores deficiencia nutricional y dosis de solución nutritiva (tabla 39 y figura 37). Sin embargo, se puede observar que la menor concentración de P foliar se registró en el tratamiento sin P a dosis de 100 %.

A pesar de la ausencia de significancia, coincide con lo hallado en la evaluación de la altura de planta, pues las interacciones que registraron los menores promedios fueron aquellas con deficiencia de P. De igual forma, con lo observado por Clore & Stranberry (1946) y Hartmann *et al.* (1990) ya que los menores promedios en la concentración de P se dieron en los tratamientos con deficiencia de N y P, evidenciando la interacción entre ambos elementos. Sin embargo, Valdivia *et al.* (2011) hallaron que, para bajo condiciones de campo en la costa peruana, la interacción de N y P no fue significativa frente a un incremento de las

dosis empleadas, lo que apoyaría la ausencia de significancia observada en la presente investigación.

Tabla 39: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de P en el follaje (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	0,1 ^A	0,08 ^A	0,07 ^A
Sin N	0,05 ^A	0,04 ^A	0,08 ^A
Sin P	0,04 ^A	0,03 ^A	0,06 ^A
Sin K	0,08 ^A	0,08 ^A	0,07 ^A
Sin Ca	0,06 ^A	0,1 ^A	0,05 ^A
Sin Mg	0,06 ^A	0,04 ^A	0,04 ^A

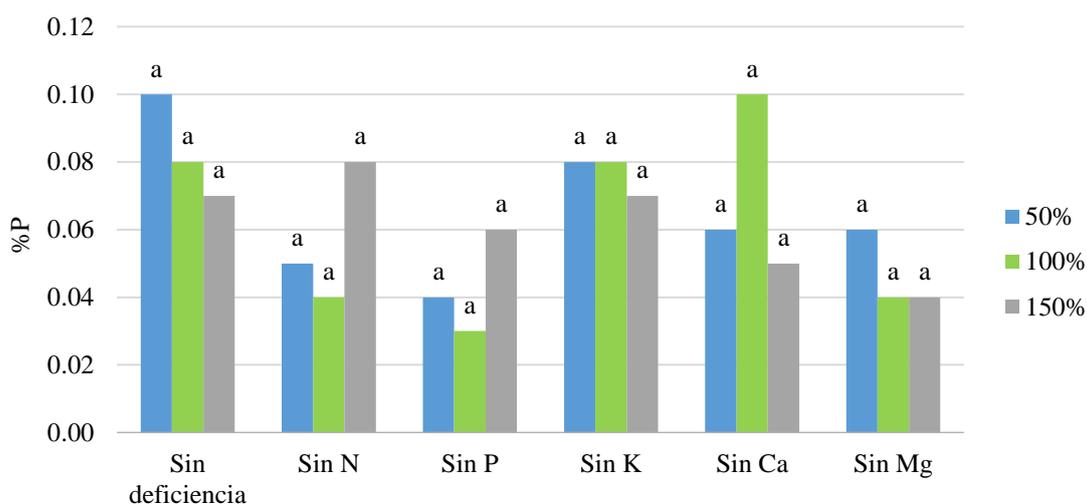


Figura 37: Efecto de la interacción de factores en la concentración de P en el follaje

Corona

En la corona, la interacción entre el tratamiento Sin deficiencia a dosis de 150 % fue el que registró la mayor concentración de P (0,06 %). Mientras que la interacción entre la deficiencia de P a dosis de 50 % fue la que obtuvo la menor concentración (0,01 %). Ambos fueron estadísticamente distintos entre sí. Sin embargo, el resto de tratamientos no mostró diferencia estadística con ninguno de los tratamientos (tabla 40 y figura 38).

Tabla 40: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de P en la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	0,03 ^{AB}	0,04 ^{AB}	0,06 ^A
Sin N	0,03 ^{AB}	0,04 ^{AB}	0,03 ^{AB}
Sin P	0,01 ^B	0,02 ^{AB}	0,01 ^{AB}
Sin K	0,03 ^{AB}	0,06 ^{AB}	0,06 ^{AB}
Sin Ca	0,03 ^{AB}	0,02 ^{AB}	0,02 ^{AB}
Sin Mg	0,02 ^{AB}	0,04 ^{AB}	0,03 ^{AB}

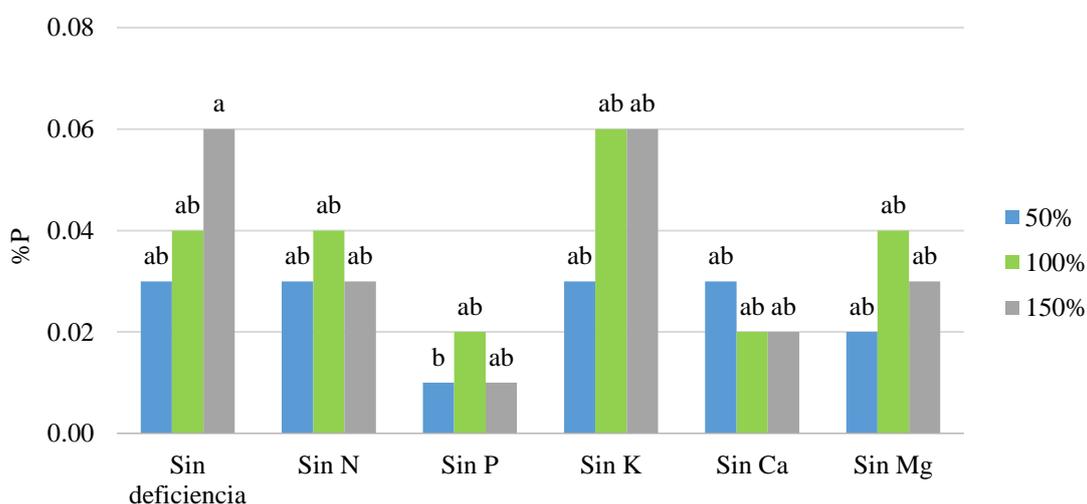


Figura 38: Efecto de la interacción de factores en la concentración de P en la corona

4.2.3. Potasio

Al efectuar los análisis de varianza para la extracción de potasio en la parte foliar y radicular se observaron diferencias estadísticamente significativas en los tres casos. Se observó que en la parte foliar y la corona hubo significancia. Para cada uno de ellos se efectuaron dos análisis los cuales se resumen en un solo cuadro en los anexos 18 y 19.

El primer análisis de varianza evaluó la existencia de diferencias entre el testigo absoluto y los demás tratamientos. Mientras que el segundo buscó hallar las diferencias significativas entre los distintos niveles de los factores evaluados y su interacción.

a) Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Follaje

En la tabla 41 y figura 39 se observa que el tratamiento testigo absoluto no mostró diferencias estadísticas con ninguno de los tratamientos. El tratamiento sin deficiencia a dosis de 100 % fue el de mayor concentración de K foliar con un valor promedio de 1,98 %, mientras que quienes registraron las menores concentraciones fueron los tratamientos sin K a dosis de 100 % (1,02 %) y 150 % (0,63 %), siendo el último significativamente inferior al resto.

Es probable que el resultado haya estado influenciado por el bajo número de repeticiones y una alta dispersión de datos, con lo que la significancia entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos no pudo apreciarse.

Tabla 41: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de K en el follaje (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	1,33 ^{ABC}			
Sin deficiencia		1,69 ^{AB}	1,98 ^A	1,47 ^{ABC}
Sin N		1,55 ^{AB}	1,45 ^{ABC}	1,68 ^{AB}
Sin P		1,39 ^{ABC}	1,55 ^{AB}	1,41 ^{ABC}
Sin K		1,27 ^{ABC}	1,02 ^{BC}	0,63 ^C
Sin Ca		1,37 ^{ABC}	1,7 ^{AB}	1,52 ^{AB}
Sin Mg		1,46 ^{ABC}	1,85 ^{AB}	1,39 ^{ABC}

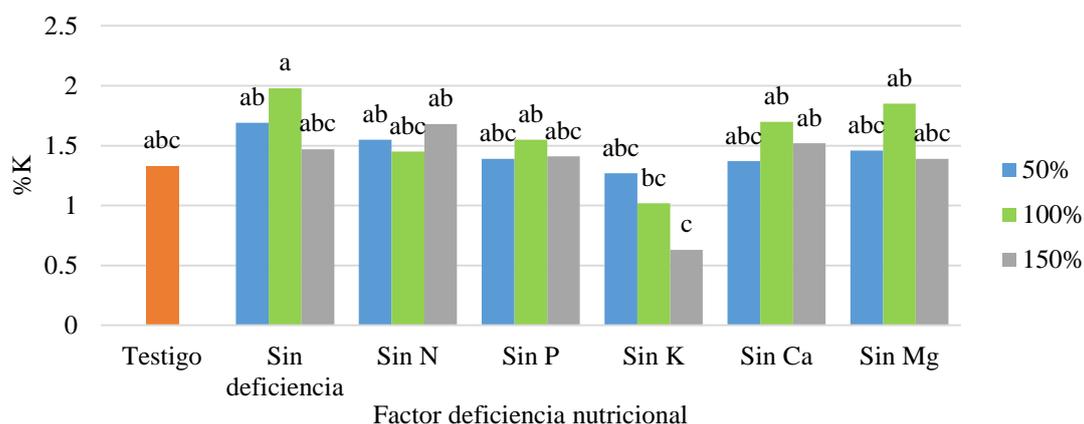


Figura 39: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de K en el follaje

Corona

El tratamiento testigo absoluto (0,98 %) no fue estadísticamente distinto al resto de tratamientos, excepto con el que recibió fertilización con ausencia de K a dosis de 150 % (0,42 %). Así mismo, los demás tratamientos con deficiencia de K también registraron concentraciones bajas, aunque no distintas estadísticamente a los demás. Tanto la dosis al 50 % como al 100 % mostraron una concentración de K en corona de 0,67 % (tabla 42 y figura 40). Es probable que el bajo número de repeticiones haya influido en los resultados promedio observados.

Tabla 42: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de K en la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	0,98 ^A			
Sin deficiencia		0,79 ^{AB}	1,07 ^A	1,00 ^A
Sin N		0,88 ^A	1,00 ^A	0,90 ^A
Sin P		0,99 ^A	1,04 ^A	1,01 ^A
Sin K		0,67 ^{AB}	0,67 ^{AB}	0,42 ^B
Sin Ca		0,86 ^{AB}	0,75 ^{AB}	1,01 ^A
Sin Mg		0,75 ^{AB}	0,92 ^A	1,02 ^A

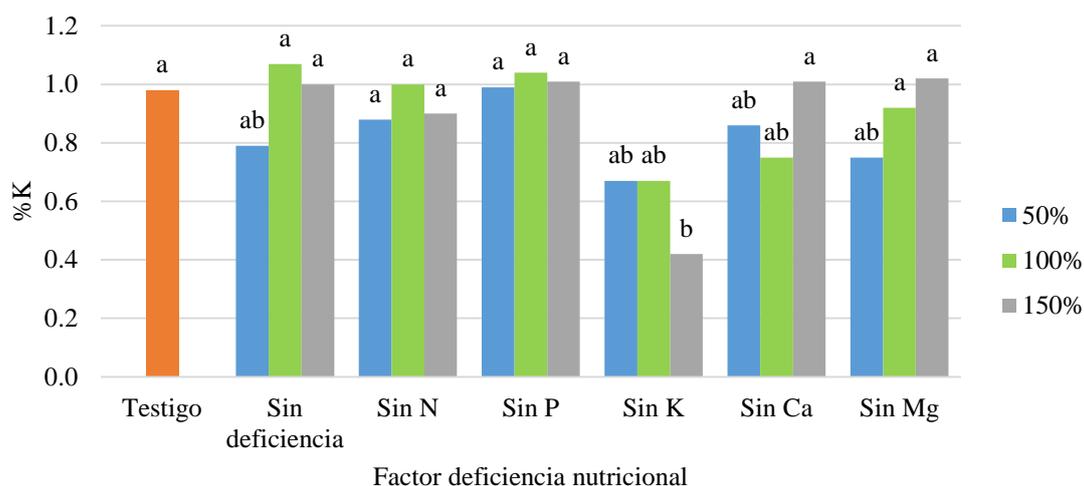


Figura 40: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de K en la corona

b) Factor deficiencia nutricional

Al evaluar los factores y su interacción se observó que existen diferencias estadísticamente significativas únicamente entre los distintos niveles del factor deficiencia nutricional en la corona.

Follaje

En la tabla 43 y figura 41 se muestra la prueba de Tukey para el factor deficiencia nutricional en el follaje. Se observa que la concentración de K fue de 1,71 % en el tratamiento sin deficiencia, siendo el mayor registro de todos. Mientras que el menor se observó en el tratamiento con deficiencia de K, con un promedio de 0,97 % en el follaje. Únicamente existieron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento sin K y el resto.

Los resultados se corresponden con lo esperado, pues la menor concentración de K se dio en el tratamiento con deficiencia en dicho elemento. La concentración de K observada (0,97 %) en el tratamiento con deficiencia del mismo fue menor a los hallazgos de Ramírez (2021), quien registró un rango de concentración de K en el follaje de 1,7 a 3,5 %.

Tabla 43: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de K en el follaje

Deficiencia nutricional	Concentración de K en el follaje (%)
Sin deficiencia	1,71 ^A
Sin Mg	1,57 ^A
Sin N	1,56 ^A
Sin Ca	1,53 ^A
Sin P	1,45 ^A
Sin K	0,97 ^B

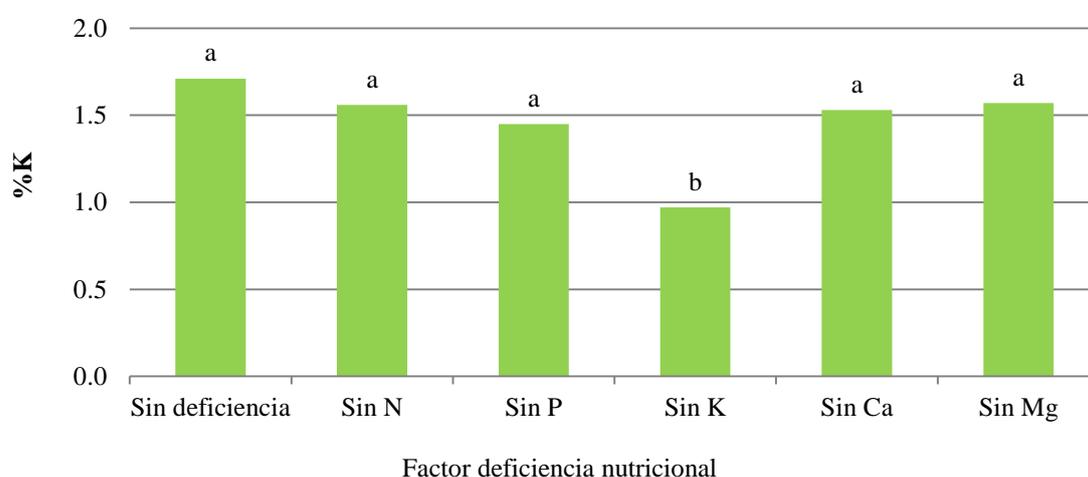


Figura 41: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de K en el follaje

Corona

Una situación similar a lo observado en el follaje se dio en la corona. El tratamiento con deficiencia de K fue el que obtuvo la menor concentración de dicho elemento, tal como se esperaba, con un valor promedio de 0,59 %, siendo estadísticamente distinto al resto de tratamientos, los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí. El mayor registro fue del tratamiento Sin P (1,01 %), seguido por los tratamientos sin deficiencia (0,95 %), Sin N (0,93 %), Sin Mg (0,90 %) y Sin Ca (0,87 %) (tabla 44 y figura 42).

A causa de la limitada disponibilidad del K en el suelo, su deficiencia se acentúa aún más, observándose una baja concentración de dicho elemento en la corona, al igual que en el

follaje. Sanchez (1992), citado por Loli & Vega (2012), menciona que el espárrago es un cultivo ávido de K, por lo que es fundamental para obtener buenos rendimientos.

Tabla 44: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de K en la corona

Deficiencia nutricional	Concentración de K en la corona (%)
Sin P	1,01 ^A
Sin deficiencia	0,95 ^A
Sin N	0,93 ^A
Sin Mg	0,9 ^A
Sin Ca	0,87 ^A
Sin K	0,59 ^B

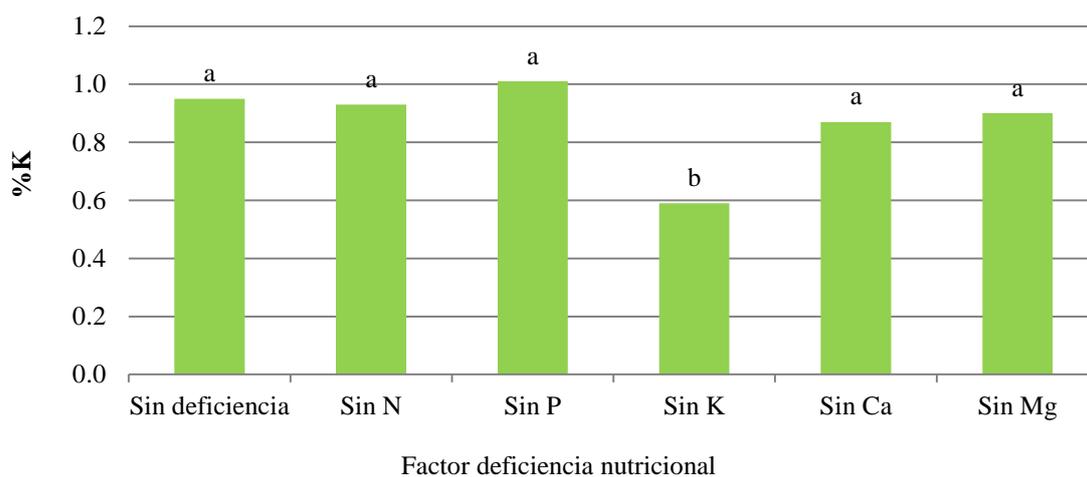


Figura 42: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de K en la corona

c) Factor dosis de solución nutritiva

Follaje

Al realizar las comparaciones de Tukey al 95 % de confianza, se observó que existieron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la concentración de K en el follaje entre el tratamiento a dosis de 100 % (1,59 %) y al 150 % (1,35%) de fertilizante, mientras que el tratamiento a dosis del 50 % fue estadísticamente similar a ambos (tabla 45 y figura 43).

León *et al.* (2012) y Castillo (1999), hacen referencia al incremento de dosis de K en el cultivo de espárrago y su efecto en el rendimiento. Mientras los primeros observaron que un incremento de la dosis de K no se refleja necesariamente en un mayor rendimiento; el segundo observó lo contrario. Esto sumado a la limitada disponibilidad de dicho elemento y su fácil redistribución en la planta pueden dar resultados tan variables como los observados al incrementar la dosis usual de fertilización.

Tabla 45: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de K en el follaje

Dosis de solución nutritiva	Concentración de K en el follaje (%)
100%	1,59 ^A
50%	1,45 ^{AB}
150%	1,35 ^B

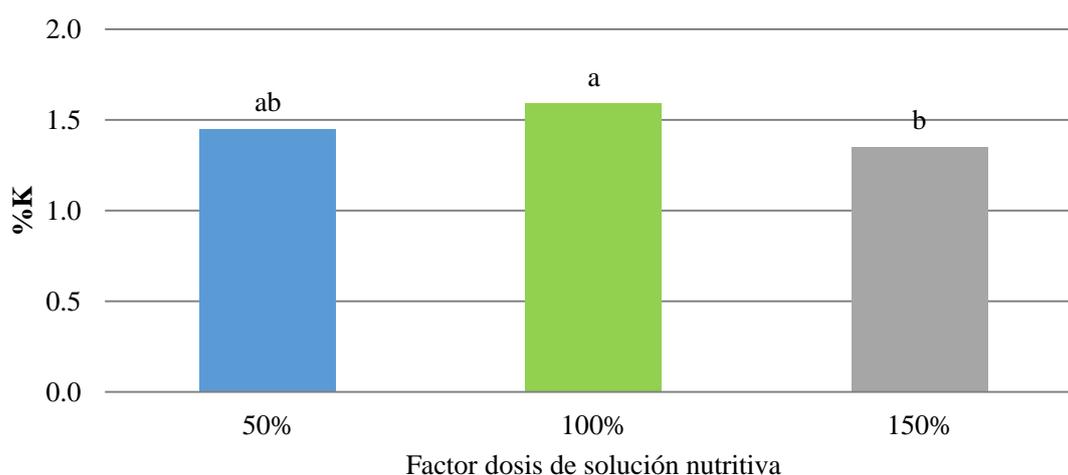


Figura 43: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de K en el follaje

Corona

Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva en cuanto al contenido de K. No obstante, el tratamiento a dosis de 100 % fue el que obtuvo mayor media con un valor de 0,91 %, seguido por el de 150 % (0,89 %) y 50 % (0,82 %) (tabla 46 y figura 44).

Al igual que lo observado en el follaje, un incremento en la dosis no representó necesariamente un aumento en las concentraciones de K en la corona.

Tabla 46: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de K en la corona

Dosis de solución nutritiva	Concentración de K en la corona (%)
100%	0,91 ^A
150%	0,89 ^A
50%	0,82 ^A

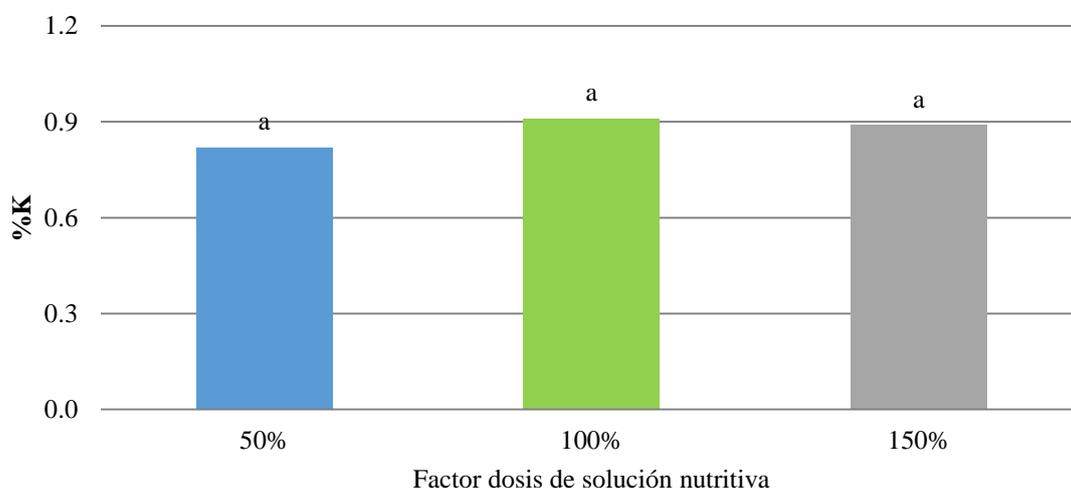


Figura 44: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de K en la corona

d) Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

Follaje

Al realizar las comparaciones de Tukey al 95 % de confianza (tabla 47 y figura 45) para la interacción de factores (deficiencia nutricional y dosis de solución nutritiva) se observa que el tratamiento sin deficiencia a dosis de 100 % fue el que registró el mayor contenido de K en el follaje con un promedio de 1,98 %. Mientras que el menor registro se observó en el tratamiento sin K a dosis de 150 %, con una concentración promedio de 0,63 %, siendo ambos estadísticamente distintos. El resto de tratamientos fueron estadísticamente similares entre sí, ya sea al correspondiente al mayor promedio como al segundo.

Se podría afirmar que la deficiencia de K fue notoria en el follaje tan solo a la máxima dosis empleada (150 %), en comparación con el tratamiento sin deficiencia a la dosis recomendada. Los valores de concentración de K en las interacciones de deficiencia de dicho elemento a las tres dosis de solución nutritiva fueron menores a lo observado por Ramírez (2021) en el follaje (1,7 – 3,5 %).

Tabla 47: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza en la interacción de factores para la concentración de K en el follaje (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	1,69 ^{AB}	1,98 ^A	1,47 ^{ABC}
Sin N	1,55 ^{AB}	1,45 ^{ABC}	1,68 ^{AB}
Sin P	1,39 ^{ABC}	1,55 ^{AB}	1,41 ^{ABC}
Sin K	1,27 ^{ABC}	1,02 ^{BC}	0,63 ^C
Sin Ca	1,37 ^{ABC}	1,7 ^{AB}	1,52 ^{AB}
Sin Mg	1,46 ^{ABC}	1,85 ^{AB}	1,39 ^{ABC}

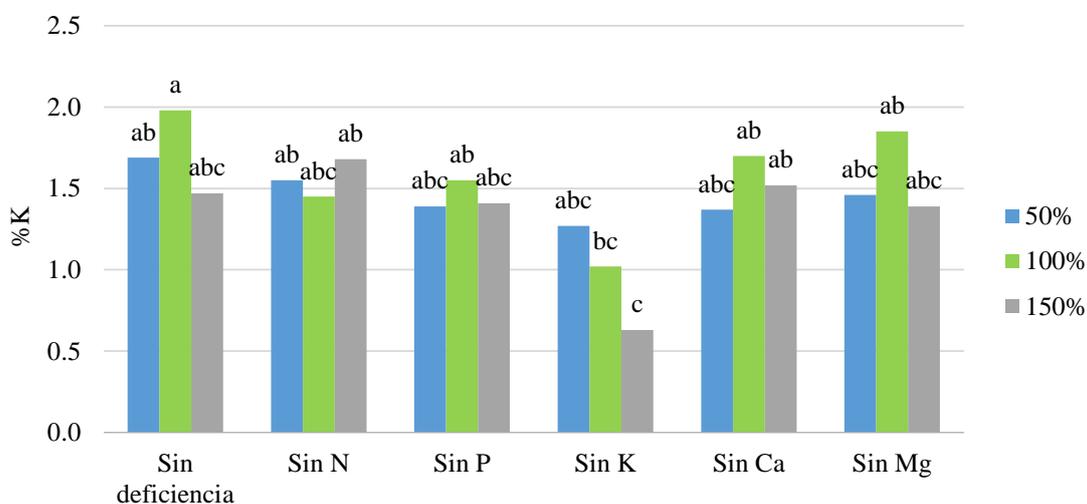


Figura 45: Efecto de la interacción de factores en la concentración de K en el follaje

Corona

En la tabla 48 y la figura 46 se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey en la interacción entre los dos factores evaluados. Al igual que en el follaje, en la corona fue el tratamiento sin deficiencia a dosis del 100 % quien logró el máximo

porcentaje promedio de K (1,07 %). Sin embargo, dicho resultado no fue estadísticamente distinto al resto, con excepción del tratamiento con deficiencia de K a dosis de 150 % (0,42 %). Esta situación es similar a lo observado en el follaje. Probablemente el incremento de la dosis de fertilización acentuó la deficiencia de K expresándose en una menor concentración de dicho elemento en la corona.

Tabla 48: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de K en la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	0,79 ^{AB}	1,07 ^A	1,00 ^A
Sin N	0,88 ^A	1,00 ^A	0,90 ^A
Sin P	0,99 ^A	1,04 ^A	1,01 ^A
Sin K	0,67 ^{AB}	0,67 ^{AB}	0,42 ^B
Sin Ca	0,86 ^A	0,75 ^{AB}	1,01 ^A
Sin Mg	0,75 ^{AB}	0,92 ^A	1,02 ^A

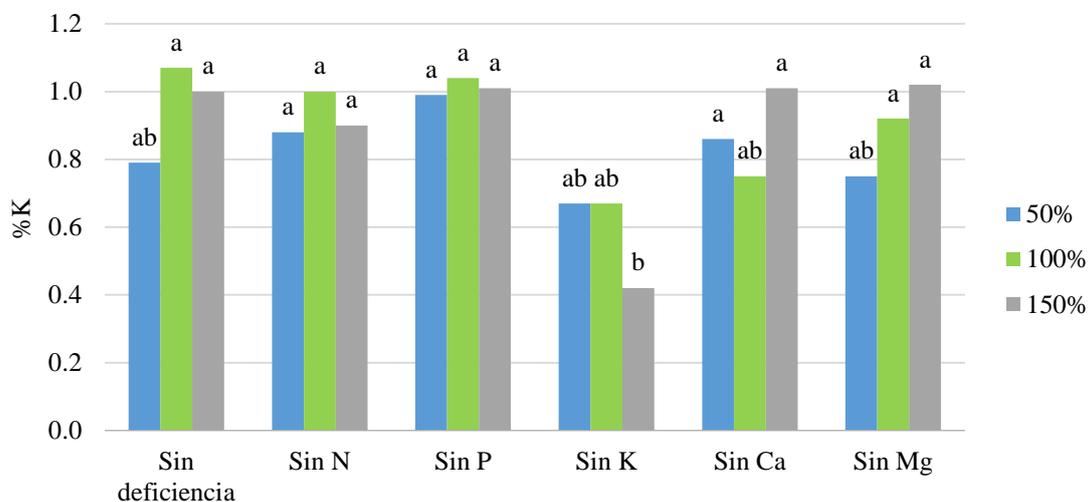


Figura 46: Efecto de la interacción de factores en la concentración de K en la corona

4.2.4. Calcio

Al efectuar los análisis de varianza para la extracción de calcio en la parte foliar y radicular se observaron diferencias estadísticamente significativas en los dos casos. Sin embargo, en la parte aérea solo algunos factores evaluados muestran significancia, mientras que en la

corona no se da. Para cada uno de ellos se efectuaron dos análisis los cuales se resumen en un solo cuadro en los anexos 20 y 21.

El primer análisis de varianza evaluó la existencia de diferencias entre el testigo absoluto y los demás tratamientos. Mientras que el segundo buscó hallar las diferencias significativas entre los distintos niveles de los factores evaluados y su interacción.

a) Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Follaje

En la tabla 49 y figura 47 se muestra la prueba de Tukey comparando el testigo absoluto con los demás tratamientos evaluado en el follaje. Se puede observar que el testigo (0,85 %) sí presentó diferencias estadísticamente significativas frente al tratamiento con deficiencia de N a dosis de 50 % (1,55 %), siendo éste último el que presentó la mayor concentración promedio de Ca en follaje. Mientras que el menor registro se dio en el tratamiento con deficiencia de K a dosis de 100 % (0,68 %). Aun así, este tratamiento tampoco fue estadísticamente distinto al testigo absoluto.

Estos resultados muestran que probablemente el aporte de Ca tanto del sustrato (anexo 1) como por parte del agua de riego (anexo 2) fue suficiente para suplir su ausencia.

Tabla 49: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de Ca en el follaje (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	0,85 ^{BC}			
Sin deficiencia		0,97 ^{ABC}	0,87 ^{BC}	0,81 ^{BC}
Sin N		1,55 ^A	1,26 ^{ABC}	0,82 ^{BC}
Sin P		1,39 ^{AB}	1,22 ^{ABC}	0,91 ^{ABC}
Sin K		0,99 ^{ABC}	0,68 ^C	0,95 ^{ABC}
Sin Ca		1,17 ^{ABC}	0,88 ^{BC}	1,05 ^{ABC}
Sin Mg		1,34 ^{ABC}	0,94 ^{ABC}	1,21 ^{ABC}

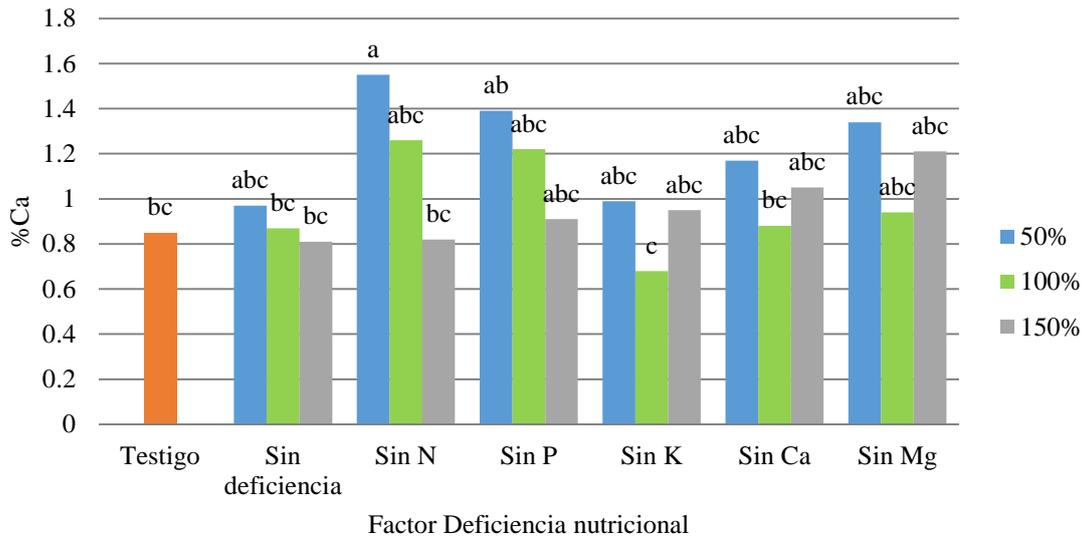


Figura 47: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de Ca en el follaje

Corona

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tratamientos y el testigo absoluto. La concentración máxima de Ca fue observada en el tratamiento con deficiencia de K al 150 % de dosis (0,43 %), mientras que la menor concentración se registró en el tratamiento sin deficiencia de nutrientes a dosis de 50 %. El testigo absoluto mostró una concentración promedio de 0,34 % de Ca en la corona. Aparentemente las diferencias observadas fueron mayores en el follaje que en la corona.

Nuevamente, existe la probabilidad que el aporte de Ca por parte del sustrato (anexo 1) y agua de riego (anexo 2) haya suplido su deficiencia en la planta.

Tabla 50: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de Ca en la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	0,34 ^A			
Sin deficiencia		0,27 ^A	0,33 ^A	0,38 ^A
Sin N		0,31 ^A	0,28 ^A	0,28 ^A
Sin P		0,37 ^A	0,36 ^A	0,33 ^A
Sin K		0,33 ^A	0,36 ^A	0,43 ^A
Sin Ca		0,34 ^A	0,32 ^A	0,32 ^A
Sin Mg		0,32 ^A	0,36 ^A	0,41 ^A

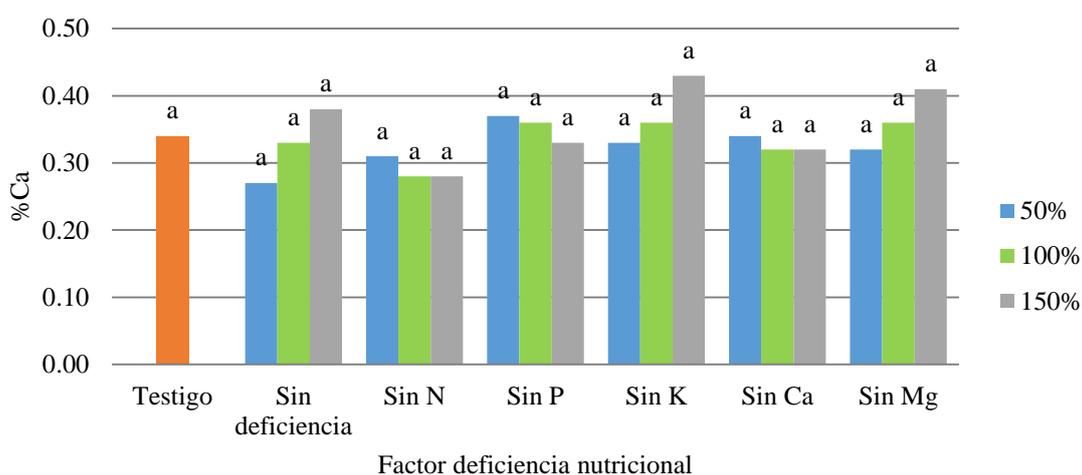


Figura 48: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de Ca en la corona

b) Factor deficiencia nutricional

Follaje

Al evaluar los factores y su interacción se observó que existen diferencias estadísticas en la cosecha foliar entre los distintos niveles del factor deficiencia nutricional. En la tabla 51 y figura 49 se muestra la prueba de Tukey. Se observa que el tratamiento que presentó mayor concentración de Ca fue el que tuvo deficiencia de N (1,21 %) y fue estadísticamente mayor

a los tratamientos sin deficiencia (0,89 %) y sin K (0,87 %). Estos dos últimos fueron estadísticamente similares entre sí. El resto de tratamientos no mostró diferencia estadísticamente significativa con ninguno otro.

Feller & Müller (2018) mencionan que en el follaje la ausencia de dicho elemento afecta el crecimiento de la parte aérea. Esto puede verse reflejado en una baja concentración de Ca foliar.

Tabla 51: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de Ca en el follaje

Deficiencia nutricional	Concentración de Ca en el follaje (%)
Sin N	1,21 ^A
Sin P	1,17 ^{AB}
Sin Mg	1,16 ^{AB}
Sin Ca	1,03 ^{AB}
Sin deficiencia	0,89 ^B
Sin K	0,87 ^B

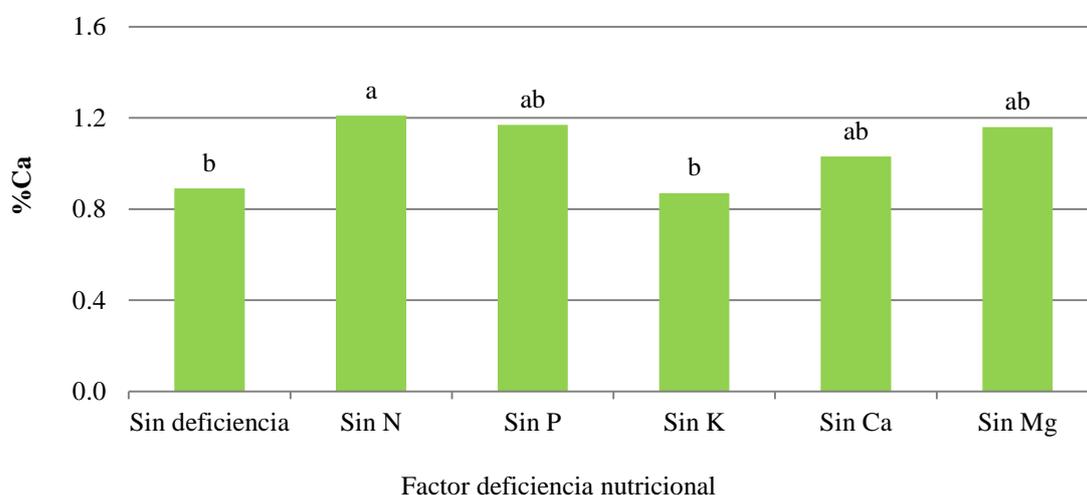


Figura 49: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de Ca en el follaje

Corona

A diferencia de lo observado en el follaje, en la corona no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tratamientos del factor deficiencia

nutricional. El tratamiento con deficiencia de K fue el que presentó el mayor porcentaje de Ca (0,37 %) y el que tuvo deficiencia de N registró el menor porcentaje (0,29 %) (tabla 52 y figura 50).

Se puede observar que, si bien no fue estadísticamente distinta, la concentración de Ca en la corona para el tratamiento con deficiencia de K fue mayor al resto; mientras que lo contrario ocurrió en el follaje, donde la concentración de Ca en el mismo tratamiento fue menor al resto, llegando ser incluso estadísticamente distinto.

Tabla 52: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de Ca en la corona

Deficiencia nutricional	Concentración de Ca en la corona (%)
Sin K	0,37 ^A
Sin Mg	0,36 ^A
Sin P	0,35 ^A
Sin Ca	0,33 ^A
Sin deficiencia	0,32 ^A
Sin N	0,29 ^A

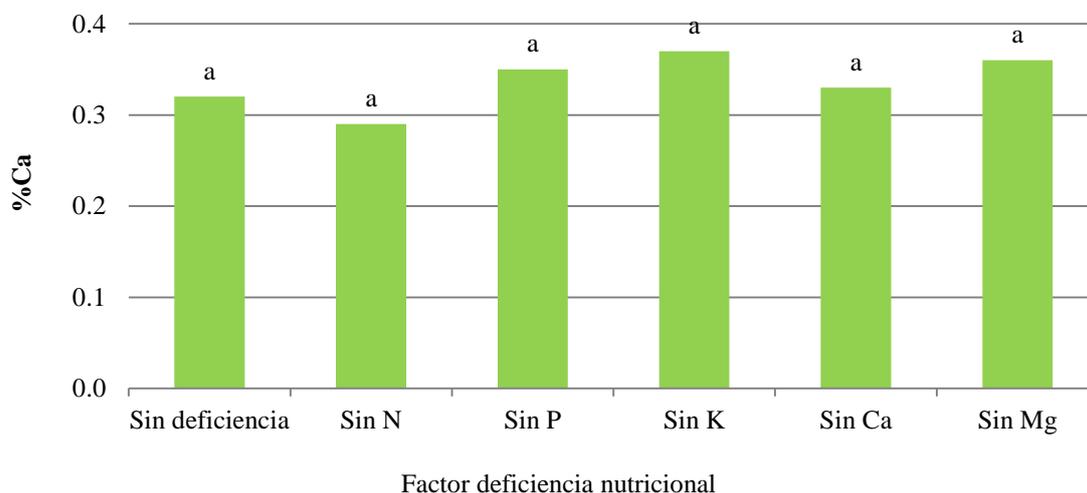


Figura 50: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de Ca en la corona

c) Factor dosis de solución nutritiva

Follaje

El tratamiento a dosis de 50 % de fertilizante fue el que registró el mayor promedio en cuanto la concentración de Ca en el follaje. Dicho valor fue de 1,23 % y fue estadísticamente superior al resto de dosis evaluadas: dosis a 100 % (0,97 %) y 150 % (0,96 %) (Tabla 53 y figura 51).

Aparentemente un incremento en las dosis de fertilización no conlleva un aumento en la concentración de calcio en el follaje, siendo suficiente con una dosis al 50 % para dicho elemento. Esto puede deberse al aporte por parte del sustrato (anexo 1) y agua de riego (anexo 2).

Tabla 53: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de Ca en el follaje

Dosis de solución nutritiva	Concentración de Ca en el follaje (%)
50%	1,23 ^A
100%	0,97 ^B
150%	0,96 ^B

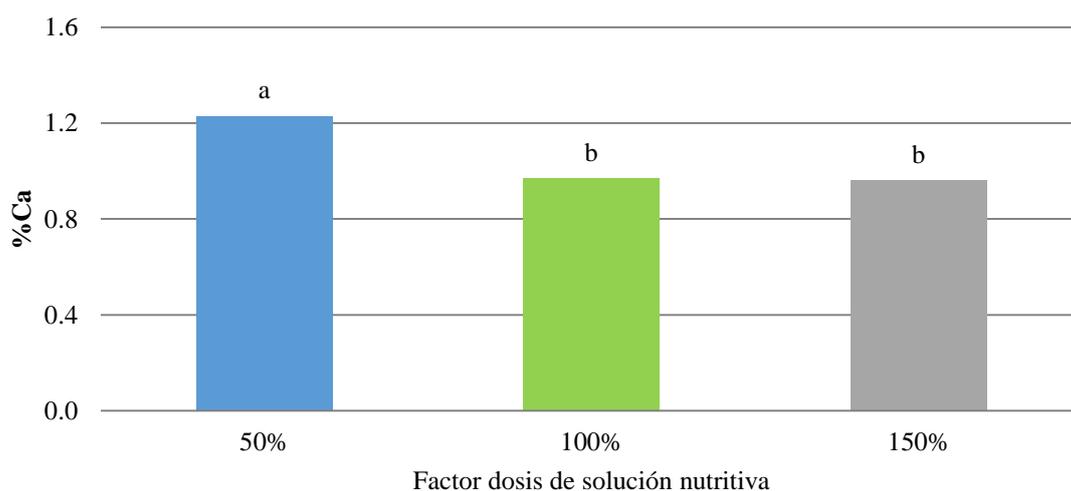


Figura 51: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de Ca en el follaje

Corona

A diferencia del follaje, en la corona no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tratamientos del factor dosis de solución nutritiva (tabla 54 y figura 52). El tratamiento a dosis del 150 % de fertilizante registró una media de 0,36 % de calcio en la corona, seguido por el tratamiento a dosis de 100 % con un valor de 0,33 % y a dosis de 50 %, con un promedio de 0,32 % de Ca en la corona.

El incremento de la dosis de fertilización no representó necesariamente un incremento de la concentración de Ca en la corona, estadísticamente hablando. Sin embargo, puede apreciarse una tendencia a una mayor concentración de dicho elemento a una dosis mayor.

Tabla 54: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de Ca en la corona

Dosis de solución nutritiva	Concentración de Ca en la corona (%)
150%	0,36 ^A
100%	0,33 ^A
50%	0,32 ^A

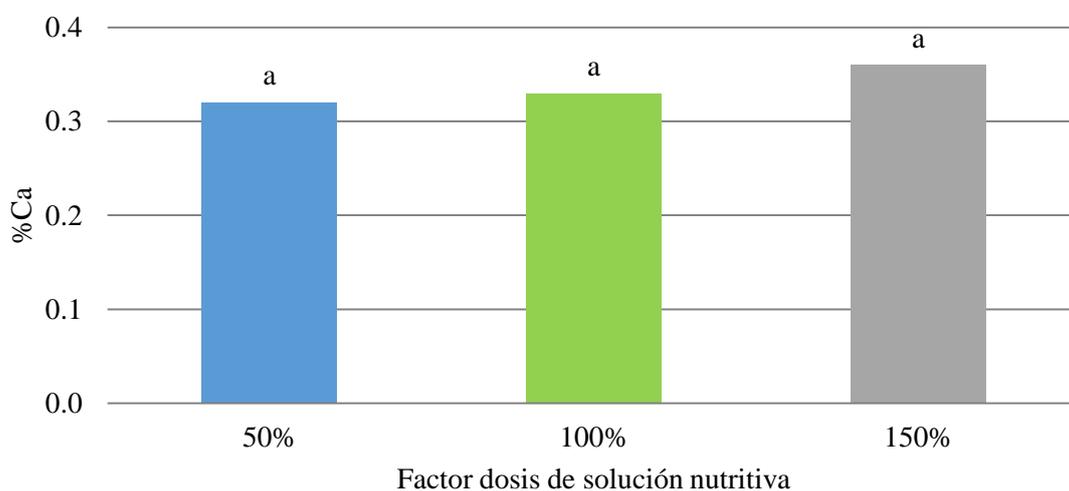


Figura 52: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de Ca en la corona

d) Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

Follaje

En la tabla 55 y figura 53 se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey. La interacción que mostró la mayor concentración de Ca en el follaje fue la deficiencia de N a una dosis de 50 % (1,55 %), siendo estadísticamente mayor únicamente a los tratamientos con deficiencia de N a dosis de 150 % (0,82 %), sin deficiencia a dosis de 150 % (0,81 %) y sin K a dosis de 100 % (0,68 %). Este último fue menor incluso a los tratamientos sin N al 150 % y sin deficiencia al 150 %.

Tabla 55: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de Ca en el follaje (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	0,97 ^{ABC}	0,87 ^{ABC}	0,81 ^{BC}
Sin N	1,55 ^A	1,26 ^{ABC}	0,82 ^{BC}
Sin P	1,39 ^{AB}	1,22 ^{ABC}	0,91 ^{ABC}
Sin K	0,99 ^{ABC}	0,68 ^C	0,95 ^{ABC}
Sin Ca	1,17 ^{ABC}	0,88 ^{ABC}	1,05 ^{ABC}
Sin Mg	1,34 ^{ABC}	0,94 ^{ABC}	1,21 ^{ABC}

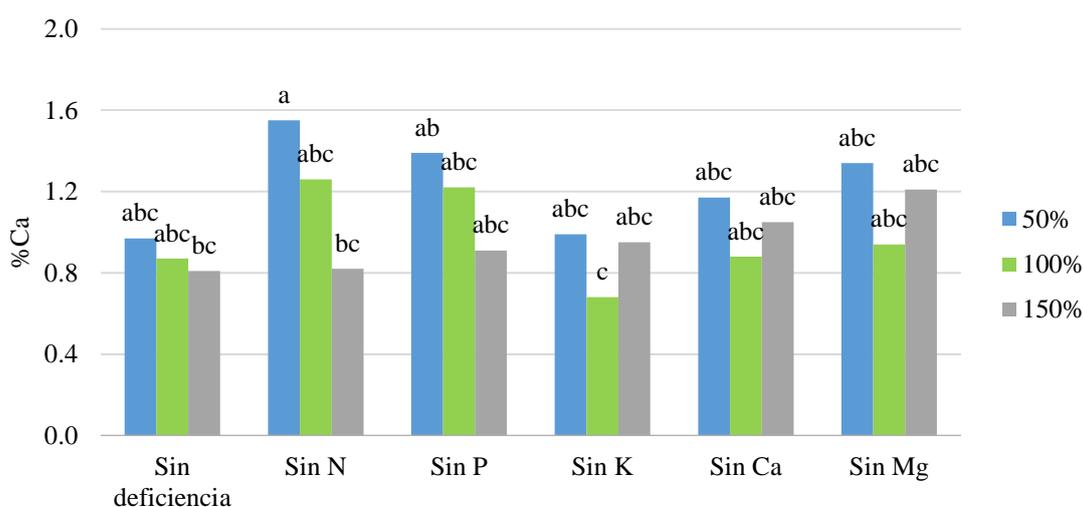


Figura 53: Efecto de la interacción de factores en la concentración de Ca en el follaje

Corona

A diferencia de lo observado en el follaje, en la corona no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de las interacciones evaluadas (tabla 56 y figura 54). Aun así, el mayor porcentaje de Ca en la corona se registró en el tratamiento con deficiencia de K a dosis de 150 % (0,43 %), mientras que el menor porcentaje se dio en la interacción entre el tratamiento sin deficiencia y la dosis de 50 % (0,27 %).

Tabla 56: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza de la interacción de factores para la concentración de Ca en la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	0,27 ^A	0,33 ^A	0,38 ^A
Sin N	0,31 ^A	0,28 ^A	0,28 ^A
Sin P	0,37 ^A	0,36 ^A	0,33 ^A
Sin K	0,33 ^A	0,36 ^A	0,43 ^A
Sin Ca	0,34 ^A	0,32 ^A	0,32 ^A
Sin Mg	0,32 ^A	0,36 ^A	0,41 ^A

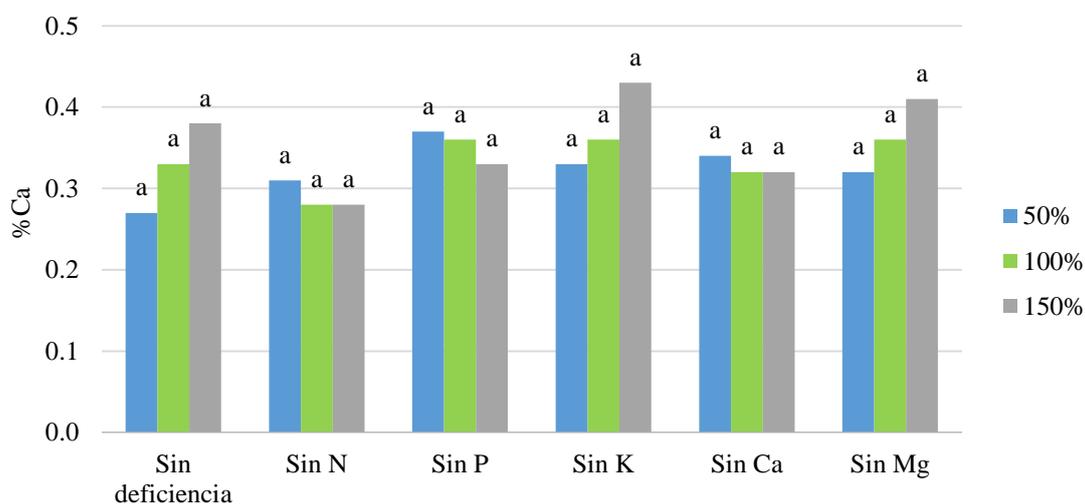


Figura 54: Efecto de la interacción de factores en la concentración de Ca en la corona

4.2.5. Magnesio

Al efectuar los análisis de varianza para la extracción de magnesio en la corona y el follaje se observó que solo en algunos factores evaluados se presentan diferencias estadísticamente significativas. Para cada uno de ellos se efectuaron dos análisis los cuales se resumen en los anexos 22 y 23.

El primer análisis de varianza evaluó la existencia de diferencias entre el testigo absoluto y los demás tratamientos. Mientras que el segundo buscó hallar las diferencias significativas entre los distintos niveles de los factores evaluados y su interacción.

a) Comparación entre el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Follaje

En la tabla 57 y figura 55 se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza contrastando el testigo absoluto con los demás tratamientos en cuanto a la concentración de Mg en el follaje. El resultado fue que este no fue estadísticamente distinto a ninguno de los demás tratamientos.

Aun así, el tratamiento con deficiencia de K al 150 % fue el que registró la mayor concentración de Mg en follaje con un valor promedio de 0,38 %, siendo estadísticamente mayor al tratamiento sin deficiencia a dosis de 100 % (0,18 %) y a los tratamientos con deficiencia de Mg a dosis de 100 % (0,16 %) y 150 % (0,29 %), los cuales fueron estadísticamente similares entre sí.

De acuerdo con Ramírez (2021), la concentración de Mg en el follaje se encuentra entre el 0,2 % y 0,6 %. En el presente estudio se observó que el tratamiento testigo absoluto presentó una concentración promedio de 0,23 %, ubicándose dentro del rango a pesar de no recibir aporte alguno de Mg.

Tabla 57: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de Mg en el follaje (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	0,23 ^{ABC}			
Sin deficiencia		0,21 ^{ABC}	0,18 ^{BC}	0,29 ^{ABC}
Sin N		0,35 ^{ABC}	0,34 ^{ABC}	0,32 ^{ABC}
Sin P		0,33 ^{ABC}	0,28 ^{ABC}	0,36 ^{ABC}
Sin K		0,25 ^{ABC}	0,24 ^{ABC}	0,38 ^A
Sin Ca		0,3 ^{ABC}	0,3 ^{ABC}	0,38 ^{AB}
Sin Mg		0,27 ^{ABC}	0,16 ^C	0,17 ^C

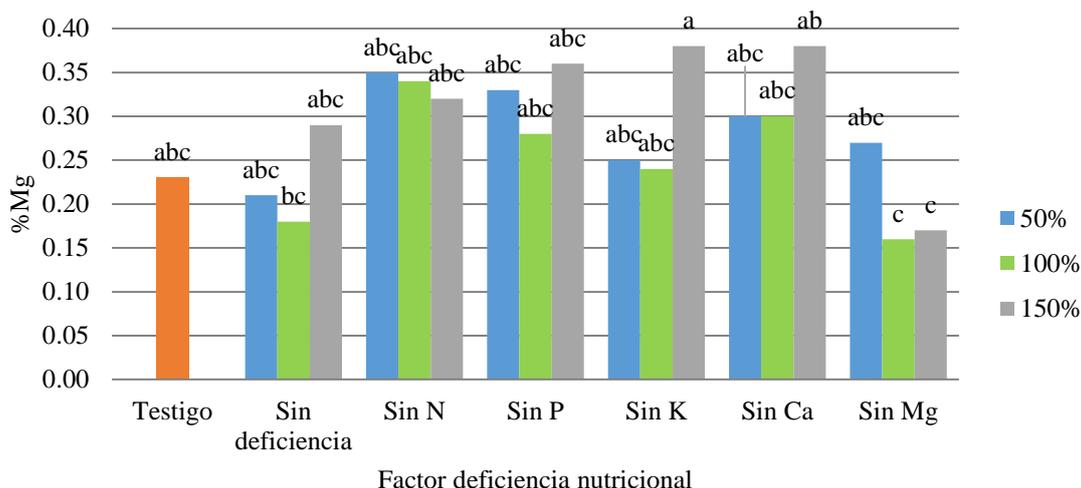


Figura 55: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de Mg en el follaje

Corona

A diferencia de lo observado en el follaje, en la corona no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tratamientos incluyendo el testigo absoluto (tabla 58 y figura 56). Aun así, el testigo absoluto fue el que registró el menor porcentaje promedio de Mg en la corona con un valor de 0,08 %. Sin embargo, esta ausencia de significancia en cuanto a las diferencias probablemente sea causada por el bajo número

de repeticiones pues el mayor porcentaje de Mg en corona fue registrado en el tratamiento con deficiencia de Mg a dosis de 150 % (0,21 %), siendo incongruente con lo esperado.

Tabla 58: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza entre el testigo absoluto y los demás tratamientos para la concentración de Mg en la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva			
	0%	50%	100%	150%
Testigo	0,08 ^A			
Sin deficiencia		0,09 ^A	0,1 ^A	0,13 ^A
Sin N		0,1 ^A	0,1 ^A	0,1 ^A
Sin P		0,11 ^A	0,12 ^A	0,11 ^A
Sin K		0,1 ^A	0,13 ^A	0,15 ^A
Sin Ca		0,09 ^A	0,11 ^A	0,13 ^A
Sin Mg		0,08 ^A	0,08 ^A	0,21 ^A

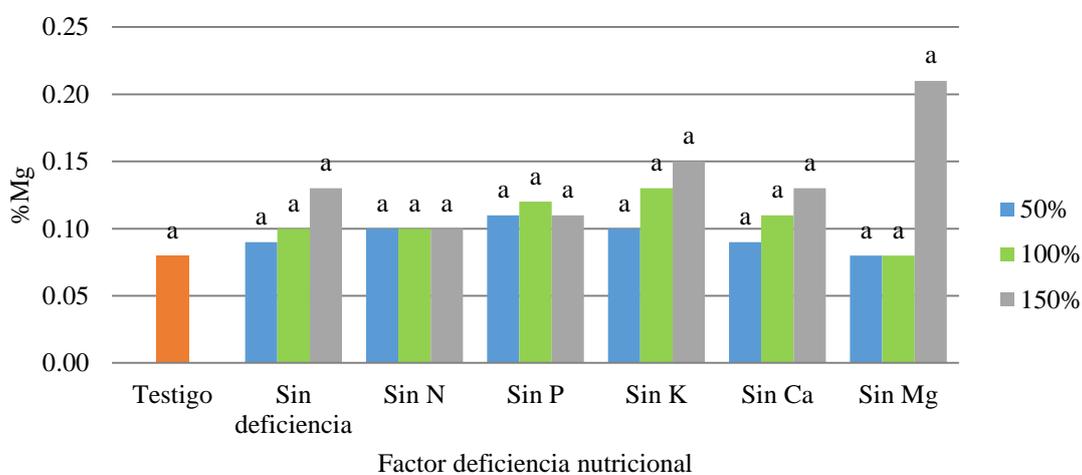


Figura 56: Efecto de la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva en la comparación entre el testigo y los demás tratamientos para la concentración de Mg en la corona

b) Factor deficiencia nutricional

Follaje

En la tabla 59 y figura 57 se observa que, en el factor deficiencia nutricional, los tratamientos con mayor concentración de Mg en el follaje fueron aquellos con deficiencia de N (0,34 %), de Ca (0,33 %) y de P (0,32 %). Estos tres fueron estadísticamente similares entre sí. Mientras que el tratamiento con menor concentración de Mg en follaje fue precisamente el que tuvo su deficiencia, con un valor de 0,2 %, antecedido por el tratamiento sin deficiencia (0,22 %). Mientras que el tratamiento con deficiencia de K fue estadísticamente similar a todos los demás.

Si bien el tratamiento sin deficiencia presentó una menor concentración de Mg en el follaje, al igual que el tratamiento con su deficiencia, el valor registrado se encontró dentro los límites del rango esperado (0,2 % – 0,6 %) observado por Ramírez (2021).

Tabla 59: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de Mg en el follaje

Deficiencia nutricional	Concentración de Mg en el follaje (%)
Sin N	0,34 ^A
Sin Ca	0,33 ^A
Sin P	0,32 ^A
Sin K	0,29 ^{AB}
Sin deficiencia	0,22 ^B
Sin Mg	0,2 ^B

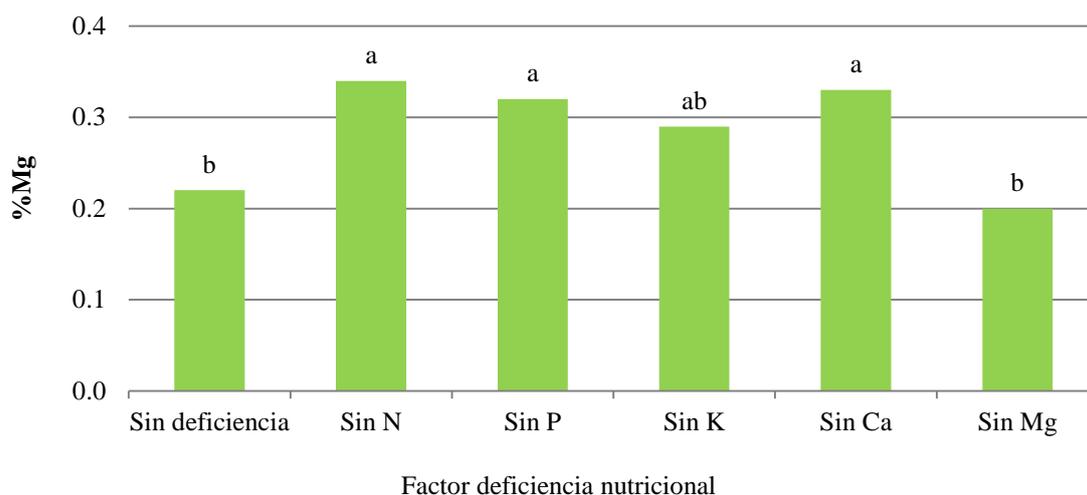


Figura 57: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de Mg en el follaje

Corona

A diferencia de lo observado en el follaje, en la corona ningún tratamiento del factor deficiencia nutricional mostró diferencia estadística alguna (tabla 60 y figura 58).

Es probable que las diferencias sean más evidentes en el follaje que en la corona a causa de la importancia de dicho elemento en la formación de clorofila (Salisbury & Ross, 1994).

Tabla 60: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor deficiencia nutricional para la concentración de Mg en la corona

Deficiencia nutricional	Concentración de Mg en la corona (%)
Sin Mg	0,12 ^A
Sin K	0,12 ^A
Sin P	0,11 ^A
Sin Ca	0,11 ^A
Sin deficiencia	0,11 ^A
Sin N	0,10 ^A

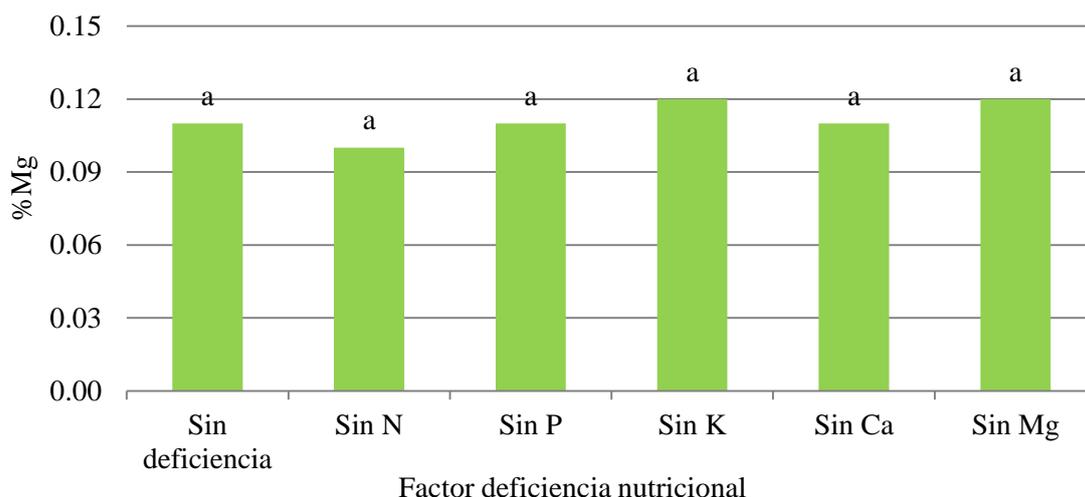


Figura 58: Efecto de la deficiencia nutricional en la concentración de Mg en la corona

c) Factor dosis de solución nutritiva

Follaje

En la tabla 61 y figura 59 se muestran los resultados de la prueba de comparación de Tukey. Se observa que el tratamiento a dosis de 150 % fue el que presentó la mayor concentración promedio de Mg en el follaje (0,32 %), siendo estadísticamente distinto al tratamiento a dosis de 100 % (0,25 %). Sin embargo, el tratamiento a dosis de 50 % tuvo similitudes estadísticas a ambos tratamientos.

Todos los niveles del factor dosis de solución nutritiva se encontraron dentro del rango observado por Ramírez (2021) quien halló que la concentración de Mg en el follaje se encontraba entre 0,2 % y 0,6 %.

Tabla 61: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de Mg en el follaje

Dosis de solución nutritiva	Concentración de Mg en el follaje (%)
150%	0,32 ^A
50%	0,29 ^{AB}
100%	0,25 ^B

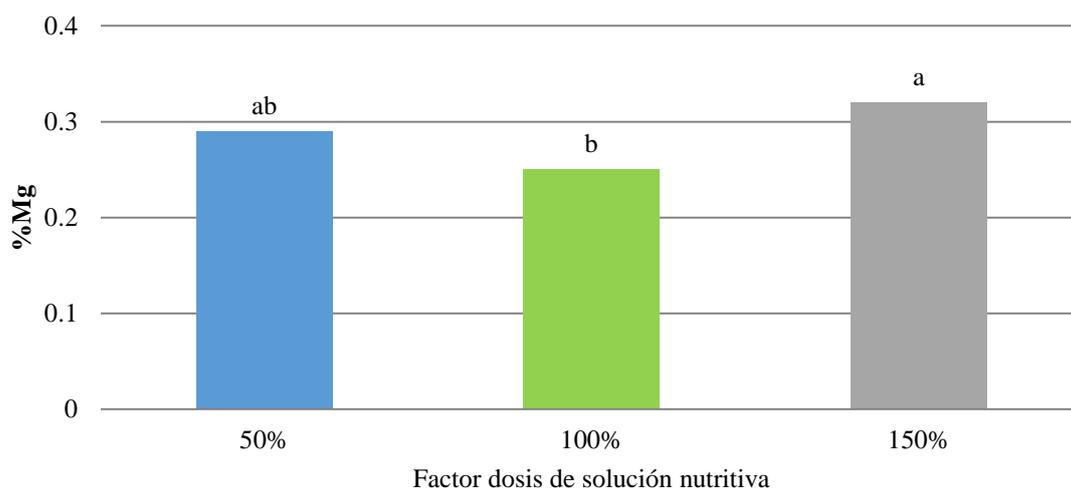


Figura 59: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de Mg en el follaje

Corona

Al igual que en el follaje, en la corona el tratamiento que registró el mayor porcentaje de Mg fue la dosis de 150 % de fertilizante (0,14 %). Mientras que el tratamiento a dosis de 50 % fue el que mostró menor porcentaje promedio de Mg (0,09 %). El tratamiento a dosis de 100 % fue estadísticamente similar a ambos (tabla 62 y figura 60).

Para la corona, se puede decir que a medida que se incrementa la dosis de solución nutritiva, la concentración de Mg aumenta, resultando que los tratamientos con menor dosis (50 %) y mayor dosis (150 %) presentan diferencias significativas entre sí. Valdivia & Valdivia (2004) observaron que un incremento de Mg en el suelo no representa que dicho elemento se encuentre en mayor concentración en las raíces.

Tabla 62: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confianza del factor dosis de solución nutritiva para la concentración de Mg en la corona

Dosis de solución nutritiva	Concentración de Mg en la corona (%)
150%	0,14 ^A
100%	0,11 ^{AB}
50%	0,09 ^B

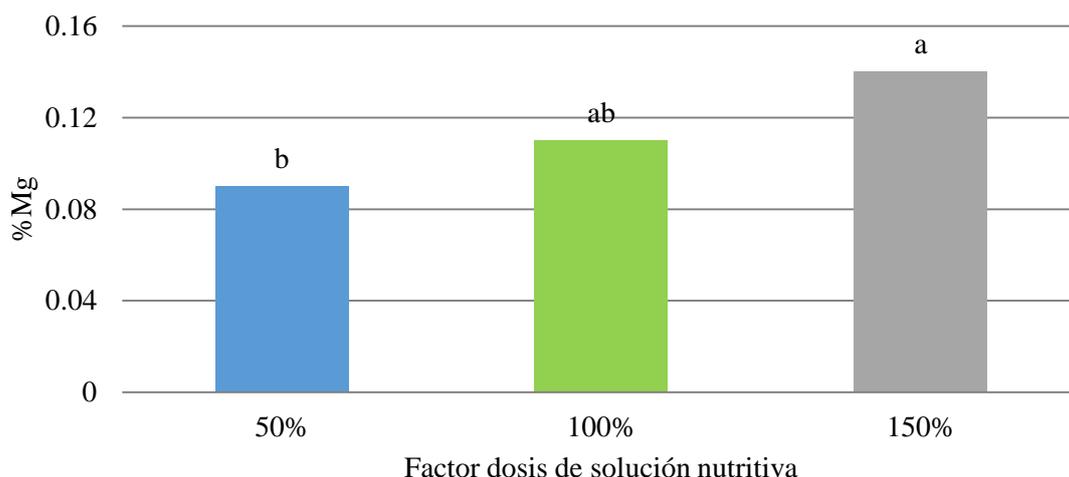


Figura 60: Efecto de la dosis de solución nutritiva en la concentración de Mg en la corona

d) Interacción entre la deficiencia nutricional y la dosis de solución nutritiva

Follaje

En la tabla 63 y figura 61 se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey para la interacción de los factores evaluados. La interacción entre el tratamiento con deficiencia de K y la dosis de 150 % fue la que registró la mayor concentración promedio de Mg en el follaje con un valor de 0,38 %, siendo estadísticamente mayor a las interacciones sin deficiencia a dosis de 100 % (0,18 %), sin Mg a dosis de 150 % (0,17 %) y a dosis de 100 % (0,16 %). Estos dos últimos fueron estadísticamente menores al resto de interacciones evaluadas.

Se observa que las interacciones entre los tratamientos con deficiencia de Mg a dosis de 100 % y 150 % registraron concentraciones de dicho elemento por debajo de los valores observados por Ramírez (2021).

Tabla 63: Prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confianza de la interacción de factores para la concentración de Mg en el follaje (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	0,21 ^{ABC}	0,18 ^{BC}	0,29 ^{ABC}
Sin N	0,35 ^{ABC}	0,34 ^{ABC}	0,32 ^{ABC}
Sin P	0,33 ^{ABC}	0,28 ^{ABC}	0,36 ^{ABC}
Sin K	0,25 ^{ABC}	0,24 ^{ABC}	0,38 ^A
Sin Ca	0,3 ^{ABC}	0,3 ^{ABC}	0,38 ^{AB}
Sin Mg	0,27 ^{ABC}	0,16 ^C	0,17 ^C

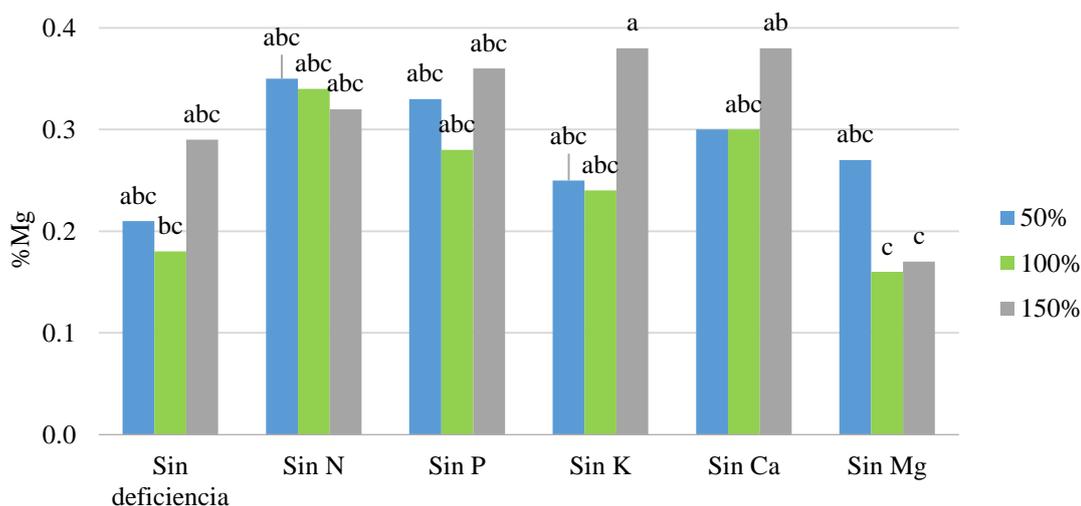


Figura 61: Efecto de la interacción de factores en la concentración de Mg en el follaje

Corona

En la tabla 64 y figura 62 se aprecia la prueba de comparación de medias de Tukey que evalúa la interacción entre los dos factores evaluados para la concentración de Mg. Se observa que ninguna interacción fue estadísticamente significativa en la corona. Incluso se observó una incongruencia pues el mayor porcentaje promedio fue registrado en la interacción deficiencia de Mg a dosis de 150 % (0,21 %).

Aparentemente el principal efecto de la deficiencia de Mg en la concentración de dicho elemento fue observado en el follaje, probablemente por su relación directa con la formación

de clorofila. Además, según Valdivia & Valdivia (2004) un incremento en la dosis de Mg no se expresa necesariamente en el aumento de su concentración en las raíces.

Tabla 64: Prueba de comparación de medias de Tukey en la interacción de factores para la concentración de Mg en la corona (%)

Deficiencia nutricional	Dosis de solución nutritiva		
	50%	100%	150%
Sin deficiencia	0,09 ^A	0,1 ^A	0,13 ^A
Sin N	0,1 ^A	0,1 ^A	0,1 ^A
Sin P	0,11 ^A	0,12 ^A	0,11 ^A
Sin K	0,1 ^A	0,13 ^A	0,15 ^A
Sin Ca	0,09 ^A	0,11 ^A	0,13 ^A
Sin Mg	0,08 ^A	0,08 ^A	0,21 ^A

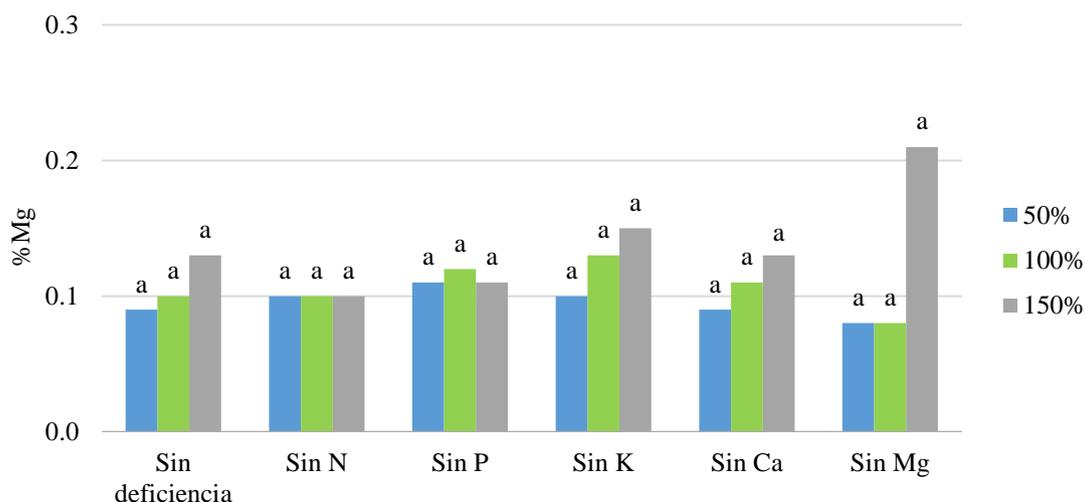


Figura 62: Efecto de la interacción de factores en la concentración de Mg en la corona

4.3. Efecto del elemento faltante en las características cualitativas del cultivo de espárrago

4.3.1. Color del follaje y otras características visuales

Para la identificación visual de la sintomatología por deficiencia de macronutrientes, se tomaron en cuenta los cambios de color y forma en la parte aérea, los cuales se presentan a continuación.

a) Sin deficiencia

En la tabla 65 se observa el detalle. En todos los tratamientos se dio que en el tercio superior y medio se presentó un color verde oscuro 7,5GY 4/4 a 5/6. Mientras que el tercio inferior se observó de color verde pálido 2,5GY 5/4 a 6/8, ligeramente más cercano a verde. En la Figura 63 se aprecia el color verde oscuro en los tres tratamientos con un ligero amarillamiento en el tercio inferior.

En los tratamientos sin deficiencia no se observaron anomalías en el color del follaje, el color verde oscuro es casi homogéneo en las tres dosis de fertilización.

Tabla 65: Coloración del follaje del tratamiento sin deficiencia a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios

Dosis de solución nutritiva	Repeticiones	Tercio superior	Tercio medio	Tercio inferior
50%	R1	7,5GY 4/4	7,5GY 3/4	-
	R2	7,5GY 4/6	7,5GY 4/6	-
	R3	7,5GY 4/4	7,5GY 4/4	2,5GY 6/8
100%	R1	7,5GY 5/6	7,5GY 5/4	2,5GY 5/6
	R2	7,5GY 4/4	7,5GY 4/6	2,5GY 5/4
	R3	7,5GY 5/4	7,5GY 4/6	2,5GY 6/6
150%	R1	7,5GY 4/4	7,5 GY 5/4	5GY 4/4
	R2	7,5GY 5/6	7,5 GY 4/4	5GY 4/6
	R3	7,5GY 5/4	7,5 GY 5/4	-



Figura 63: Sintomatología visual del follaje en el tratamiento sin deficiencia

b) Sin nitrógeno

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno se observan en la tabla 66 y la figura 64. Se observa el color del follaje a dosis de solución nutritiva del 50 % (A), 100 % (B) y 150 % (C). En el tercio superior y medio de la planta se muestra que la coloración de varias repeticiones de los tratamientos presenta una coloración amarillo pálido (2,5GY de 5/4 a 6/8), mientras que en el tercio inferior en su mayoría son de color amarillo pálido o amarillo (2,5GY 5/6 a 6/4 y 5Y 4/4 a 7/10). Sin embargo, también se notó que a medida que aumenta la dosis de aplicación de los fertilizantes aumenta la tendencia hacia el verde en los tratamientos a dosis de 100 % y 150 %, esto posiblemente se deba a que se empleó al nitrato de calcio como fuente de Ca, por lo que existió un aporte de 17.67 ppm (100 %) y 26.5 ppm (150 %) de

nitrógeno. Así mismo, se presentó una coloración amarilla en los cladodios de las ramas laterales (D).

Según Sarita (1991) y Food and Agriculture Organization (2002) un cultivo con deficiencia de N sufre una clorosis en el follaje (color verde amarillento), con ramificaciones delgadas, clorosis en brotes y muerte prematura de los tallos más viejos. Estas características coinciden con lo observado en la figura 64 donde se observa una clorosis generalizada de la planta (A y B). Así mismo, los resultados mostrados en la tabla 66 presentan valores de color muy similares a los que refiere Munsell (1977) quien menciona que los niveles bajos de nitrógeno en los cultivos se reflejan a través de la coloración amarillenta del tejido foliar que va de 2,5GY (8/4 a 8/10). Por otro lado, Benson (1990) indica que las plántulas deficientes de N presentaron aspectos etiolados en cuanto al crecimiento del follaje y un menor número de verticilos a lo largo de sus tallos y ramas primarias. Es muy probable que este síntoma sea el observado en el tratamiento a dosis de 50% de fertilizante, tal como se muestra en la figura 64 (A). Se puede ver que la planta presenta un menor número de verticilos a comparación del tratamiento Sin deficiencia a dosis de 100 %.

Tabla 66: Coloración del follaje del tratamiento sin N a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios

Dosis de solución nutritiva	Repetición	Tercio superior	Tercio medio	Tercio inferior
50%	R1	2,5 GY 6/8	2,5GY 5/6	2,5GY 8/4
	R2	5GY 5/4	2,5GY 6/4	5Y 7/10
	R3	2,5GY 5/4	2,5GY 6/6	2,5GY 7/8
100%	R1	7,5GY 4/6	7,5GY 6/4	2,5Y 5/6
	R2	2,5GY 5/4	7,5GY 5/6	5GY 4/4
	R3	2,5 GY 5/4	2,5GY 5/4	5Y 6/8
150%	R1	5GY 4/6	5GY 5/8	5Y 8/6
	R2	7,5GY 4/4	7,5GY 5/4	5GY 4/6
	R3	7,5GY 4/6	7,5GY 4/4	5Y 7/8



Figura 64: Sintomatología visual de follaje en el tratamiento sin N

c) Sin fósforo

Los síntomas de deficiencia de fósforo en los tratamientos sin P se muestran en la tabla 67. Se muestra la coloración del follaje a dosis de 50 % (A), 100 % (B) y 150 % (C). El tercio superior de la planta muestra en la figura 65 (D) el color verde oscuro (7,5GY4/6) y verde (5GY de 4/6 a 6/8), mientras que en el tercio medio es de color verde en la mayor parte de los tratamientos (5GY 4/4 a 4/8). Esta coloración tiene relación con los síntomas de requerimiento de fósforo reportado por Feller & Müller (2018). El tercio inferior en algunos

tratamientos se muestra verde pálido de 2,5GY 5/4 a 6/6, así como muestra la figura 65 (B), estos tallos laterales posteriormente perderán a los cladodios cloróticos y comenzarán a necrosarse a partir de las puntas de forma descendente quedando como la imagen que señala la flecha. Estos síntomas también los detectaron Benson (1990) y Feller & Müller (2018).

Otras sintomatologías que informan Salisbury & Ross (1994), Drost (2008) y Ramírez (2021) son lento crecimiento, bajo número de brotes y plantas de limitado vigor. Estos síntomas se observan en la figura 65 (A, B y C). Además, de acuerdo a la tabla 10, las medias de la altura son las más bajas frente a los demás tratamientos.

Entre las tres dosis de fertilización en los tratamientos sin P, no se identificó diferencia en cuanto a la sintomatología visual.

Tabla 67: Coloración del follaje del tratamiento sin P a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios

Tratamiento	Repetición	Tercio superior	Tercio medio	Tercio inferior
50%	R1	5GY 6/8	2,5GY 4/6	5GY 5/6
	R2	5GY 6/6	5GY 5/8	-
	R3	7,5GY 4/6	5GY 5/8	2,5GY 6/4
100%	R1	5GY 4/4	5GY 5/6	-
	R2	7,5GY 5/6	5GY 4/4	2,5Y 5/4
	R3	7,5GY 4/6	5GY 5/6	2,5Y 5/4
150%	R1	7,5GY 4/4	7,5GY 4/4	7,5GY4/4
	R2	5GY 4/6	5GY4/4	-
	R3	7,5GY 4/6	7,5GY 4/4	2,5Y 6/8



Figura 65: Sintomatología visual de follaje en el tratamiento sin P

d) Sin potasio

En los tratamientos con deficiencia de potasio, los síntomas se presentaron en los tallos más antiguos del tercio inferior (tabla 68 y figura 66). En (A) se pueden observar una planta representativa del tratamiento sin potasio. Los síntomas se iniciaron en los cladodios distribuidos en las ramas laterales, las cuales fueron tornándose de verde pálido 2,5GY (7/4 a 7/8) a amarillo 5Y (6/8 a 7/10). El amarillamiento se dio inicio a partir de las puntas de los cladodios hacia las ramas secundarias (flechas en B y ramas en C), donde estas se mantienen verdes. Mientras que en el tercio superior y medio de la planta en gran parte de los tratamientos se presenta un color verde a verde oscuro de 7,5GY 4/4 a 5/6.

Según Salisbury & Ross (1994) y Food and Agriculture Organization (2002) la deficiencia se presenta primero en tallos más viejos que posteriormente se marchitan. De igual forma Sarita (1991) reporta que la carencia de potasio afecta en el crecimiento de los tallos y provoca el secado de las hojas periféricas las cuales acaban por marchitarse. Los síntomas reportados por los autores en mención son similares a los que se observó en este estudio. Por otro lado, los resultados obtenidos en la tabla 68 del tercio inferior son muy similares en color a los que reporta Munsell (1977) frente a la falta de K, indicando que esta provoca en las plantas una coloración 5Y 8/8 y 10R3/4.

Tabla 68: Coloración del follaje del tratamiento sin K a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios

Tratamientos	Repetición	Tercio superior	Tercio medio	Tercio inferior
T10	R1	7,5GY 4/6	5GY 5/6	2,5Y 6/6
	R2	2,5GY 6/8	2,5GY 5/6	7,5GY 4/6
	R3	7,5GY 4/6	5GY 4/6	7,5GY 4/6
T11	R1	7,5GY 5/4	7,5GY 4/6	5Y 6/8
	R2	7,5GY 5/4	7,5GY 5/6	7,5Y 5/4
	R3	7,5GY 4/4	7,5GY 4/6	2,5Y 6/8
T12	R1	7,5GY 5/6	7,5GY 4/6	5Y 7/10
	R2	7,5GY 5/6	7,5GY 4/6	5Y 7/10
	R3	7,5GY 5/4	5GY 5/6	2,5GY 6/2



Figura 66: Sintomatología visual del follaje en el tratamiento sin K

e) Sin calcio

En la figura 67 se observa la sintomatología visual registrada. Los síntomas se presentaron en los tejidos jóvenes y en zonas meristemáticas. Los tallos recién emergidos comenzaron a deformarse y se fueron secando (C). De igual forma, en las zonas de crecimiento el ápice de la planta se necrosó y los tallos desarrollados se marchitaron (A y B). En cuanto al color en gran parte de los tratamientos los tercios superior y medio presentan un color verde oscuro a verde ligeramente pálido 7,5GY y 5G, y en algunos casos verde amarillento. Mientras que en el tercio inferior se observa un color verde pálido a amarillento 2,5GY (tabla 69).

Los síntomas identificados se corroboran con los estudios realizados por Chiu & Bould (1977), Salisbury (1994) y Mengel & Kirkby (2001) quienes reportan que la deficiencia por calcio se observa con mayor frecuencia en tejidos jóvenes, en las zonas meristemáticas de los tallos, raíces, y hojas. Además, indican que estos órganos pueden llegar a deformarse y ponerse cloróticos, o generarse una necrosis de los tejidos del meristemo por la ruptura de las paredes celulares. De la misma forma, Kirkby (1979) y Sarita (1991) afirman que la deficiencia de K puede causar marchitamiento, muerte de los tallos superiores y de las puntas de crecimiento, esto se aprecia en la figura 67 (A y B). Por otro lado, Feller & Müller (2018) encontró en estudios realizados en plantaciones de espárrago que los síntomas más evidentes eran brotes jóvenes con deformaciones y muerte de estos antes de la apertura de los cladodios. Dicho síntoma se evidencia en la figura 67 (C).

Tabla 69: Coloración del follaje del tratamiento sin Ca a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios

Tratamiento	Repetición	Tercio superior	Tercio medio	Tercio inferior
T13	R1	5GY 5/6	5GY 4/6	5Y 6/6
	R2	7,5GY 5/6	7,5GY 4/6	5GY 5/6
	R3	5GY 5/6	5GY 4/6	2,5Y 5/8
T14	R1	7,5GY 4/6	2,5GY 7/8	2,5Y 7/10
	R2	5GY 6/8	5GY 6/8	7,5GY 4/6
	R3	5GY 4/4	5GY 4/6	2,5GY 5/6
T15	R1	7,5GY 4/4	7,5GY 5/4	5GY 4/6
	R2	7,5GY 4/6	7,5GY 6/8	5Y 6/8
	R3	7,5GY 5/4	7,5GY 5/4	2,5Y 5/6



Figura 67: Sintomatología visual del follaje en el tratamiento sin Ca

f) Sin magnesio

Tal como se observa en la figura 68, el inicio de la sintomatología por deficiencia de magnesio se observó en los brotes más viejos de la planta (A). En la tabla 70 se aprecia que en el tercio inferior se presenta una coloración verde oscura 7,5 GY (4/4 a 5/4), verde pálido 2,5GY (5/6 a 6/8) y amarillamiento 5Y (7/6 a 7/8). Este último se da con el cambio de color de verde brillante a amarillo, iniciando de la base de los cladodios hacia la punta, el cual aparentemente se mantiene verde al igual que el tallo (B). Posteriormente los cladodios se van necrosando y desprendiendo dejando a los tallos secundarios desnudos (C). Por otro

lado, los tallos del tercio superior y medio de la planta presentan un color verde oscuro 7,5 GY (4/4 a 6/4).

Los síntomas identificados se corroboran con los estudios realizados por Salisbury & Ross (1994) quienes informan que la deficiencia de magnesio produce clorosis intervenal seguida por la formación de manchas y la consecuente muerte de los tejidos, empezando por los tejidos más viejos. Por otro lado, Munsell (1977) indica que la deficiencia se expresa con coloración amarillo claro de 5Y (8/6 a 8/10). De la misma forma Feller & Müller (2018) reportan que, en el espárrago, la deficiencia se manifiesta cambiando de un color verde brillante a amarillento en los cladodios de los brotes más viejos, iniciando en la punta mientras la base de los mismos permanece de color verde.

En general los tratamientos con deficiencia de Mg no mostraron síntomas muy pronunciados, por lo que se podría concluir, que la ausencia de este elemento no ha sido fuertemente evidenciada en la mayoría de los tratamientos. Así como en la concentración nutricional no hubo diferencia entre los tres tratamientos.

Tabla 70: Coloración del follaje del tratamiento sin Mg a las distintas dosis de solución nutritiva agrupado por tercios

Dosis de solución nutritiva	Repeticiones	Tercio superior	Tercio medio	Tercio inferior
50%	R1	7,5GY 4/6	7,5GY 4/6	5Y 7/6
	R2	7,5GY 4/6	7,5GY 6/4	2,5GY 6/8
	R3	7,5GY 5/6	5GY 5/6	5Y 7/8
100%	R1	7,5GY 4/6	5GY 6/4	7,5Y 4/4
	R2	7,5GY 5/6	7,5GY 5/4	2,5GY 6/8
	R3	5GY 6/8	5GY 5/6	7,5GY 4/6
150%	R1	5GY 4/6	7,5GY 4/6	5GY 6/6
	R2	7,5GY 4/4	7,5GY 5/4	7,5GY 5/4
	R3	7,5GY 5/4	7,5GY 5/6	2,5GY 5/6



Figura 68: Sintomatología visual de follaje en el tratamiento sin Mg

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y las condiciones en las cuales se efectuó el trabajo, se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

1. Respecto a las sintomatologías de las deficiencias de N, P, K, Ca y Mg:

- La deficiencia por N únicamente afecta el color de la planta, provocando el amarillamiento de la misma.
- El elemento más importante para el espárrago es el P. Su ausencia provoca la reducción de la altura de planta, menor materia seca en raíces y menor número de tallos. El tercio inferior de la planta se torna de un color verde claro y se acompaña de una caída de filocladios por necrosis descendente.
- La deficiencia de K afecta el color de la planta. Los síntomas inician en el tercio inferior con una coloración verde pálida a amarilla.
- La deficiencia por Ca afecta principalmente a los tejidos jóvenes y a las zonas meristemáticas. Ocurren deformaciones y necrosis de brotes, mientras que el tercio inferior se torna de un color de verde pálido a amarillento.
- La deficiencia por Mg afecta el color de la planta. Los tejidos del tercio inferior presentan un amarillamiento ascendente, mientras que el tallo y la punta se mantienen verdes. Ocurre necrosis y caída de filocladios hasta dejar el tallo desnudo.

2. En cuanto a la respuesta a las dosis crecientes de adiciones de macronutrientes:

- El incremento de la dosis de fertilización se refleja en un incremento en el número de tallos.
- Las variaciones en la dosis de fertilización afectan directamente a la concentración de N, P y Mg en las raíces.
- La concentración de Ca en el follaje tiene una relación inversa a la dosis de fertilización.

3. En referencia a la interacción entre la dosis de solución nutritiva y la deficiencia de cada macronutriente:

- Bajo condiciones de fertilización completa y en ausencia de P el porcentaje de materia seca radicular disminuye conforme se incrementa la dosis de solución nutritiva. Sin embargo, al momento de eliminar el Ca la situación se invierte.
- Frente a una fertilización completa, ausencia de N y K el número de tallos se incrementa conforme la dosis de solución nutritiva aumenta. Lo opuesto ocurre ante la deficiencia de Ca.

VI. RECOMENDACIONES

1. Efectuar un estudio bajo la técnica del elemento faltante para evaluar el efecto de los micronutrientes y sus dosis en el cultivo de espárrago.
2. Evaluar las interacciones entre macronutrientes y micronutrientes en el cultivo de espárrago y ampliar su estudio a los turiones.
3. Realizar un estudio que evalúe el efecto de la dosis de fertilización de macronutrientes, principalmente el fósforo, bajo condiciones de campo de las principales zonas esparragueras con la finalidad de determinar la dosis óptima y las sintomatologías asociadas a una fertilización deficiente.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Adams, F. (1966). Calcium Deficiency as a Causal Agent of Ammonium Phosphate Injury to Cotton Seedlings. *Soil Science Society of America Journal*, 30(4): 485 – 488. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1966.03615995003000040026x>

Agraria.pe. (febrero de 2021). Perú exportará 138 mil toneladas de espárragos este año, 16% más que en 2020. Agraria.pe. Recuperado de <https://agraria.pe/noticias/peru-exportara-138-mil-toneladas-de-esparragos-este-ano-16-m-23751>

Agrobanco. (2007). Cultivo del espárrago. Lima, Perú. Recuperado de https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/publicacionagroinforma/2_cultivo_del_esparrago.pdf

Ayers, R.S. & Wetscot, D.W. (1985). Rev.1 Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29. FAO.

Benson, B.L. & Paulsen, K.N. (1990). Macro- and micronutrient deficiency symptoms in asparagus seedlings. *Acta Horticulturae*, 271: 497-502. doi: 10.17660/ActaHortic.1990.271.69

Benton, J. Jr.; Wolf, B. & Mills, H. A. (1991). *Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Oregon, Estados Unidos de América: Micro Macro Intl.

Casanova, O. (1996). Potasio: consideraciones sobre su situación en Uruguay. En A. Morón; D. Martino & J. Sawchik (Eds.). *Manejo y fertilidad de suelos* (p. 57-61). Montevideo, Uruguay: INIA.

Casas, A. & Nuñez, E. (2002). Mineral composition of asparagus green spears and their relation to their post-harvest life. *Acta Horticulturae*. 589(589): 353-355. doi: 10.17660/ActaHortic.2002.589.49

Castagnino, A.M. (2009). Manual de cultivos hortícolas innovadores. Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur.

Castillo, H.M. (1999). Evaluación de la concentración de nutrientes en la solución del suelo, raíces y hojas del cultivo de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) cv. UC 157 F1, en función del tiempo (Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Chiu, T. F. & Bould, C. (1977). Sand-culture on the calcium nutrition of young Apple trees with particular reference to bitter pit. *Journal of Horticultural Science*, 52(1): 19-28. doi: <https://doi.org/10.1080/00221589.1977.11514728>

Corvera, L. (marzo de 2021). Los desafíos para seguir creciendo. *Redagícola*. Recuperado de <https://www.redagricola.com/pe/los-desafios-para-seguir-creciendo/>

Clore, W.J. & Stanberry, C.O. (1946). Further results of asparagus fertilizer studies in irrigated central Washington. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*, 46: 332 – 337.

Delgado de la Flor, F.; Montauban, R. & Hurtado, F. (1993). Cultivo del espárrago. Lima, Perú: INIA.

Domínguez, V.A. (1993). *Fertirrigación*. Madrid, España: Mundiprensa.

Domínguez, V.A. (1997). *Tratado de fertilización* (3ª ed.). Madrid, España: Mundiprensa.

Drost, D. (1997). Asparagus. P 621-649. In Wien, H. C. (Ed.), *The Physiology of Vegetables Crop*. Nueva York, EE. UU., Department of Fruit and Vegetable Science of Cornell University, Ithaca.

Drost, D. (2008). High Phosphorus Applications at Planting Improve Asparagus Root Growth and Yield. *Acta Horticulturae*, 776(776): 63 – 68. doi: 10.17660/ActaHortic.2008.776.6

Douglas, J.A. and Follett, J.M. (1996). The fertilizer requirement of asparagus on an allophanic clay based volcanic ash soil. *Acta Horticulturae*, 415(415): 355-364. doi: 10.17660/ActaHortic.1996.415.50

Epstein, E. (1973). Flow in the phloem and the immobility of calcium and boron: A new hypothesis in support of an old one. *Experientia*, 29(1): 133-136. doi:10.1007/bf01913298

Food and Agriculture Organization. (2002). *Los fertilizantes y su uso: una guía de bolsillo para los oficiales de extensión* (4° ed.). Roma, Italia: International Fertilizer Association.

Feller, C. & Müller, A. (2018). Characterization of macro and micro nutrient deficiency symptoms in asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Acta Horticulturae* 1223(1223): 87 – 94. doi: 10.17660/ActaHortic.2018.1223.13

Fernández, D.C. (2015). Manejo agronómico del espárrago verde UC 157-F1 en el distrito de Jayanca – Lambayeque (Trabajo monográfico para obtener el título de Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/944>

Fisher, K.J. & Benson, B.L. (1983). Effects of nitrogen and phosphorus nutrition on the growth of asparagus seedlings. *Scientia Horticulturae* 21(2): 105-112. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(83\)90155-3](https://doi.org/10.1016/0304-4238(83)90155-3)

García, S. (1998). Abonados de fondo, sostenimiento y complementos foliares en esparragueras de Ica. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Hanger, B.C. (1979). The movement of calcium in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10(1-2): 171-193. doi: 10.1080/00103627909366887.

Hartmann, H.D.; Hermann, G. and Altringer, R. (1990). Evaluation of nutrient status of asparagus by leaf and root analyses. *Acta Horticulturae*, 271(271): 433-442. doi: 10.17660/ActaHortic.1990.271.61

Holliday, R. (1960). Plant Population and Crop Yield. *Nature*, 186(4718): 22–24. doi:10.1038/186022b0

Hopkins, W.G. & Hüner, N.P.A. (1995). Plant and inorganic Nutrient. En: *Introduction to Plant Physiology* (p. 61 – 76). Estados Unidos de América, John Wiley & Sons, Inc.

Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas - IPEH. (2015). *Manual de cultivo del espárrago*. Lima. Perú.

- Kirkby, E.A. (1979). Maximizing calcium uptake by plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10(1-2): 89 – 113. doi: 10.1080/00103627909366881
- Krarpup, C.; Krarpup, A. & Pertierra, R. (2002). Growth of Asparagus Crowns with Increasing Nitrogen Rates at Three Different Sites. *Acta Horticulturae*, 589(589): 145-150. doi: 10.17660/ActaHortic.2002.589.19.
- León, D.; Riojas, R. & Casas, A. (2012). *Asparagus officinalis* L. Yield under Three Levels of Potassium Applied on a Saline soil of the Peruvian Coast. *Acta Horticulturae*, 950(950): 59–64. doi:10.17660/actahortic.2012.950.5.
- León, D.; Gutierrez, P.; Riojas, R. & Casas, A. (2018). Nitrogen, phosphorus and potassium production. *Acta Horticulturae* (1223): 81-87. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1223.12
- León, J.C. (23 de mayo de 2019). Exportaciones de espárragos crecen en volumen 15% el 2018. Agraria.pe. Recuperado de <http://agraria.pe/noticias/exportaciones-de-esparragos-crecen-en-volumen-15-el-2018-18443>
- Lindsay W. (2001). *Chemical equilibria in soil*. Nueva York, EE. UU.: John Wiley and sons.
- Loli, O. & Vega, R. (2012). Interacción de la Biomasa Aérea y Nutricional en el Rendimiento del Espárrago, bajo Condiciones de Ica. *Acta Horticulturae*: 950(950): 247-251. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.950.28
- Mei, H.S. & Thimann, K.V. (1984). The relation between nitrogen deficiency and leaf senescence. *Physiologia Plantarum*, 62(2): 157-161. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1984.tb00364.x>
- Mengel, K. & Kirkby, E. (2001). *Principles of Plant Nutrition*. Países Bajos: Springer – Science + Bussiness Media, B.V.
- Millard, P. (1986). The nitrogen content of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers in relation to nitrogen application - the effect on amino acid composition and yields. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37(2): 107-114. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740370203>

Moreira, M. & Gonzáles, W. (2002). Manejo agronómico y análisis económico del cultivo de espárrago para condiciones tropicales: una experiencia de diez años de investigación. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Moreno, T.R. (2017). Aplicación de citrato de calcio y sulfato de calcio en el rendimiento y calidad del espárrago (*Asparagus officinalis* L.) (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2742>

Morón, A. (1996). Azufre: consideraciones sobre su situación en Uruguay. En A. Morón; D. Martino & J. Sawchik. (Eds.). Manejo y fertilidad de suelos (p. 73-79). Montevideo, Uruguay: INIA.

Munsell. (1977). Munsell Color Chart (2° ed.) Maryland, EE.UU.: Kollmorgen Corporation.

Navarro, S. & Navarro, G. (2003). Química Agrícola (2° ed.). Madrid, España: Mundi Prensa Libros.

Osorio, W. (2012). Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico. Colombia: L. Vieco S.A.S.

Pitman, B.; Sanders, D.C. & Swallow, W.H. (1991). Growth and Development of Young Asparagus Plants in Response to N Fertilization, HortScience, 26(2), 109 – 112. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.2.109>

Ramírez, A.M. & Sadeghian, S. (2009). Respuesta del espárrago a nitrógeno, fósforo y potasio en la zona cafetera central de Colombia. CENICAFE, 60(3): 269 – 281. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10778/177>

Ramírez, F.D. (2021). Nutrición balanceada en el cultivo de espárrago. Intagri. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/nutricion-balanceada-en-esparrago>, consultado en agosto de 2021.

Redagráfica. (Febrero de 2019). Actores emergentes en el mercado global de espárrago. Redagráfica. Recuperado de <https://www.redagricola.com/pe/actores-emergentes-en-el-mercado-global-del-esparrago/>.

Risso, A.A.; Castagnino, A.M.; Díaz, K.E.; Rosini, M.B.; Marina, J.A. & Falavigna, A. (2012). Productividad y calidad de cuatro híbridos de espárrago verde (*Asparagus officinalis*

L. var: Altilis) en invernadero. Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas, 6 (1): 55-66.
doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i1.1285>

Rodríguez, S.A. (1992). Fertilizantes, nutrición vegetal. México: AGT editor.

Salisbury, F.B. & Ross, C.W. (1994). Fisiología vegetal. México DF, México: Iberoamericana.

Sanders, D.C. (1999). Nitrogen-Potassium Interactions in Asparagus. Acta Horticulturae, 479(479): 421-426. doi: 10.17660/ActaHortic.1999.479.57

Sarita, V.V. (1991). Cultivo de hortalizas en trópicos y subtropicos. Santo Domingo, República Dominicana: Corripio.

Stone, N. (marzo, 2018). Dos variedades de espárrago de la UC Riverside de perfilan como las reemplazantes de UC 157 F1. Redagícola. Recuperado de: <https://www.redagricola.com/pe/el-indispensable-recambio/>.

Thompson, M.L. & Troeh, R.F. (2002). Los suelos y su fertilidad (4° ed.). Barcelona, España: Reverte.

Trylesinski, I. (marzo, 2021). Crece la tendencia de aprovechar en menos tiempo el espárrago. Redagícola. Recuperado de <https://www.redagricola.com/pe/crece-la-tendencia-de-aprovechar-en-menos-tiempo-el-esparrago/>

Vargas, R.U. (2015). Evaluación de rendimiento y calidad de tres híbridos de espárrago verde *Asparagus officinalis* L. en el distrito de Tate – Ica (Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo). Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3128>

Valdivia, V.S. & Valdivia, S.S. (Enero - Julio, 2004). Extracción de P y de K por el espárrago (*Asparagus officinalis* L.) cv. UC 157 F1, en un suelo arenoso. Antenor Orrego, 15(22): 56-66.

Valdivia, V.S.; Juárez, E.F. & Pinna, C. J. (2011). Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo en el rendimiento del espárrago (*Asparagus officinalis* L.) en suelos arenosos. Antenor Orrego, 22(1): 151 - 154.

Vejarano, A. (1990). Nutrición mineral de las plantas. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina – Departamento de Biología.

Vidal, D. (1958). Cultivo del espárrago – Hojas divulgadoras. Madrid, España: Ministerio de Agricultura.

Vidal, M.E.Y. (2001). Efecto de la relación calcio - microelementos en el rendimiento del Espárrago verde cv. UC157-F1 bajo RLAF-Goteo (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Wilson, D.R.; Sinton, S.M.; Butler, R.C.; Drost, D.T.; Paschold, P.J.; van Kruistum, G.; Poll, J.T.K.; Garcin, C.; Pertierra, R.; Vidal, I. & Green, K.R. (2008). Carbohydrates and Yield Physiology of Asparagus – A Global Overview. *Acta Horticulturae*, 776(776): 413-428. doi: 10.17660/ActaHortic.2008.776.54

Yzarra, W.J. & López, F.M. (2011). Manual de observaciones fenológicas. Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>

Zamalvide, J.P. (1996). El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (II). En A. Morón; D. Martino & J. Sawchik (Eds.). Manejo y fertilidad de suelos (p. 45-49). Montevideo, Uruguay: INIA.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de arena realizado por el Laboratorio de Fertilidad de Suelos

pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables				
						Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺
7.38	0.15	0.29	0.03	2.4	79	98	2	0	A.	3.68	2.78	0.50	0.09	0.31	0.00

Anexo 2: Análisis de agua realizado por el Laboratorio de Fertilidad de Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : DR. OSCAR LOLI FIGUEROA

PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LURIGANCHO- CHOSICA/ HUACHIPA

REFERENCIA : H.R. 71852

No. Laboratorio	076
No. Campo	Fertilidad de Suelo
pH	7.60
C.E. dS/m	0.48
Calcio meq/L	3.58
Magnesio meq/L	0.50
Potasio meq/L	0.08
Sodio meq/L	0.65
SUMA DE CATIONES	4.81
Nitratos meq/L	0.01
Carbonatos meq/L	0.00
Bicarbonatos meq/L	1.67
Sulfatos meq/L	2.07
Cloruros meq/L	1.10
SUMA DE ANIONES	4.85
Sodio %	13.50
RAS	0.46
Boro ppm	0.26
Clasificación	C2-S1
Hierro ppm	0.010
Cobre ppm	0.013
Zinc ppm	0.038
Manganeso ppm	0.006

La Molina, 18 de Febrero del 2020


Indira Cecilia La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 3: Cronograma del experimento

ACTIVIDAD	MESES																							
	2019						2020						2021											
	A	S	O	N	D		A	M	J	J	A	S	O	N	D		A	M	J	J	A	M	J	A
Elaboración y entrega del proyecto de tesis	X																							
Preparación del ambiente	X																							
Trasplante de plántulas	X																							
Primera fertilización		X																						
Fertilización y evaluación			X	X	X			X																
Primer agoste								X																
Primera cosecha de follaje (chapodo)									X															
Riego										X	X	X	X											
Segundo agoste													X											
Segunda cosecha de follaje (chapodo)													X											
Peso de materia fresca													X											
Peso de materia seca																X								
Análisis foliar final															X									
Evaluación y recopilación de datos														X	X						X	X	X	
Procesamiento de datos																							X	X
Redacción																							X	X

Anexo 4: Contenido de nutrientes del tratamiento sin deficiencia a las tres dosis evaluadas

FERTILIZANTES (g)	LEY (%)	Testigo absoluto	Factor Deficiencia nutricional Todo los elementos nutricionales			
		0% (T0)	50% (T1)	100% (T2)	150% (T3)	
Nitrato Potasio	13.5% N, 46% K ₂ O	0,0	7,500	15,0	22,500	
Nitrato amonio	31% N	0,0	3,600	7,2	10,800	
Nitrato Calcio	15.5%N, 26% CaO	0,0	5,700	11,4	17,100	
Fosfato Monopotásico	52% P ₂ O ₅ , 34% K ₂ O	0,0	2,520	5,04	7,560	
Fosfato Monoamónico	12% N, 60% P ₂ O ₅	0,0				
Sulfato Potasio	50% K ₂ O, 18% S	0,0	0,490	0,98	1,470	
Sulfato Magnesio	16% MgO, 13% S	0,0	6,570	13,14	19,710	
Quelato Hierro	6% Fe	0,0	0,255	0,51	0,765	
Acido Bórico	18% B	0,0	0,045	0,09	0,135	
Sulfato Manganeso	25% Mn	0,0	0,050	0,099	0,149	
Sulfato Zinc	23% Zn	0,0	0,014	0,027	0,041	
Sulfato Cobre	25% Cu	0,0	0,006	0,012	0,018	
Molibdato Amonio	54% Mo	0,0	0,002	0,003	0,005	

Anexo 5: Contenido de nutrientes del tratamiento sin N a las tres dosis evaluadas

FERTILIZANTES (g)	LEY (%)	Testigo absoluto	Factor Deficiencia nutricional sin N		
		T0	50% (T4)	100% (T5)	150% (T6)
Nitrato Potasio	13.5% N, 46% K ₂ O	0,0			
Nitrato amonio	31% N	0,0			
Nitrato Calcio	15.5% N, 26% CaO	0,0	17,1	34,2	51,3
Fosfato Monopotásico	52% P ₂ O ₅ , 34% K ₂ O	0,0	7,6	15,12	22,7
Fosfato Monoamónico	12% N, 60% P ₂ O ₅	0,0			
Sulfato Potasio	50% K ₂ O, 18% S	0,0	27,0	53,91	80,9
Sulfato Magnesio	16% MgO, 13% S	0,0	19,7	39,42	59,1
Quelato Hierro	6% Fe	0,0	0,255	0,51	0,765
Acido Bórico	18% B	0,0	0,045	0,09	0,135
Sulfato Manganeso	25% Mn	0,0	0,050	0,099	0,149
Sulfato Zinc	23% Zn	0,0	0,014	0,027	0,041
Sulfato Cobre	25% Cu	0,0	0,006	0,012	0,018
Molibdato Amonio	54% Mo	0,0	0,002	0,003	0,005

Anexo 6: Contenido de nutrientes del tratamiento sin P a las tres dosis evaluadas

FERTILIZANTES (g)	LEY (%)	Testigo absoluto	Factor Deficiencia nutricional sin P		
		T0	50% (T7)	100% (T8)	150% (T9)
Nitrato Potasio	13.5% N, 46% K ₂ O	0,0	22,5	45,0	67,5
Nitrato amonio	31% N	0,0	10,8	21,6	32,4
Nitrato Calcio	15.5%N, 26% CaO	0,0	17,1	34,2	51,3
Fosfato Monopotásico	52% P ₂ O ₅ , 34% K ₂ O	0,0			
Fosfato Monoamónico	12% N, 60% P ₂ O ₅	0,0			
Sulfato Potasio	50% K ₂ O, 18% S	0,0	5,1	10,1595	15,2
Sulfato Magnesio	16% MgO, 13% S	0,0	19,7	39,42	59,1
Quelato Hierro	6% Fe	0,0	0,255	0,51	0,765
Acido Bórico	18% B	0,0	0,045	0,09	0,135
Sulfato Manganeso	25% Mn	0,0	0,050	0,099	0,149
Sulfato Zinc	23% Zn	0,0	0,014	0,027	0,041
Sulfato Cobre	25% Cu	0,0	0,006	0,012	0,018
Molibdato Amonio	54% Mo	0,0	0,002	0,003	0,005

Anexo 7: Contenido de nutrientes del tratamiento sin K a las tres dosis evaluadas

FERTILIZANTES (g)	LEY (%)	Testigo absoluto	Factor Deficiencia nutricional sin K		
		T0	50% (T10)	100% (T11)	150% (T12)
Nitrato Potasio	13.5% N, 46% K ₂ O	0,0			
Nitrato amonio	31% N	0,0	16,4736	32,947	49,421
Nitrato Calcio	15.5%N, 26% CaO	0,0	17,1	34,200	51,300
Fosfato Monopotásico	52% P ₂ O ₅ , 34% K ₂ O	0,0			
Fosfato Monoamónico	12% N, 60% P ₂ O ₅	0,0	6,9075	13,815	20,723
Sulfato Potasio	50% K ₂ O, 18% S	0,0			
Sulfato Magnesio	16% MgO, 13% S	0,0	19,71	39,420	59,130
Quelato Hierro	6% Fe	0,0	0,255	0,51	0,765
Acido Bórico	18% B	0,0	0,045	0,09	0,135
Sulfato Manganeso	25% Mn	0,0	0,050	0,099	0,149
Sulfato Zinc	23% Zn	0,0	0,014	0,027	0,041
Sulfato Cobre	25% Cu	0,0	0,006	0,012	0,018
Molibdato Amonio	54% Mo	0,0	0,002	0,003	0,005

Anexo 8: Contenido de nutrientes del tratamiento sin Ca a las tres dosis evaluadas

FERTILIZANTES (g)	LEY (%)	Testigo absoluto	Factor Deficiencia nutricional sin Ca		
		T0	50% (T13)	100% (T14)	150% (T15)
Nitrato Potasio	13.5% N, 46% K ₂ O	0,0	22,5	45,0	67,5
Nitrato amonio	31% N	0,0	1,8	3,6703	5,5
Nitrato Calcio	15.5%N, 26% CaO	0,0			
Fosfato Monopotásico	52% P ₂ O ₅ , 34% K ₂ O	0,0	7,6	15,12	22,7
Fosfato Monoamónico	12% N, 60% P ₂ O ₅	0,0			
Sulfato Potasio	50% K ₂ O, 18% S	0,0	1,5	2,94	4,4
Sulfato Magnesio	16% MgO, 13% S	0,0	19,7	39,42	59,1
Quelato Hierro	6% Fe	0,0	0,255	0,51	0,765
Acido Bórico	18% B	0,0	0,045	0,09	0,135
Sulfato Manganeso	25% Mn	0,0	0,050	0,099	0,149
Sulfato Zinc	23% Zn	0,0	0,014	0,027	0,041
Sulfato Cobre	25% Cu	0,0	0,006	0,012	0,018
Molibdato Amonio	54% Mo	0,0	0,002	0,003	0,005

Anexo 9: Contenido de nutrientes del tratamiento sin Mg a las tres dosis evaluadas

FERTILIZANTES (g)	LEY (%)	Testigo absoluto	Factor deficiencia Nutricional sin Mg		
		T0	50% (T16)	100% (T17)	150% (T18)
Nitrato Potasio	13.5% N, 46% K ₂ O	0,0	22,5	45,0	67,5
Nitrato amonio	31% N	0,0	10,8	21,6	32,4
Nitrato Calcio	15.5%N, 26% CaO	0,0	17,1	34,2	51,3
Fosfato Monopotásico	52% P ₂ O ₅ , 34% K ₂ O	0,0	7,6	15,12	22,7
Fosfato Monoamónico	12% N, 60% P ₂ O ₅	0,0	1,5	2,9	4,4
Sulfato Potasio	50% K ₂ O, 18% S	0,0			
Sulfato Magnesio	16% MgO, 13% S	0,0			
Quelato Hierro	6% Fe	0,0	0,255	0,51	0,765
Acido Bórico	18% B	0,0	0,045	0,09	0,135
Sulfato Manganeso	25% Mn	0,0	0,050	0,099	0,149
Sulfato Zinc	23% Zn	0,0	0,014	0,027	0,041
Sulfato Cobre	25% Cu	0,0	0,006	0,012	0,018
Molibdato Amonio	54% Mo	0,0	0,002	0,003	0,005

Anexo 10: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la altura de planta

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	Longitud 5ta ev	57	0.55	0.33	22.81
Sin testigo	Longitud 5ta ev	54	0.49	0.25	22.8

Cuadro de Análisis de la Varianza Ev. 5 de Longitud (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	14934.52	18	829.7	2.56	0.0074	*
Deficiencia	8430.08	5	1686.02	5.19	0.0015	*
Dosis	1399.38	2	699.69	2.16	0.1416	n.s.
Deficiencia*Dosis	2003.23	10	200.32	0.62	0.8103	n.s.
Testigo vs. Resto	3101.83	1	3101.83	9.56	0.0037	*
Error	12333.5	38	324.57			
Total	27268.01	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=55.45318

Error: 324.5657 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	100%	109.77	3	10.4	A
Sin K	100%	95.17	3	10.4	A B
Sin N	50%	92.93	3	10.4	A B
Sin Ca	50%	91.47	3	10.4	A B
Sin Ca	100%	89.27	3	10.4	A B
Sin deficiencia	50%	88.67	3	10.4	A B
Sin Mg	100%	88.17	3	10.4	A B
Sin K	150%	87.93	3	10.4	A B
Sin K	50%	83.83	3	10.4	A B
Sin deficiencia	150%	83.53	3	10.4	A B
Sin N	100%	82.9	3	10.4	A B
Sin Mg	50%	78	3	10.4	A B
Sin Mg	150%	75.6	3	10.4	A B
Sin N	150%	75.33	3	10.4	A B
Sin Ca	150%	66.77	3	10.4	A B
Sin P	50%	60.73	3	10.4	A B
Sin P	150%	53.52	3	10.4	B
Sin P	100%	49.67	3	10.4	B
Testigo	0%	47.7	3	10.4	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=25.47785

Error: 324.5700 gl: 38

Deficiencia nutricional	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	93.99	9	6.14	A
Sin K	88.98	9	6.14	A
Sin N	83.72	9	6.14	A
Sin Ca	82.5	9	6.14	A
Sin Mg	80.59	9	6.14	A
Sin P	54.64	9	6.14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=14.64582

Error: 324.5700 gl: 38

Dosis de solución nutritiva	Medias	n	E.E.	Significancia
100%	85.82	18	4.34	A
50%	82.61	18	4.34	A
150%	73.78	18	4.34	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=54.96121

Error: 324.5700 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia	
Sin deficiencia	100%	109.77	3	10.63	A	
Sin K	100%	95.17	3	10.63	A	B
Sin N	50%	92.93	3	10.63	A	B
Sin Ca	50%	91.47	3	10.63	A	B
Sin Ca	100%	89.27	3	10.63	A	B
Sin deficiencia	50%	88.67	3	10.63	A	B
Sin Mg	100%	88.17	3	10.63	A	B
Sin K	150%	87.93	3	10.63	A	B
Sin K	50%	83.83	3	10.63	A	B
Sin deficiencia	150%	83.53	3	10.63	A	B
Sin N	100%	82.9	3	10.63	A	B
Sin Mg	50%	78	3	10.63	A	B
Sin Mg	150%	75.6	3	10.63	A	B
Sin N	150%	75.33	3	10.63	A	B
Sin Ca	150%	66.77	3	10.63	A	B
Sin P	50%	60.73	3	10.63	A	B
Sin P	150%	53.52	3	10.63		B
Sin P	100%	49.67	3	10.63		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 11: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para el porcentaje de materia seca foliar

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%Materia seca foliar	57	0.15	0	35.83
Sin testigo	%Materia seca foliar	54	0.15	0	36.7

Cuadro de Análisis de la Varianza Núm. De tallos secos (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	959.54	18	53.31	0.36	0.9877	n.s.
Deficiencia	290.48	5	58.1	0.38	0.8613	n.s.
Dosis	56.59	2	28.3	0.18	0.8331	n.s.
Deficiencia*Dosis	605.05	10	60.5	0.39	0.9416	n.s.
Testigo vs. Resto	7.42	1	7.42	0.05	0.823	n.s.
Error	5558.55	38	146.28			
Total	6518.09	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=37.22753

Error: 146.2777 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	50%	44.21	3	6.98	A
Sin N	100%	43.25	3	6.98	A
Sin P	100%	36.92	3	6.98	A
Sin Mg	150%	35.94	3	6.98	A
Sin deficiencia	100%	35.2	3	6.98	A
Sin P	50%	34.53	3	6.98	A
Sin deficiencia	150%	34.47	3	6.98	A
Sin K	150%	34.16	3	6.98	A
Sin K	100%	32.59	3	6.98	A
Sin P	150%	32.57	3	6.98	A
Sin Mg	50%	32.52	3	6.98	A
Sin Ca	100%	32.37	3	6.98	A
Testigo	0%	32.22	3	6.98	A
Sin K	50%	31.99	3	6.98	A
Sin Mg	100%	31.12	3	6.98	A
Sin Ca	150%	30.58	3	6.98	A
Sin N	50%	29.76	3	6.98	A
Sin N	150%	29.26	3	6.98	A
Sin Ca	50%	27.64	3	6.98	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=17.10413

Error: 146.2800 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	37.96	9	4.14	A
Sin P	34.67	9	4.14	A
Sin N	34.09	9	4.14	A
Sin Mg	33.19	9	4.14	A
Sin K	32.92	9	4.14	A
Sin Ca	30.2	9	4.14	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=9.83223

Error: 146.2800 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
100%	35.24	18	2.93	A
50%	33.44	18	2.93	A
150%	32.83	18	2.93	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=36.89730

Error: 146.2800 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	50%	44.21	3	7.17	A
Sin N	100%	43.25	3	7.17	A
Sin P	100%	36.92	3	7.17	A
Sin Mg	150%	35.94	3	7.17	A
Sin deficiencia	100%	35.20	3	7.17	A
Sin P	50%	34.53	3	7.17	A
Sin deficiencia	150%	34.47	3	7.17	A
Sin K	150%	34.16	3	7.17	A
Sin K	100%	32.59	3	7.17	A
Sin P	150%	32.57	3	7.17	A
Sin Mg	50%	32.52	3	7.17	A
Sin Ca	100%	32.37	3	7.17	A
Sin K	50%	31.99	3	7.17	A
Sin Mg	100%	31.12	3	7.17	A
Sin Ca	150%	30.58	3	7.17	A
Sin N	50%	29.76	3	7.17	A
Sin N	150%	29.26	3	7.17	A
Sin Ca	50%	27.64	3	7.17	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 12: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para el porcentaje de materia seca de la corona

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%Materia seca radicular	57	0.45	0.19	19.53
Sin testigo	%Materia seca radicular	54	0.45	0.19	20.01

Cuadro de Análisis de la Varianza Núm. De tallos secos (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	806.4	18	44.8	1.73	0.077	n.s.
Deficiencia	505.51	5	101.1	3.70	0.0083	*
Dosis	12.29	2	6.14	0.23	0.7995	n.s.
Deficiencia*Dosis	286.41	10	28.64	1.05	0.4245	n.s.
Testigo vs. Resto	2.19	1	2.19	0.08	0.7729	n.s.
Error	984.57	38	25.91			
Total	1790.96	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=15.66772

Error: 25.9096 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia	
Sin deficiencia	50%	34.06	3	2.94	A	
Sin deficiencia	100%	31.37	3	2.94	A	B
Sin N	100%	30.73	3	2.94	A	B
Sin Ca	150%	30.04	3	2.94	A	B
Sin N	150%	27.88	3	2.94	A	B
Sin Mg	150%	27.66	3	2.94	A	B
Sin Ca	100%	27.38	3	2.94	A	B
Sin N	50%	27.05	3	2.94	A	B
Testigo	0%	25.23	3	2.94	A	B
Sin K	150%	25.12	3	2.94	A	B
Sin Ca	50%	25.09	3	2.94	A	B
Sin deficiencia	150%	24.9	3	2.94	A	B
Sin Mg	100%	24.83	3	2.94	A	B
Sin Mg	50%	24.75	3	2.94	A	B
Sin P	50%	24.1	3	2.94	A	B
Sin K	50%	23.8	3	2.94	A	B
Sin K	100%	22.37	3	2.94	A	B
Sin P	100%	21.76	3	2.94	A	B
Sin P	150%	17	3	2.94		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.19851

Error: 25.9100 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	30.11	9	1.74	A
Sin N	28.55	9	1.74	A
Sin Ca	27.5	9	1.74	A B
Sin Mg	25.75	9	1.74	A B
Sin K	23.76	9	1.74	A B
Sin P	20.95	9	1.74	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.13803

Error: 25.9100 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
50%	26.48	18	1.23	A
100%	26.4	18	1.23	A
150%	25.43	18	1.23	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=15.52872

Error: 25.9100 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	50%	34.06	3	3.02	A
Sin deficiencia	100%	31.37	3	3.02	A B
Sin N	100%	30.73	3	3.02	A B
Sin Ca	150%	30.04	3	3.02	A B
Sin N	150%	27.88	3	3.02	A B
Sin Mg	150%	27.66	3	3.02	A B
Sin Ca	100%	27.38	3	3.02	A B
Sin N	50%	27.05	3	3.02	A B
Sin K	150%	25.12	3	3.02	A B
Sin Ca	50%	25.09	3	3.02	A B
Sin deficiencia	150%	24.90	3	3.02	A B
Sin Mg	100%	24.83	3	3.02	A B
Sin Mg	50%	24.75	3	3.02	A B
Sin P	50%	24.10	3	3.02	A B
Sin K	50%	23.80	3	3.02	A B
Sin K	100%	22.37	3	3.02	A B
Sin P	100%	21.76	3	3.02	A B
Sin P	150%	17.00	3	3.02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 13: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para el número total de tallos

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	Num. Total tallos	57	0.56	0.35	35.73
Sin testigo	Num. Total tallos	54	0.51	0.28	35.51

Cuadro de Análisis de la Varianza Núm. De tallos secos (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	405.23	18	22.51	2.7	0.005	*
Deficiencia	45.65	5	9.13	1.04	0.4105	n.s.
Dosis	109.15	2	54.57	6.20	0.0048	*
Deficiencia*Dosis	178.85	10	17.89	2.03	0.0585	n.s.
Testigo vs. Resto	71.58	1	71.58	8.57	0.0057	*
Error	317.33	38	8.35			
Total	722.56	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=8.89490

Error: 8.3509 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	150%	12.67	3	1.67	A
Sin deficiencia	150%	12.67	3	1.67	A
Sin Ca	50%	11.33	3	1.67	A B
Sin N	150%	10.67	3	1.67	A B
Sin Mg	50%	10.33	3	1.67	A B
Sin Mg	150%	10.33	3	1.67	A B
Sin deficiencia	100%	9	3	1.67	A B
Sin P	150%	8.67	3	1.67	A B
Sin Ca	100%	8	3	1.67	A B
Sin K	100%	8	3	1.67	A B
Sin K	50%	7.67	3	1.67	A B
Sin N	100%	7	3	1.67	A B
Sin Ca	150%	6.67	3	1.67	A B
Sin N	50%	6.33	3	1.67	A B
Sin deficiencia	50%	6	3	1.67	A B
Sin P	50%	5.67	3	1.67	A B
Sin P	100%	5.67	3	1.67	A B
Sin Mg	100%	3.67	3	1.67	B
Testigo	0%	3.33	3	1.67	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.08650

Error: 8.3500 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	9.44	9	0.99	A
Sin deficiencia	9.22	9	0.99	A
Sin Ca	8.67	9	0.99	A
Sin Mg	8.11	9	0.99	A
Sin N	8	9	0.99	A
Sin P	6.67	9	0.99	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.34911

Error: 8.3500 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
150%	10.28	18	0.7	A
50%	7.89	18	0.7	B
100%	6.89	18	0.7	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=8.81547

Error: 8.3500 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	150%	12.67	3	1.71	A
Sin deficiencia	150%	12.67	3	1.71	A
Sin Ca	50%	11.33	3	1.71	A B
Sin N	150%	10.67	3	1.71	A B
Sin Mg	50%	10.33	3	1.71	A B
Sin Mg	150%	10.33	3	1.71	A B
Sin deficiencia	100%	9	3	1.71	A B
Sin P	150%	8.67	3	1.71	A B
Sin Ca	100%	8	3	1.71	A B
Sin K	100%	8	3	1.71	A B
Sin K	50%	7.67	3	1.71	A B
Sin N	100%	7	3	1.71	A B
Sin Ca	150%	6.67	3	1.71	A B
Sin N	50%	6.33	3	1.71	A B
Sin deficiencia	50%	6	3	1.71	A B
Sin P	50%	5.67	3	1.71	A B
Sin P	100%	5.67	3	1.71	A B
Sin Mg	100%	3.67	3	1.71	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 14: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de nitrógeno foliar

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%N Foliar	57	0.46	0.21	24.14
Sin testigo	%N Foliar	54	0.44	0.17	24.38

Cuadro de Análisis de la Varianza Analisis Foliar (%N) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	8.84	18	0.49	1.82	0.0593	n.s.
Deficiencia	3.81	5	0.76	2.69	0.0363	*
Dosis	0.65	2	0.32	1.14	0.3301	n.s.
Deficiencia*Dosis	3.45	10	0.35	1.22	0.3113	n.s.
Testigo vs. Resto	0.94	1	0.94	3.48	0.0699	n.s.
Error	10.25	38	0.27			
Total	19.09	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.59826

Error: 0.2696 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	50%	2.94	3	0.3	A
Sin P	150%	2.7	3	0.3	A
Sin deficiencia	50%	2.6	3	0.3	A
Sin deficiencia	100%	2.5	3	0.3	A
Sin Ca	100%	2.43	3	0.3	A
Sin P	50%	2.43	3	0.3	A
Sin P	100%	2.28	3	0.3	A
Sin Mg	100%	2.24	3	0.3	A
Sin Mg	50%	2.24	3	0.3	A
Sin deficiencia	150%	2.2	3	0.3	A
Sin Mg	150%	2.15	3	0.3	A
Sin N	100%	2.05	3	0.3	A
Sin K	150%	2.05	3	0.3	A
Sin K	100%	1.87	3	0.3	A
Sin Ca	50%	1.84	3	0.3	A
Sin Ca	150%	1.68	3	0.3	A
Sin N	50%	1.67	3	0.3	A
Testigo	0%	1.61	3	0.3	A
Sin N	150%	1.4	3	0.3	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.73429

Error: 0.2696 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin P	2.47	9	0.18	A
Sin deficiencia	2.43	9	0.18	A B
Sin K	2.29	9	0.18	A B
Sin Mg	2.21	9	0.18	A B
Sin Ca	1.98	9	0.18	A B
Sin N	1.71	9	0.18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.42210

Error: 0.2696 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
50%	2.29	18	0.13	A
100%	2.23	18	0.13	A
150%	2.03	18	0.13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.58402

Error: 0.2696 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	50%	2.94	3	0.31	A
Sin P	150%	2.7	3	0.31	A
Sin deficiencia	50%	2.6	3	0.31	A
Sin deficiencia	100%	2.5	3	0.31	A
Sin P	50%	2.43	3	0.31	A
Sin Ca	100%	2.43	3	0.31	A
Sin P	100%	2.28	3	0.31	A
Sin Mg	100%	2.24	3	0.31	A
Sin Mg	50%	2.24	3	0.31	A
Sin deficiencia	150%	2.2	3	0.31	A
Sin Mg	150%	2.15	3	0.31	A
Sin N	100%	2.05	3	0.31	A
Sin K	150%	2.05	3	0.31	A
Sin K	100%	1.87	3	0.31	A
Sin Ca	50%	1.84	3	0.31	A
Sin Ca	150%	1.68	3	0.31	A
Sin N	50%	1.67	3	0.31	A
Sin N	150%	1.4	3	0.31	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 15: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de nitrógeno en la corona

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%N Radicular	57	0.66	0.5	37.97
Sin testigo	%N Radicular	54	0.65	0.48	37.14

Cuadro de Análisis de la Varianza Analisis Radicular (%N) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	7.48	18	0.42	4.07	0.0001	*
Deficiencia	2.46	5	0.49	4.75	0.002	*
Dosis	1.11	2	0.55	5.36	0.0091	*
Deficiencia*Dosis	3.3	10	0.33	3.19	0.005	*
Testigo vs. Resto	0.62	1	0.62	6.04	0.0186	*
Error	3.88	38	0.1			
Total	11.36	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.98304

Error: 0.1020 gl: 38

Deficiencia	Concentración	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	100%	1.87	3	0.18	A
Sin deficiencia	150%	1.31	3	0.18	A B
Sin P	100%	1.23	3	0.18	A B
Sin Ca	150%	1.12	3	0.18	A B
Sin Mg	150%	1.12	3	0.18	A B
Sin K	150%	1.03	3	0.18	A B
Sin P	150%	0.85	3	0.18	B
Sin P	50%	0.84	3	0.18	B
Sin Mg	50%	0.8	3	0.18	B
Sin deficiencia	50%	0.78	3	0.18	B
Sin deficiencia	100%	0.77	3	0.18	B
Sin Ca	100%	0.73	3	0.18	B
Sin Mg	100%	0.65	3	0.18	B
Sin K	50%	0.61	3	0.18	B
Sin N	150%	0.55	3	0.18	B
Sin N	50%	0.52	3	0.18	B
Sin Ca	50%	0.44	3	0.18	B
Testigo	0%	0.4	3	0.18	B
Sin N	100%	0.37	3	0.18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45166

Error: 0.1020 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia	
Sin K	1.17	9	0.11	A	
Sin P	0.97	9	0.11	A	
Sin deficiencia	0.95	9	0.11	A	
Sin Mg	0.86	9	0.11	A	B
Sin Ca	0.76	9	0.11	A	B
Sin N	0.48	9	0.11	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.25963

Error: 0.1020 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia	
150%	1	18	0.08	A	
100%	0.94	18	0.08	A	
50%	0.67	18	0.08	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.97432

Error: 0.1020 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia	
Sin K	100%	1.87	3	0.19	A	
Sin deficiencia	150%	1.31	3	0.19	A	B
Sin P	100%	1.23	3	0.19	A	
Sin Mg	150%	1.12	3	0.19	A	B
Sin Ca	150%	1.12	3	0.19	A	B
Sin K	150%	1.03	3	0.19	A	B
Sin P	150%	0.85	3	0.19	B	
Sin P	50%	0.84	3	0.19	B	
Sin Mg	50%	0.8	3	0.19	B	
Sin deficiencia	50%	0.78	3	0.19	B	
Sin deficiencia	100%	0.77	3	0.19	B	
Sin Ca	100%	0.73	3	0.19	B	
Sin Mg	100%	0.65	3	0.19	B	
Sin K	50%	0.61	3	0.19	B	
Sin N	150%	0.55	3	0.19	B	
Sin N	50%	0.52	3	0.19	B	
Sin Ca	50%	0.44	3	0.19	B	
Sin N	100%	0.37	3	0.19	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 16: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de fósforo foliar

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%P Foliar	57	0.3	0	60.91
Sin testigo	%P Foliar	54	0.29	0	63.2

Cuadro de Análisis de la Varianza Análisis Foliar (%P) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	0.02	18	0.0013	0.91	0.5738	n.s.
Deficiencia	0.01	5	0.0023	1.53	0.2247	n.s.
Dosis	0.00007	2	0.000035	0.02	0.9774	n.s.
Deficiencia*Dosis	0.01	10	0.0012	0.80	0.6583	n.s.
Testigo vs. Resto	0.00092	1	0.00092	0.62	0.4348	n.s.
Error	0.06	38	0.0015			
Total	0.08	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.11809

Error: 0.0015 gl: 38

Deficiencia	Concentración	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin Ca	100%	0.1	3	0.02	A
Sin deficiencia	50%	0.1	3	0.02	A
Sin K	100%	0.08	3	0.02	A
Sin N	150%	0.08	3	0.02	A
Testigo	0%	0.08	3	0.02	A
Sin deficiencia	100%	0.08	3	0.02	A
Sin K	50%	0.08	3	0.02	A
Sin K	150%	0.07	3	0.02	A
Sin deficiencia	150%	0.07	3	0.02	A
Sin P	150%	0.06	3	0.02	A
Sin Mg	50%	0.06	3	0.02	A
Sin Ca	50%	0.06	3	0.02	A
Sin Ca	150%	0.05	3	0.02	A
Sin N	50%	0.05	3	0.02	A
Sin Mg	100%	0.04	3	0.02	A
Sin Mg	150%	0.04	3	0.02	A
Sin N	100%	0.04	3	0.02	A
Sin P	50%	0.04	3	0.02	A
Sin P	100%	0.03	3	0.02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05477

Error: 0.0015 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	0.08	9	0.01	A
Sin K	0.08	9	0.01	A
Sin Ca	0.07	9	0.01	A
Sin N	0.06	9	0.01	A
Sin Mg	0.05	9	0.01	A
Sin P	0.04	9	0.01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03149

Error: 0.0015 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
50%	0.06	18	0.01	A
150%	0.06	18	0.01	A
100%	0.06	18	0.01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.11815

Error: 0.0015 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin Ca	100%	0.1	3	0.02	A
Sin deficiencia	50%	0.1	3	0.02	A
Sin K	100%	0.08	3	0.02	A
Sin N	150%	0.08	3	0.02	A
Sin K	50%	0.08	3	0.02	A
Sin deficiencia	100%	0.08	3	0.02	A
Sin K	150%	0.07	3	0.02	A
Sin deficiencia	150%	0.07	3	0.02	A
Sin P	150%	0.06	3	0.02	A
Sin Mg	50%	0.06	3	0.02	A
Sin Ca	50%	0.06	3	0.02	A
Sin Ca	150%	0.05	3	0.02	A
Sin N	50%	0.05	3	0.02	A
Sin Mg	100%	0.04	3	0.02	A
Sin Mg	150%	0.04	3	0.02	A
Sin P	50%	0.04	3	0.02	A
Sin N	100%	0.04	3	0.02	A
Sin P	100%	0.03	3	0.02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 17: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de fósforo en la corona

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%P Radicular	57	0.53	0.3	54.08
Sin testigo	%P Radicular	54	0.52	0.3	54.57

Cuadro de Análisis de la Varianza Análisis Radicular (%P) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	0.01	18	0.0007	2.33	0.0139	*
Deficiencia	0.01	5	0.0015	5.00	0.0017	*
Dosis	0.0013	2	0.00066	2.20	0.1384	n.s.
Deficiencia*Dosis	0.0034	10	0.00034	1.13	0.4057	n.s.
Testigo vs. Resto	0.00024	1	0.00024	0.81	0.3737	n.s.
Error	0.01	38	0.0003			
Total	0.02	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05347

Error: 0.0003 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	150%	0.06	3	0.01	A
Sin K	100%	0.06	3	0.01	A B
Sin K	150%	0.06	3	0.01	A B
Sin Mg	100%	0.04	3	0.01	A B
Sin deficiencia	100%	0.04	3	0.01	A B
Sin N	100%	0.04	3	0.01	A B
Sin K	50%	0.03	3	0.01	A B
Sin N	50%	0.03	3	0.01	A B
Sin Ca	50%	0.03	3	0.01	A B
Sin deficiencia	50%	0.03	3	0.01	A B
Sin Mg	150%	0.03	3	0.01	A B
Sin N	150%	0.03	3	0.01	A B
Testigo	0%	0.02	3	0.01	A B
Sin Ca	150%	0.02	3	0.01	A B
Sin P	100%	0.02	3	0.01	A B
Sin Mg	50%	0.02	3	0.01	A B
Sin Ca	100%	0.02	3	0.01	A B
Sin P	150%	0.01	3	0.01	A B
Sin P	50%	0.01	3	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02449

Error: 0.0003 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	0.05	9	0.01	A
Sin deficiencia	0.04	9	0.01	A
Sin N	0.03	9	0.01	A B
Sin Mg	0.03	9	0.01	A B
Sin Ca	0.02	9	0.01	A B
Sin P	0.01	9	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01408

Error: 0.0003 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
150%	0.04	18	4.20E-03	A
100%	0.04	18	4.20E-03	A
50%	0.03	18	4.20E-03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05284

Error: 0.0003 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	150%	0.06	3	0.01	A
Sin K	100%	0.06	3	0.01	A B
Sin K	150%	0.06	3	0.01	A B
Sin Mg	100%	0.04	3	0.01	A B
Sin deficiencia	100%	0.04	3	0.01	A B
Sin N	100%	0.04	3	0.01	A B
Sin N	50%	0.03	3	0.01	A B
Sin K	50%	0.03	3	0.01	A B
Sin Ca	50%	0.03	3	0.01	A B
Sin deficiencia	50%	0.03	3	0.01	A B
Sin Mg	150%	0.03	3	0.01	A B
Sin N	150%	0.03	3	0.01	A B
Sin Ca	150%	0.02	3	0.01	A B
Sin P	100%	0.02	3	0.01	A B
Sin Ca	100%	0.02	3	0.01	A B
Sin Mg	50%	0.02	3	0.01	A B
Sin P	150%	0.01	3	0.01	A B
Sin P	50%	0.01	3	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 18: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de potasio foliar

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%K Foliar	57	0.61	0.43	19.01
Sin testigo	%K Foliar	54	0.61	0.43	19.34

Cuadro de Análisis de la Varianza Análisis Foliar (%K) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	4.66	18	0.26	3.37	0.0008	*
Deficiencia	2.93	5	0.59	7.38	0.0001	*
Dosis	0.53	2	0.27	3.38	0.0472	*
Deficiencia*Dosis	1.14	10	0.11	1.38	0.2108	n.s.
Testigo vs. Resto	0.05	1	0.05	0.67	0.4166	n.s.
Error	2.92	38	0.08			
Total	7.58	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.85305

Error: 0.0768 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia		
Sin deficiencia	100%	1.98	3	0.16	A		
Sin Mg	100%	1.85	3	0.16	A	B	
Sin Ca	100%	1.7	3	0.16	A	B	
Sin deficiencia	50%	1.69	3	0.16	A	B	
Sin N	150%	1.68	3	0.16	A	B	
Sin P	100%	1.55	3	0.16	A	B	
Sin N	50%	1.55	3	0.16	A	B	
Sin Ca	150%	1.52	3	0.16	A	B	
Sin deficiencia	150%	1.47	3	0.16	A	B	C
Sin Mg	50%	1.46	3	0.16	A	B	C
Sin N	100%	1.45	3	0.16	A	B	C
Sin P	150%	1.41	3	0.16	A	B	C
Sin P	50%	1.39	3	0.16	A	B	C
Sin Mg	150%	1.39	3	0.16	A	B	C
Sin Ca	50%	1.37	3	0.16	A	B	C
Testigo	0%	1.33	3	0.16	A	B	C
Sin K	50%	1.27	3	0.16	A	B	C
Sin K	100%	1.02	3	0.16		B	C
Sin K	150%	0.63	3	0.16			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.39999

Error: 0.0800 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	1.71	9	0.09	A
Sin Mg	1.57	9	0.09	A
Sin N	1.56	9	0.09	A
Sin Ca	1.53	9	0.09	A
Sin P	1.45	9	0.09	A
Sin K	0.97	9	0.09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.22993

Error: 0.0800 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
100%	1.59	18	0.07	A
50%	1.45	18	0.07	A B
150%	1.35	18	0.07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.86287

Error: 0.0800 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	100%	1.98	3	0.16	A
Sin Mg	100%	1.85	3	0.16	A B
Sin Ca	100%	1.7	3	0.16	A B
Sin deficiencia	50%	1.69	3	0.16	A B
Sin N	150%	1.68	3	0.16	A B
Sin P	100%	1.55	3	0.16	A B
Sin N	50%	1.55	3	0.16	A B
Sin Ca	150%	1.52	3	0.16	A B
Sin deficiencia	150%	1.47	3	0.16	A B C
Sin Mg	50%	1.46	3	0.16	A B C
Sin N	100%	1.45	3	0.16	A B C
Sin P	150%	1.41	3	0.16	A B C
Sin P	50%	1.39	3	0.16	A B C
Sin Mg	150%	1.39	3	0.16	A B C
Sin Ca	50%	1.37	3	0.16	A B C
Sin K	50%	1.27	3	0.16	A B C
Sin K	100%	1.02	3	0.16	B C
Sin K	150%	0.63	3	0.16	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 19: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de potasio en la corona

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%K Radicular	57	0.65	0.49	16.58
Sin testigo	%K Radicular	54	0.66	0.5	16.75

Cuadro de Análisis de la Varianza Análisis Radicular (%K) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	1.54	18	0.09	4.01	0.0002	*
Deficiencia	1	5	0.2	10.00	<0.0001	**
Dosis	0.08	2	0.04	2.00	0.1797	n.s.
Deficiencia*Dosis	0.43	10	0.04	2.00	0.0655	n.s.
Testigo vs. Resto	0.03	1	0.03	1.57	0.2175	n.s.
Error	0.81	38	0.02			
Total	2.35	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.44941

Error: 0.0213 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	100%	1.07	3	0.08	A
Sin P	100%	1.04	3	0.08	A
Sin Mg	150%	1.02	3	0.08	A
Sin P	150%	1.01	3	0.08	A
Sin Ca	150%	1.01	3	0.08	A
Sin deficiencia	150%	1.00	3	0.08	A
Sin N	100%	1.00	3	0.08	A
Sin P	50%	0.99	3	0.08	A
Testigo	0%	0.98	3	0.08	A
Sin Mg	100%	0.92	3	0.08	A
Sin N	150%	0.90	3	0.08	A
Sin N	50%	0.88	3	0.08	A
Sin Ca	50%	0.86	3	0.08	A
Sin deficiencia	50%	0.79	3	0.08	A
Sin Ca	100%	0.75	3	0.08	A
Sin Mg	50%	0.75	3	0.08	A
Sin K	50%	0.67	3	0.08	A
Sin K	100%	0.67	3	0.08	A
Sin K	150%	0.42	3	0.08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.20000

Error: 0.0200 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin P	1.01	9	0.05	A
Sin deficiencia	0.95	9	0.05	A
Sin N	0.93	9	0.05	A
Sin Mg	0.9	9	0.05	A
Sin Ca	0.87	9	0.05	A
Sin K	0.59	9	0.05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.11497

Error: 0.0200 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
100%	0.91	18	0.03	A
150%	0.89	18	0.03	A
50%	0.82	18	0.03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.43144

Error: 0.0200 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin deficiencia	100%	1.07	3	0.08	A
Sin P	100%	1.04	3	0.08	A
Sin Mg	150%	1.02	3	0.08	A
Sin P	150%	1.01	3	0.08	A
Sin Ca	150%	1.01	3	0.08	A
Sin deficiencia	150%	1.00	3	0.08	A
Sin N	100%	1.00	3	0.08	A
Sin P	50%	0.99	3	0.08	A
Sin Mg	100%	0.92	3	0.08	A
Sin N	150%	0.90	3	0.08	A
Sin N	50%	0.88	3	0.08	A
Sin Ca	50%	0.86	3	0.08	A
Sin deficiencia	50%	0.79	3	0.08	A
Sin Ca	100%	0.75	3	0.08	A
Sin Mg	50%	0.75	3	0.08	A
Sin K	50%	0.67	3	0.08	A
Sin K	100%	0.67	3	0.08	A
Sin K	150%	0.42	3	0.08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 20: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de calcio foliar

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%Ca Foliar	57	0.62	0.44	20.6
Sin testigo	%Ca Foliar	54	0.61	0.43	20.8

Cuadro de Análisis de la Varianza Análisis Foliar (%Ca) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	2.85	18	0.16	3.42	0.0007	*
Deficiencia	1	5	0.2	4.00	0.0043	*
Dosis	0.85	2	0.42	8.40	0.0008	*
Deficiencia*Dosis	0.88	10	0.09	1.80	0.0893	n.s.
Testigo vs. Resto	0.12	1	0.12	2.51	0.1217	n.s.
Error	1.76	38	0.05			
Total	4.61	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.66261

Error: 0.0463 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia		
Sin N	50%	1.55	3	0.12	A		
Sin P	50%	1.39	3	0.12	A	B	
Sin Mg	50%	1.34	3	0.12	A	B	C
Sin N	100%	1.26	3	0.12	A	B	C
Sin P	100%	1.22	3	0.12	A	B	C
Sin Mg	150%	1.21	3	0.12	A	B	C
Sin Ca	50%	1.17	3	0.12	A	B	C
Sin Ca	150%	1.05	3	0.12	A	B	C
Sin K	50%	0.99	3	0.12	A	B	C
Sin deficiencia	50%	0.97	3	0.12	A	B	C
Sin K	150%	0.95	3	0.12	A	B	C
Sin Mg	100%	0.94	3	0.12	A	B	C
Sin P	150%	0.91	3	0.12	A	B	C
Sin Ca	100%	0.88	3	0.12		B	C
Sin deficiencia	100%	0.87	3	0.12		B	C
Testigo	0%	0.85	3	0.12		B	C
Sin N	150%	0.82	3	0.12		B	C
Sin deficiencia	150%	0.81	3	0.12		B	C
Sin K	100%	0.68	3	0.12			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.31622

Error: 0.0500 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia	
Sin N	1.21	9	0.07	A	
Sin P	1.17	9	0.07	A	B
Sin Mg	1.16	9	0.07	A	B
Sin Ca	1.03	9	0.07	A	B
Sin deficiencia	0.89	9	0.07	B	
Sin K	0.87	9	0.07	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.18178

Error: 0.0500 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia	
50%	1.23	18	0.05	A	
100%	0.97	18	0.05	B	
150%	0.96	18	0.05	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.68216

Error: 0.0500 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia		
Sin N	50%	1.55	3	0.13	A		
Sin P	50%	1.39	3	0.13	A	B	
Sin Mg	50%	1.34	3	0.13	A	B	C
Sin N	100%	1.26	3	0.13	A	B	C
Sin P	100%	1.22	3	0.13	A	B	C
Sin Mg	150%	1.21	3	0.13	A	B	C
Sin Ca	50%	1.17	3	0.13	A	B	C
Sin Ca	150%	1.05	3	0.13	A	B	C
Sin K	50%	0.99	3	0.13	A	B	C
Sin deficiencia	50%	0.97	3	0.13	A	B	C
Sin K	150%	0.95	3	0.13	A	B	C
Sin Mg	100%	0.94	3	0.13	A	B	C
Sin P	150%	0.91	3	0.13	A	B	C
Sin Ca	100%	0.88	3	0.13	A	B	C
Sin deficiencia	100%	0.87	3	0.13	A	B	C
Sin N	150%	0.82	3	0.13	B		C
Sin deficiencia	150%	0.81	3	0.13	B		C
Sin K	100%	0.68	3	0.13	C		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 21: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de calcio en la corona

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%Ca Radicular	57	0.37	0.07	19.22
Sin testigo	%Ca Radicular	54	0.38	0.09	19.37

Cuadro de Análisis de la Varianza Análisis Radicular (%Ca) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	0.09	18	0.01	1.25	0.2747	n.s.
Deficiencia	0.04	5	0.01	2.38	0.0979	n.s.
Dosis	0.01	2	0.01	2.38	0.2398	n.s.
Deficiencia*Dosis	0.04	10	0.0039	0.93	0.5413	n.s.
Testigo vs. Resto	0.0000032	1	0.0000032	0.00076	0.9781	n.s.
Error	0.16	38	0.0042			
Total	0.25	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.19977

Error: 0.0042 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	150%	0.43	3	0.04	A
Sin Mg	150%	0.41	3	0.04	A
Sin deficiencia	150%	0.38	3	0.04	A
Sin P	50%	0.37	3	0.04	A
Sin Mg	100%	0.36	3	0.04	A
Sin K	100%	0.36	3	0.04	A
Sin P	100%	0.36	3	0.04	A
Testigo	0%	0.34	3	0.04	A
Sin Ca	50%	0.34	3	0.04	A
Sin K	50%	0.33	3	0.04	A
Sin deficiencia	100%	0.33	3	0.04	A
Sin P	150%	0.33	3	0.04	A
Sin Ca	150%	0.32	3	0.04	A
Sin Ca	100%	0.32	3	0.04	A
Sin Mg	50%	0.32	3	0.04	A
Sin N	50%	0.31	3	0.04	A
Sin N	150%	0.28	3	0.04	A
Sin N	100%	0.28	3	0.04	A
Sin deficiencia	50%	0.27	3	0.04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.09165

Error: 0.0042 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	0.37	9	0.02	A
Sin Mg	0.36	9	0.02	A
Sin P	0.35	9	0.02	A
Sin Ca	0.33	9	0.02	A
Sin deficiencia	0.32	9	0.02	A
Sin N	0.29	9	0.02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05268

Error: 0.0042 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
150%	0.36	18	0.02	A
100%	0.33	18	0.02	A
50%	0.32	18	0.02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.19771

Error: 0.0042 gl: 38

Deficiencia	Concentracion	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin K	150%	0.43	3	0.04	A
Sin Mg	150%	0.41	3	0.04	A
Sin deficiencia	150%	0.38	3	0.04	A
Sin P	50%	0.37	3	0.04	A
Sin Mg	100%	0.36	3	0.04	A
Sin K	100%	0.36	3	0.04	A
Sin P	100%	0.36	3	0.04	A
Sin Ca	50%	0.34	3	0.04	A
Sin K	50%	0.33	3	0.04	A
Sin P	150%	0.33	3	0.04	A
Sin deficiencia	100%	0.33	3	0.04	A
Sin Ca	150%	0.32	3	0.04	A
Sin Ca	100%	0.32	3	0.04	A
Sin Mg	50%	0.32	3	0.04	A
Sin N	50%	0.31	3	0.04	A
Sin N	150%	0.28	3	0.04	A
Sin N	100%	0.28	3	0.04	A
Sin deficiencia	50%	0.27	3	0.04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 22: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de magnesio foliar

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%Mg Foliar	57	0.61	0.43	23.53
Sin testigo	%Mg Foliar	54	0.61	0.42	23.68

Cuadro de Análisis de la Varianza Análisis Foliar (%Mg) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	0.26	18	0.01	3.33	0.0009	*
Deficiencia	0.15	5	0.03	6.82	0.0002	*
Dosis	0.04	2	0.02	4.55	0.0163	*
Deficiencia*Dosis	0.06	10	0.01	2.27	0.2529	n.s.
Testigo vs. Resto	0.01	1	0.01	2.11	0.1541	n.s.
Error	0.17	38	0.0044			
Total	0.43	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.20321

Error: 0.0044 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia		
Sin K	150%	0.38	3	0.04	A		
Sin Ca	150%	0.38	3	0.04	A	B	
Sin P	150%	0.36	3	0.04	A	B	C
Sin N	50%	0.35	3	0.04	A	B	C
Sin N	100%	0.34	3	0.04	A	B	C
Sin P	50%	0.33	3	0.04	A	B	C
Sin N	150%	0.32	3	0.04	A	B	C
Sin Ca	50%	0.3	3	0.04	A	B	C
Sin Ca	100%	0.3	3	0.04	A	B	C
Sin deficiencia	150%	0.29	3	0.04	A	B	C
Sin P	100%	0.28	3	0.04	A	B	C
Sin Mg	50%	0.27	3	0.04	A	B	C
Sin K	50%	0.25	3	0.04	A	B	C
Sin K	100%	0.24	3	0.04	A	B	C
Testigo	0%	0.23	3	0.04	A	B	C
Sin deficiencia	50%	0.21	3	0.04	A	B	C
Sin deficiencia	100%	0.18	3	0.04		B	C
Sin Mg	150%	0.17	3	0.04			C
Sin Mg	100%	0.16	3	0.04			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.09381

Error: 0.0044 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia	
Sin N	0.34	9	0.02	A	
Sin Ca	0.33	9	0.02	A	
Sin P	0.32	9	0.02	A	
Sin K	0.29	9	0.02	A	B
Sin deficiencia	0.22	9	0.02	B	
Sin Mg	0.2	9	0.02	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05392

Error: 0.0044 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia	
150%	0.32	18	0.02	A	
50%	0.29	18	0.02	A	B
100%	0.25	18	0.02	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.20236

Error: 0.0044 gl: 38

Deficiencia	Concentración	Medias	n	E.E.	Significancia		
Sin K	150%	0.38	3	0.04	A		
Sin Ca	150%	0.38	3	0.04	A	B	
Sin P	150%	0.36	3	0.04	A	B	C
Sin N	50%	0.35	3	0.04	A	B	C
Sin N	100%	0.34	3	0.04	A	B	C
Sin P	50%	0.33	3	0.04	A	B	C
Sin N	150%	0.32	3	0.04	A	B	C
Sin Ca	50%	0.3	3	0.04	A	B	C
Sin Ca	100%	0.3	3	0.04	A	B	C
Sin deficiencia	150%	0.29	3	0.04	A	B	C
Sin P	100%	0.28	3	0.04	A	B	C
Sin Mg	50%	0.27	3	0.04	A	B	C
Sin K	50%	0.25	3	0.04	A	B	C
Sin K	100%	0.24	3	0.04	A	B	C
Sin deficiencia	50%	0.21	3	0.04	A	B	C
Sin deficiencia	100%	0.18	3	0.04	B		C
Sin Mg	150%	0.17	3	0.04	C		
Sin Mg	100%	0.16	3	0.04	C		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 23: Análisis de varianza y pruebas comparativas de Tukey para la concentración de magnesio en la corona

	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Testigo	%Mg Radicular	57	0.33	0.01	46.09
Sin testigo	%Mg Radicular	54	0.32	0	46.62

Cuadro de Análisis de la Varianza Análisis Radicular (%Mg) (SC tipo III)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	Significancia
Tratamiento	0.05	18	0.0027	1.02	0.4593	n.s.
Deficiencia	0.0039	5	0.00079	0.29	0.9199	n.s.
Dosis	0.02	2	0.01	3.70	0.0428	*
Deficiencia*Dosis	0.02	10	0.0023	0.85	0.6069	n.s.
Testigo vs. Resto	0.0026	1	0.0026	0.97	0.331	n.s.
Error	0.1	38	0.0027			
Total	0.15	56				

Prueba de Tukey comparando el testigo absoluto y el resto de tratamientos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15868

Error: 0.0027 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin Mg	150%	0.21	3	0.03	A
Sin K	150%	0.15	3	0.03	A
Sin deficiencia	150%	0.13	3	0.03	A
Sin Ca	150%	0.13	3	0.03	A
Sin K	100%	0.13	3	0.03	A
Sin P	100%	0.12	3	0.03	A
Sin P	150%	0.11	3	0.03	A
Sin Ca	100%	0.11	3	0.03	A
Sin P	50%	0.11	3	0.03	A
Sin N	100%	0.1	3	0.03	A
Sin deficiencia	100%	0.1	3	0.03	A
Sin N	150%	0.1	3	0.03	A
Sin N	50%	0.1	3	0.03	A
Sin K	50%	0.1	3	0.03	A
Sin Ca	50%	0.09	3	0.03	A
Sin deficiencia	50%	0.09	3	0.03	A
Testigo	0%	0.08	3	0.03	A
Sin Mg	100%	0.08	3	0.03	A
Sin Mg	50%	0.08	3	0.03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Deficiencia nutricional

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07348

Error: 0.0027 gl: 38

Deficiencia	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin Mg	0.12	9	0.02	A
Sin K	0.12	9	0.02	A
Sin P	0.11	9	0.02	A
Sin Ca	0.11	9	0.02	A
Sin deficiencia	0.11	9	0.02	A
Sin N	0.1	9	0.02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando los distintos niveles del factor Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.04224

Error: 0.0027 gl: 38

Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
150%	0.14	18	0.01	A
100%	0.11	18	0.01	A B
50%	0.09	18	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Prueba de Tukey comparando las interacciones entre el factor Deficiencia nutricional y Dosis de solución nutritiva

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15852

Error: 0.0027 gl: 38

Deficiencia	Dosis	Medias	n	E.E.	Significancia
Sin Mg	150%	0.21	3	0.03	A
Sin K	150%	0.15	3	0.03	A
Sin deficiencia	150%	0.13	3	0.03	A
Sin Ca	150%	0.13	3	0.03	A
Sin K	100%	0.13	3	0.03	A
Sin P	100%	0.12	3	0.03	A
Sin Ca	100%	0.11	3	0.03	A
Sin P	150%	0.11	3	0.03	A
Sin P	50%	0.11	3	0.03	A
Sin deficiencia	100%	0.1	3	0.03	A
Sin N	100%	0.1	3	0.03	A
Sin N	150%	0.1	3	0.03	A
Sin N	50%	0.1	3	0.03	A
Sin K	50%	0.1	3	0.03	A
Sin Ca	50%	0.09	3	0.03	A
Sin deficiencia	50%	0.09	3	0.03	A
Sin Mg	100%	0.08	3	0.03	A
Sin Mg	50%	0.08	3	0.03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)