

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
POSTGRADO**



TESIS DE MAESTRIA

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE
TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) A DIFERENTES
NIVELES DE NITRÓGENO CON FERTIRRIEGO Y SU
EFECTO RESIDUAL EN LOS FRUTOS COMERCIALES**

VICTOR PAYE HUARANCA

**La Paz – Bolivia
2015**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
POSTGRADO**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE
TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) A DIFERENTES
NIVELES DE NITRÓGENO CON FERTIRRIEGO Y SU EFECTO
RESIDUAL EN LOS FRUTOS COMERCIALES**

*Tesis de Maestría presentado como requisito parcial para optar el Título de Maestro en
Ciencias en Manejo Sostenible del Agua y Riego en Zonas Áridas*

Victor Paye Huaranca

Asesores:

Ing. M. Sc. Jorge Pascuali Cabrera

Tribunal revisor:

Ing. Ph. D. Vladimir Orsag Céspedes

Ing. M. Sc. Teresa Ruiz-Diaz Luna-Pizarro

Ing. Ph. D. Humberto Sainz Mendoza

Aprobada:

Presidente Tribunal Examinador

**La Paz – Bolivia
2015**

DEDICATORIA

En estos últimos momentos cuando todos quiera tener un final, vienen a mi mente los recuerdos del corazón de tantas personas que están presentes, con todo mi cariño y agradecimiento a mis padres: Roque Paye Quispe, † Carmen Huaranca Sanabria, a mis hermanos † Marcelino Macedonio, † Benito y † Ubaldo por su apoyo sacrificado, incansable e incondicional para mi formación personal y profesional en este Centro de Educación Superior.

También a mi linda familia Karina Laura Rodríguez y mi hijo Josué Víctor Paye Rodríguez quienes me brindaron su apoyo valioso e incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos:

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía por haberme dado la oportunidad inicial de licenciatura y ahora el postgrado de maestría, en este prestigioso centro de formación académica superior de estudios.

A todo el plantel docente del postgrado de Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, por haberme inculcado valores y compartir sus valiosas experiencias convirtiéndola en instrumentos base para forjar y aportar en el desarrollo de la Bolivia.

Al Ing. M. Sc. Jorge Pascuali Cabrera y Dra. María Torrez Tintaya por sus excelentes portes y recomendaciones que permitieron hacer realidad al presente trabajo.

Al tribunal examinador Ing. Ph. D. Vladimir Orsag Céspedes, a lá Ing. M. Sc. Teresa Ruiz-Diaz Luna-Pizarro y Ing. Ph.D. Humberto Sainz Mendoza por sus sugerencias y recomendaciones que enriquecieron para la culminación de este trabajo.

A las doctoras Nelly Limachi y Jhenny Salas del laboratorio de SELADIS, por el incansable análisis bromatológico de nitratos presentes en el tomate. A los Ingenieros Fernando Chambi y Ramiro Ochoa por su colaboración en el documento final.

A todos mis parientes, en especial a mi suegro Guillermo Rodríguez, mi cuñado Guillermo Rodríguez Altamirano y mi suegra † Juana Carmen Maldonado.

Y a todas aquellas personas que contribuyeron directa o indirectamente en el desarrollo y conclusión de este trabajo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.4.3. Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. El cultivo de tomate	5
2.1.1. Origen e importancia	5
2.1.2. Ecología del tomate	6
2.1.3. Clasificación sistemática del tomate	6
2.1.4. Tipos y cultivares de tomate	6
2.1.4.1 El tomate de crecimiento determinado.....	6
2.1.4.2 El tomate de tipo indeterminado	7
2.1.5. Plagas y enfermedades	7
2.1.5.1 Plagas	7
2.1.5.2 Enfermedades	7
2.2. Ambientes atemperados (Invernadero).....	8
2.2.1. Características generales	8
2.2.2. Temperatura	8
2.2.3. Humedad Relativa	9
2.2.4. Luminosidad	9

2.2.5.	Ventilación	9
2.3.	El ciclo del nitrógeno.....	10
2.4.	Mineralización de los compuestos nitrogenados.....	12
2.4.1.	Aminización	12
2.4.2.	Amonificación	13
2.4.3.	Nitrificación.....	14
2.5.	Bioquímica de la amonificación.....	16
2.5.1.	Proceso de la nitrificación	16
2.6.	El nitrógeno en el suelo y su importancia.....	17
2.6.1.	Contenido de nitrógeno en el suelo	18
2.6.2.	Formas del nitrógeno del suelo.....	18
2.6.3.	Nitrógeno Inorgánico	18
2.6.4.	Nitrógeno Orgánico.....	19
2.6.5.	Transformaciones del nitrógeno en los suelos	19
2.6.6.	Equilibrio del nitrógeno orgánico-mineral en el suelo	19
2.7.	Formas de aprovisionamiento de nitrógeno al suelo	20
2.7.1.	Fijación simbiótica	20
2.7.2.	Asociaciones Rhizobium - Leguminosas.....	20
2.7.3.	Fijación no simbiótica	21
2.7.4.	Fijación atmosférica a través de descargas eléctricas.	21
2.7.5.	Fijación industrial del nitrógeno.....	21
2.7.6.	Materiales Orgánicos.....	22
2.7.7.	Pérdidas de nitrógeno del suelo.....	22
2.7.8.	Reacción del NH_4^+ con el suelo	24
2.8.	Efecto de la fuente de N en las plantas.....	25
2.8.1.	Funciones del nitrógeno en las plantas.....	26
2.9.	Metabolismo del nitrógeno en las plantas	27
2.9.1.	Reducción del nitrato (NO_3) a amonio (NH_4^+).....	27
2.9.2.	Acción enzimática en la reducción del NO^- y del NO^- A NH^+	29
2.10.	El nitrógeno y sus interrelaciones.....	32
2.10.1.	El nitrógeno como NO^-	32
2.10.2.	El nitrógeno como NH^+	33
2.10.3.	Síntomas de deficiencia de nitrógeno.....	35
2.10.4.	Excesos de nitrógeno.....	35
2.10.4.1	Crecimiento de raíces	35
2.10.4.2	Fructificación	36
2.10.4.3	Volteamiento	36

2.10.4.4	Incidencia de enfermedades.....	36
2.11.	Métodos de análisis de nitrógeno.....	37
2.11.1.	Nitrógeno total.....	37
2.11.2.	Nitrógeno amoniacal	38
2.11.3.	Nitrógeno como nitratos (NO ₃ ⁻).....	39
2.11.4.	Materia orgánica	40
2.12.	Poblaciones en riesgo por nitratos y nitritos	42
2.12.1.	Población general	42
2.13.	Límites permisibles	43
2.14.	Hidroponía	43
2.14.1.	Sustrato	43
2.14.2.	Cascarilla de arroz	44
2.15.	Fertilizantes.....	44
2.15.1.	Fertilizantes nitrogenados	45
2.16.	Soluciones nutritivas	45
2.16.1.	Conductivas eléctrica (CE).....	45
2.16.2.	pH.....	45
2.16.3.	Oxígeno	46
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.1.	Localización.....	46
3.1.1.	Ubicación geográfica	46
3.1.2.	Características Edafoclimáticas.....	47
3.1.3.	Clima	47
3.1.4.	Suelo	48
3.1.5.	Flora	49
3.1.6.	Vegetación	49
3.1.7.	Fauna	50
3.1.8.	Economía	50
3.1.9.	Recursos hídricos.....	50
3.2.	Materiales.....	50
3.2.1.	Invernadero (ambiente protegido).....	50
3.2.2.	Material genético	51
3.2.3.	Materiales de laboratorio	51
3.2.4.	Material de campo	51
3.2.5.	Materiales de insumo fertilizantes hidrosolubles.....	52
3.3.	Metodología.....	52

3.3.1.	Tipo de estudio experimental	52
3.3.1.1	Tipo de muestreo.....	52
3.3.2.	Aplicación de fertilizantes hidrosoluble	53
3.3.2.1	Preparación de soluciones nutritivas	53
3.4.	Diseño Experimental.....	53
3.4.1.	Módelo lineal aditivo	53
3.4.2.	Factores de estudio o tratamientos en estudio.....	54
3.4.3.	Croquis del experimento.....	54
3.5.	Métodos de campo	55
3.5.1.	Preparación del sustrato.....	55
3.5.2.	Almacigo.....	55
3.5.3.	Trasplante	56
3.5.4.	Fertirriego	56
3.5.5.	Labores culturales	56
3.5.6.	Cosecha	57
3.6.	Variables agronómicas	57
3.6.1.	Altura de planta	57
3.6.2.	Numero de fruto por racimo	57
3.6.3.	Rendimiento del cultivo.....	57
3.6.4.	Determinación del contenido de nitratos	58
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	59
4.1.	Factores climáticos	59
4.1.1.	Temperatura ambiental.....	59
4.1.2.	Temperatura del ambiente atemperado	59
4.1.3.	Precipitación pluvial	61
4.1.4.	Humedad relativa ambiental	61
4.1.5.	Intensidad de luz	63
4.1.6.	Dióxido de carbono (CO ₂)	64
4.1.7.	Consumo de agua del cultivo de tomate	65
4.2.	Evaluación de las características agronómicas.....	66
4.2.1.	Altura de planta	66
4.2.1.1	Altura de planta a los 30 días después del trasplante	66
4.2.1.2	Altura de planta a los 60 días después del trasplante	68
4.2.1.3	Altura de planta a los 90 días después del trasplante	69
4.2.1.4	Altura de planta a los 120 días después del trasplante	71
4.2.1.5	Altura de planta a los 150 días después del trasplante	72
4.2.1.6	Altura de planta durante el ciclo fenológico (1-150 días) del cultivo	74

4.2.2.	Número de fruto por racimo	74
4.2.2.1	Número de frutos a los 90 días	74
4.2.2.2	Número de frutos a los 120 días	76
4.2.2.3	Número de frutos a los 150 días	77
4.2.3.	Rendimiento del cultivo.....	78
4.2.3.1	Rendimiento del cultivo de tomate t ha-1	78
4.2.4.	Determinación del contenido de nitratos	80
4.2.4.1	Contenido de nitratos en el tallo	80
4.2.4.2	Contenido de nitratos en el peciolo.....	82
4.2.4.3	Contenido de nitratos en la hoja	83
4.2.4.4	Contenido de nitratos en el fruto.....	84
5.	CONCLUSIONES	87
6.	RECOMENDACIONES.....	89
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	91
8.	ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Contenido de minerales y vitaminas en una porción de 100 g de tomate.....	5
Cuadro 2.	Asociaciones simbióticas	20
Cuadro 3.	Análisis de varianza de 30 días después del trasplante (ddt).....	67
Cuadro 4.	Treinta ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan	67
Cuadro 5.	Análisis de varianza de 60 días después del trasplante (ddt).....	68
Cuadro 6.	Sesenta ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan	68
Cuadro 7.	Análisis de varianza de 90 días después del trasplante (ddt).....	70
Cuadro 8.	Noventa ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.....	70
Cuadro 9.	Análisis de varianza de 120 días después del trasplante (ddt).....	71
Cuadro 10.	Ciento veinte ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.	71
Cuadro 11.	Análisis de varianza de 150 días después del trasplante (ddt).....	73
Cuadro 12.	Ciento cincuenta ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.....	73
Cuadro 13.	Análisis de varianza de número de frutos	75
Cuadro 14.	Número de frutos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.....	75
Cuadro 15.	Análisis de varianza de número de frutos	76
Cuadro 16.	Número de frutos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.....	76
Cuadro 17.	Análisis de varianza de número de frutos	77
Cuadro 18.	Número de frutos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan	78
Cuadro 19.	Análisis de varianza de rendimiento del tomate	79
Cuadro 20.	Rendimiento por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan	79
Cuadro 21.	Análisis de varianza de contenido de nitratos en el tallo	80
Cuadro 22.	Contenido de nitratos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan	81
Cuadro 23.	Análisis de varianza de contenido de nitratos en el peciolo	82
Cuadro 24.	Contenido de nitratos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.	82
Cuadro 25.	Análisis de varianza de contenido de nitratos en la hoja.....	83
Cuadro 26.	Contenido de nitratos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan	84
Cuadro 27.	Análisis de varianza de contenido de nitratos en el fruto	85
Cuadro 28.	Contenido de nitratos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	El Ciclo general del nitrógeno en el suelo y medio ambiente externo	11
Figura 2.	Proceso de nitrificación	17
Figura 3.	Acción enzimática	29
Figura 4.	Croquis del proyecto de investigación	55
Figura 5.	Temperatura del medio ambiente.....	59
Figura 6.	Temperatura del invernadero	60
Figura 7.	Precipitación pluvial	61
Figura 8.	Humedad relativa del ambiente atemperado	62
Figura 9.	Intensidad de radiación solar dentro el invernadero	63
Figura 10.	CO ₂ dentro el invernadero	64
Figura 11.	Altura de planta por los niveles de fertilización nitrogenada.....	66
Figura 12.	Altura de planta a los Sesenta ddt por niveles de nitrógeno.....	69
Figura 13.	Altura de planta a los noventa ddt por niveles de nitrógeno	70
Figura 14.	Altura de planta a los ciento veinte ddt por niveles de nitrógeno.....	72
Figura 15.	Altura de planta a los ciento cincuenta ddt por niveles de nitrógeno	73
Figura 16.	Altura de planta a los diferentes días de trasplante	74
Figura 17.	Número de frutos por los niveles de fertilización nitrogenada	75
Figura 18.	Números de frutos por los niveles de fertilización nitrogenada	77
Figura 19.	Número de frutos por los niveles de fertilización nitrogenada	78
Figura 20.	Rendimiento por los niveles de fertilización nitrogenada.....	80
Figura 21.	Contenido de nitratos en el tallo.....	81
Figura 22.	Contenido de nitratos en el peciolo.....	83
Figura 23.	Contenido de nitratos en la hoja	84
Figura 24.	Contenido de nitratos en el fruto de tomate	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de químico de agua.....	95
Anexo 2. Cálculos de los fertilizantes nitrogenados.....	96
Anexo 3. Legislación Rusa sobre contenidos máximos de nitratos	100
Anexo 4. Fotos de trabajo de investigación	101
Anexo 5. Consumo de agua l/m ² día	103

RESUMEN

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*, Mill) A DIFERENTES NIVELES DE NITRÓGENO CON FERTIRRIEGO Y SU EFECTO RESIDUAL EN LOS FRUTOS COMERCIALES

Autor: Victor Paye Huaranca

Asesor: Jorge Pascuali Cabrera

El presente trabajo de investigación, se realizó en el Departamento de La Paz – Bolivia; en el Centro Experimental de Kallutaca situada a 16°31'28''S, 68°19'30''W, con una altitud de 3,901 m.s.n.m. a una distancia de 25 Km de la ciudad de La Paz. El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento productivo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) a diferentes niveles de nitrógeno y su efecto residual de nitratos en los frutos, bajo el sistema de fertirriego. Esta investigación se realizó en condiciones controladas. El sustrato utilizado fue 60 % de cascarilla de arroz, 30 % de ladrillo molido y 10 % de arena. Donde se utilizó tanto para el almácigo y el trasplante en masetas del cultivo de tomate indeterminado de la variedad pionera de CNPSH – INIAF. El diseño que se empleo fue Diseño Completamente al Azar con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos de niveles de fertilizantes de T1=150, T2=300, T3=450, T4=600 ppm de nitrógeno respectivamente. Se realizó el almácigo, trasplante de tomate, posteriormente se ha realizado el tutoraje de los mismos. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, numero frutos por racimo, el rendimiento de t ha⁻¹ y finalmente se ha realizado el análisis de nitratos (NO₃⁻) en el tallo, peciolo, hoja y fruto del tomate. Llegando a los siguiente resultados: el crecimiento vegetativo del cultivo de tomate a los diferentes tratamientos, el que mejor desarrollo alcanzo a los 30, 60, 90, 120 y 150 días es el T2 de nivel de 300 ppm, alcanzando en centímetros de 26, 55, 106, 131 y 147 cm. A diferencia de los T3, T4 y T1. En el número de frutos del cultivo de tomate, podemos decir que los mejores tratamientos a los 90, 120 y 150 días después del trasplante tienen de 5 frutos cada uno de los racimos de la planta que corresponde al T2 de 300 ppm de nitrógeno. A diferencia de los otros tratamientos de T1, T3 y T4 que es menor de 4 frutos. El rendimiento del cultivo de tomate en toneladas por hectárea (t ha⁻¹) bajo ambiente atemperado, de cada uno de los tratamientos investigados alcanzó el tratamiento T2 de 300 ppm de nitrógeno con un rendimiento de 53,33 t ha⁻¹. El T3 tiene un resultado de 41,66 t ha⁻¹, con T1 se tiene 40,00 t ha⁻¹, y T4 es 38,33 t ha⁻¹. La concentración de NO₃⁻ en el tallo, peciolo hoja y fruto es muy variado; donde en el tallo T4 383,16 ppm de NO₃⁻. En el peciolo con el tratamiento T4 se tiene 368,16 ppm de NO₃⁻. En la hoja con el tratamiento T4 se tiene 702,94 ppm de NO₃⁻. Y finalmente en el fruto con el tratamiento T3 se tiene 481,88 ppm de NO₃⁻.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., Niveles de nitrógeno, Nitratos, Fertirriego.

ABSTRACT

PRODUCTIVE PERFORMANCE EVALUATION OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill) AT DIFFERENT LEVELS OF NITROGEN WITH FERTIGATION AND RESIDUAL EFFECT IN TRADE FRUITS

Author: Victor Paye Huaranca
Advisor: Jorge Cabrera Pascuali

This research was conducted in the Department of La Paz - Bolivia; Experimental Center in Kallutaca located at 16 ° 31'28 "S, 68 ° 19'30"W, with an altitude of 3,901 meters at a distance of 25 km from the city of La Paz. The aim of this study was to evaluate the performance of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) at different levels of nitrogen and residual effect of nitrates in fruits under fertigation system. This research was conducted under controlled conditions. The substrate used was 60% of rice hulls, crushed brick 30% and 10% sand. Where it was used for both the seedbed and transplant in cultivation potted tomato pioneer indeterminate variety of CNPSH - INIAF. Design the design used it was completely randomized with four replications and four treatments of fertilizer levels T1 = 150, T2 = 300 T3 = 450, T4 = 600 ppm of nitrogen respectively. Seedling performed, tomato transplant later has been performed tutoraje thereof. The variables evaluated were: plant height, number fruits per cluster, performance t ha⁻¹ and finally has made the analysis of nitrates (NO₃⁻) in the stem, petiole, and leaf and tomato fruit. Coming to the following results: the vegetative growth of the tomato crop to different treatments, the best development reached 30, 60, 90, 120 and 150 days is the T2 level of 300 ppm, reaching centimeters 26, 55, 106, 131 and 147 cm. Unlike T3, T4 and T1. In the number of fruits of the tomato crop, we can say that the best treatments at 90, 120 and 150 days after transplantation have 5 fruit bunches each plant T2 corresponding to 300 ppm of nitrogen. Unlike other treatments T1, T3 and T4 which is less than 4 fruits. The tomato crop yield in tons per hectare (t ha⁻¹) low temper environment, each of the investigated treatment treatments T2 reached 300 ppm nitrogen with a yield of 53.33 t ha⁻¹. The T3 has a score of 41.66 t ha⁻¹, T1 you have 40 t ha⁻¹, and T4 is 38.33 t ha⁻¹. NO₃⁻ concentration in the stem, leaf and fruit stalk is varied; where in Q4 383.16 ppm NO₃⁻ stem. Petiole T4 treatment has 368.16 ppm of NO₃⁻. In the sheet T4 treatment has 702.94 ppm of NO₃⁻. And finally in the fruit with T3 treatment it has 481.88 ppm of NO₃⁻.

Index Keywords: *Lycopersicon esculentum* Mill, levels of nitrogen, nitrates, fertigation.

1. INTRODUCCIÓN

Las últimas predicciones de FAO (Food and Agriculture Organization) indican que para el año 2050 la población mundial será de 9.100 millones de habitantes, frente a las 6.800 millones actuales. Lo que indica ya no es simplemente maximizar la productividad, sino optimizar a través de un paisaje más compleja en la producción, según (GARCÍA, 2010).

Por lo tanto, el consumo mundial de frutas y hortalizas está muy por debajo del nivel mínimo recomendado por la FAO/Organización Mundial de la Salud (OMS), el cual es de 400 gramos diarios por persona, esto para prevenir enfermedades crónicas, en particular las cardiopatías, el cáncer, la diabetes y la obesidad.

Por esta razón en nuestro país, el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), es considerada como una de las hortalizas de mayor importancia por los consumidores, lo valorizan por los nutrientes de vitaminas y minerales. En muchos países del mundo, por el sin número de subproductos que se obtiene de él, y las divisas que aporta; este fenómeno ha originado la incorporación de vastas extensiones de tierra al cultivo del tomate, y la necesidad de utilizar las tierras hasta ahora consideradas marginales o no aptos para el cultivo, debido a las condiciones climáticas adversas. No simplemente el suelo, sino también el agua para el cultivo de hortalizas denominadas producción hidropónica.

Sin embargo para un buen desarrollo del tomate, el nitrógeno es un elemento mineral que necesita la planta de forma abundante, y ocupar el cuarto lugar de importancia después del carbono, hidrogeno y oxígeno. Frente a esta demanda, el nitrógeno es el elemento más crítico entre los que se tiene suministrar para un buen desarrollo de la planta. Es así que, podemos afirmar que es necesaria la aplicación de fertilizantes nitrogenados para mantener un buen desarrollo y productividad del cultivo.

Ahora bien, si no se aplicaría los fertilizantes nitrogenados provocaría, menos desarrollo vegetativo, hojas amarillentas o verde pálido, llegando finalmente a un rendimiento no adecuado en la cosecha de los frutos; desde luego, menos alimento, más hambre a nivel de la sociedad humana.

Los países grandes han desarrollado económicamente con la agricultura. El aumento de productividad en las últimas décadas proviene no de un aumento de la superficie cultivada sino de la intensificación de la agricultura existente por ejemplo a través del incremento en el uso de fertilizantes.

Ahora bien, la excesiva aplicación de fertilizantes nitrogenados provoca la presencia de una concentración muy alta de nitratos en el suelo. Se considera que una aplicación de nitrógeno es excesiva cuando la capacidad de absorción por parte del cultivo es inferior a esta, resultando en una acumulación en el suelo.

Los nitratos en el suelo o en agua por sí mismo no son tóxicos. El problema radica en la conversión a nitritos. Los principales problemas asociados a la ingestión de nitratos y/o nitritos son la metahemoglobinemia y el cáncer de esófago y de estómago (VILLAR, 1999).

1.1. Antecedentes

En este punto se hace referencia la citación de trabajos anteriores relacionados con los puntos que incluye el trabajo u otros estudios sobre el mismo tema y la relación con otras investigaciones sobre el mismo tema.

Muchos países están, con altos niveles de uso de fertilizantes experimentando los problemas ambientales asociados a su uso intensivo, superando los 20 Kg/ha FAO (1992), citado por (FAO, 2000)

1.2. Planteamiento del problema

Durante las últimas décadas, la producción agrícola se da más importancia en las prácticas agronómicas y un aumento paulatino del uso de fertilizantes que contienen nitrógeno y así maximizar los rendimientos de los cultivos.

No solo debe fertilizarse sino también tomar en cuenta la concentración de nitratos que puede contener en los frutos del tomate.

1.3. Justificación

El presente trabajo de investigación se centró en el cultivo de tomate. En la parte nutricional con el nitrógeno sin desmerecer los otros nutrientes que requiere el cultivo. Además que la producción de hortalizas se fruto que bajo ambiente atemperado es posible producir en el altiplano.

Los productores de tomate deben tomar muy en cuenta a la hora de dar los fertilizantes de origen orgánico y sintético. Ya que a dosis altas podemos causar serios problemas de nitratos en los suelos y en el agua.

En el párrafo anterior, indicamos que uno de los principales factores que afectan en la etapa fenológica de la planta es la nutrición, al mismo tiempo esto va acompañado con el agua, para ello se realizó el fertirriego de la planta, se indica que necesita unos 3 a 3,8 litros por metro cuadrado en el sistema geopónico, pero en el sistema hidropónico esto baja hasta 2,2 litros por metro cuadrado.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar el comportamiento productivo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) a diferentes niveles de nitrógeno y su efecto residual de nitratos en los frutos, bajo el sistema de fertirriego.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) a los diferentes niveles crecientes de nitrógeno.
- Evaluar los residuos de nitratos en el tallo, peciolo, hoja y frutos fertilizados con niveles de nitrógeno.

1.4.3. Hipótesis

Ho = El comportamiento productivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) con la aplicación de niveles crecientes de nitrógeno son iguales.

Ho = A medida que se incrementa el nivel de nitrógeno no pasa los límites permitidos de nitratos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El cultivo de tomate

2.1.1. Origen e importancia

El tomate tiene su centro de origen en América del Sur, entre el área de Perú y Ecuador, de donde se distribuyó a diferentes partes de América tropical, incluyendo México. Fue introducido por primera vez en Europa a mediados del siglo XVI; a principios del siglo XIX se comenzó a cultivar comercialmente, se inició su industrialización y la diferenciación de las variedades para mesa y para industria (SANTIAGO *et al.* 1998).

Ahora bien, desde el punto de vista alimenticio el tomate es la hortaliza que por su diversidad de consumo per cápita/año es alrededor de los 26.9 kg, mientras que a nivel mundial es de 12,6.

En cuanto a su contenido nutricional es una de las hortalizas con vitaminas y minerales que se demandan en la alimentación humana, como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Contenido de minerales y vitaminas en una porción de 100 g de tomate

Ca (mg)	Vitamina A (UI)	Tiamina (ug)	Riboflavina (ug)	Fe (mg)	P (mg)	Niacina (mg)	Ácido Ascórbico (mg)
13	900	60	40	0,5	27	0,7	23

FUENTE: Bolaños, 1998.

El tomate es un alimento poco energético que aporta apenas 20 calorías por 100 gramos. Su componente mayoritario es el agua, seguido de los hidratos de carbono (COLLAZOS, 1996).

Se considera una fruta-hortaliza, ya que su aporte de azúcares simples es superior al de otras verduras, lo que le confiere un ligero sabor dulce.

2.1.2. Ecología del tomate

La producción de tomate bajo invernadero, dichas estructuras pretendan mejorar las condiciones ambientales para incrementar la productividad, presentándose producciones de tomate de 300 a 500 ton/ha/año, en función del nivel de tecnificación del invernadero, el cual garantiza que el producto cumpla con los estándares de la calidad e inocuidad alimentaria que exigen los mercados nacionales e internacionales. (DÍAZ-FRANCO, 2012.)

2.1.3. Clasificación sistemática del tomate

MARTINEZ M. (1979), indica que la clasificación del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. La taxonomía generalmente aceptada del tomate es:

Familia:	Solanaceae
Subfamilia:	Solanoideae
Tribu:	Solaneae
Nombre común:	Tomate
Género:	<i>Lycopersicon.</i>
Especie:	<i>esculentum.</i>
Variedad:	Pionera (CNPSH-INIAF)

2.1.4. Tipos y cultivares de tomate

2.1.4.1 El tomate de crecimiento determinado

Los tomates de crecimiento determinado son de tipo arbustivo, de porte bajo, pequeño y de producción precoz. Se caracteriza por la formación de las inflorescencias en el extremo del ápice. Para la producción mecanizada se prefieren las variedades de tipo determinado, que son bajos o arbustivos (VON HAEFF, 1983).

2.1.4.2 El tomate de tipo indeterminado

VON HAEFF (1983), indica que los tomates indeterminados crecen hasta alturas de 2 metros o más, según el tutoraje que se utilice. El crecimiento vegetativo es continuo. Unas seis semanas después de la siembra inicia su comportamiento generativo, produciendo flores en forma continua y de acuerdo a la velocidad de su desarrollo. La inflorescencia no es apical sino lateral en cada tres entrenudo sale una inflorescencia.

Este tipo de tomate tiene tallos axilares de gran desarrollo. Según las técnicas culturales, se eliminan todos o se dejan algunos de éstos. Generalmente la producción de estos es bajo techo o invernadero o también denominado ambiente atemperado.

Los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo de la planta de tomate dependen de las condiciones del clima, del suelo y de las características genéticas de la variedad.

2.1.5. Plagas y enfermedades

2.1.5.1 Plagas

EL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (2004), en uno de sus manuales publicados, hace notar las siguientes plagas y sus posibles efectos en el tomate. Moscas blancas: *Trialeurodes vaporariorum*. Trips: *Frankliniella occidentalis*. Los adultos realizan la puesta dentro de los tejidos vegetales en hojas, flores y frutos.

2.1.5.2 Enfermedades

Entre los hongos más frecuentes podemos citar: *Pythium*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria solani*, *Botrytis cinerea*, *Phytophthora* (varias especies), *Sclerotinia sclerotiorum*. Mildiu del tomate *Phytophthora infestans* Este hongo también causa el Mildiu de la patata y afecta a otras especies de la familia de la Solanaceae (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, 2004).

2.2. Ambientes atemperados (Invernadero)

2.2.1. Características generales

La carpa solar facilita el mantenimiento de parámetros físicos, temperatura del aire y suelo, humedad relativa, porcentaje de dióxido de carbono en el ambiente, iluminación, etc., en las condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas que cultivamos en su interior o al menos en límites ventajosos respecto al ambiente exterior. (RAUL DIAZ, 1998).

El mismo autor indica que, una carpa solar es un ambiente donde se crean condiciones adecuadas para el cultivo de hortalizas, prácticamente se crea un clima artificial con el uso de un material plástico, además de una adecuada mezcla de los componentes del suelo y uso adecuado del agua. Estos factores físicos juegan un papel muy importante y no son independientes entre sí; cuando se interviene para modificar uno, los otros pueden variar.

2.2.2. Temperatura

Para un determinado cultivo, la temperatura óptima y la intensidad luminosa varían según la fase vegetativa en que se encuentre, este factor interviene en las siguientes funciones vegetales de transpiración, fotosíntesis, germinación crecimiento, floración y fructificación (FAO, 2003).

La temperatura de un ambiente protegido depende en gran parte del efecto invernadero. Este se crea por la radiación solar que llega a la construcción y por la impermeabilidad de los materiales de recubrimiento que evitan la irradiación calorífica. La irradiación calorífica atrapada es la que calienta la atmósfera interior. (ALVAREZ, 2001)

La temperatura biológica del tomate es de 21 °C, soportando temperaturas mínimas y máximas que generalmente oscila de 10 a 35 °C.

2.2.3. Humedad Relativa

La humedad atmosférica de la carpa solar interviene en la transpiración, crecimiento de tejidos, fecundación de las flores y desarrollo de enfermedades criptogámicas.

La mayoría de las plantas se desarrollan bien en ambientes donde la humedad relativa fluctúa entre el 30 a 70 %, debajo de 30 % las hojas y tallos se marchitan en cambio por encima del 70 % de humedad relativa la incidencia de enfermedades se constituye en un serio problema (MIRABAL I. , 2002).

SERRANO (1979), citado por ALVARES (2001), menciona que la humedad de la atmósfera del invernadero interviene en la transpiración, en el crecimiento de los tejidos, en la fecundación de las flores y en el desarrollo de enfermedades criptogámicas.

2.2.4. Luminosidad

Las plantas necesitan luz para que a través de la energía solar, mediante sus hojas, puedan producir el alimento indispensable para su desarrollo, la falta de luminosidad, especialmente, causa el alargamiento de los entrenudos que quedan poco resistentes y las alteraciones de crecimiento en las plantas, éstos dependen de la radiación solar, temperaturas, suministro de agua y nutrientes (SALGUIERO, 1995).

SERRANO (1979), citado por ALVAREZ (2001), indica que la luminosidad interviene en la fotosíntesis y en el fotoperiodismo (influencia que tiene la duración del día solar en la floración de los vegetales); también en el fototropismo, en el crecimiento de los tejidos, en la floración y en la maduración de los frutos.

2.2.5. Ventilación

El intercambio de aire del interior de la carpa con la atmósfera circundante, es fundamental para incorporar anhídrido carbónico, controlar la temperatura, humedad relativa y mezclar el aire. La ventilación debe ser muy bien controlada para evitar el calentamiento excesivo, por ello se aconseja ventilar el interior, durante las horas de

mayor calor y radiación solar del día, entre las 10:00 a.m. y 16:00 p.m. En días nublados es aconsejable reducir las horas de ventilación (CHURQUINA, 2003).

BERNAT et al. (1987) menciona que la ventilación es el procedimiento de renovar el aire dentro del recinto del invernadero con lo cual se afecta simultáneamente sobre la temperatura, la humedad relativa y el porcentaje de dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2) en el recinto; la ventilación puede ser natural o forzada

2.3. El ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno al igual que los demás ciclos biogeoquímicos, tiene una trayectoria definida, pero quizá aún más complicada que los demás, dado que tiene que seguir una serie de procesos físicos y químicos.

La conversión de nitrógeno orgánico al estado inorgánico se conoce como mineralización del nitrógeno. En la mineralización se producen amonio y nitrato y desapareciendo el nitrógeno orgánico en distinta forma química. Estos productos lo delimitan dos procesos microbiológicos distintos, amonificación; en donde el amonio se forma a partir de compuestos orgánicos y nitrificación; término que se utiliza para referirse a la oxidación del amonio a nitritos y posteriormente nitratos.

Ahora bien el suelo está controlado en gran parte por bacterias simbióticas, autótrofas y heterótrofas, por lo que el ritmo del mismo depende de factores como: la humedad del suelo, la temperatura, el pH, etc. El nitrato (NO_3^-) es el producto final de la descomposición aeróbica del Nitrógeno y está siempre disuelto y móvil. Según (TIRADOR, 2011).

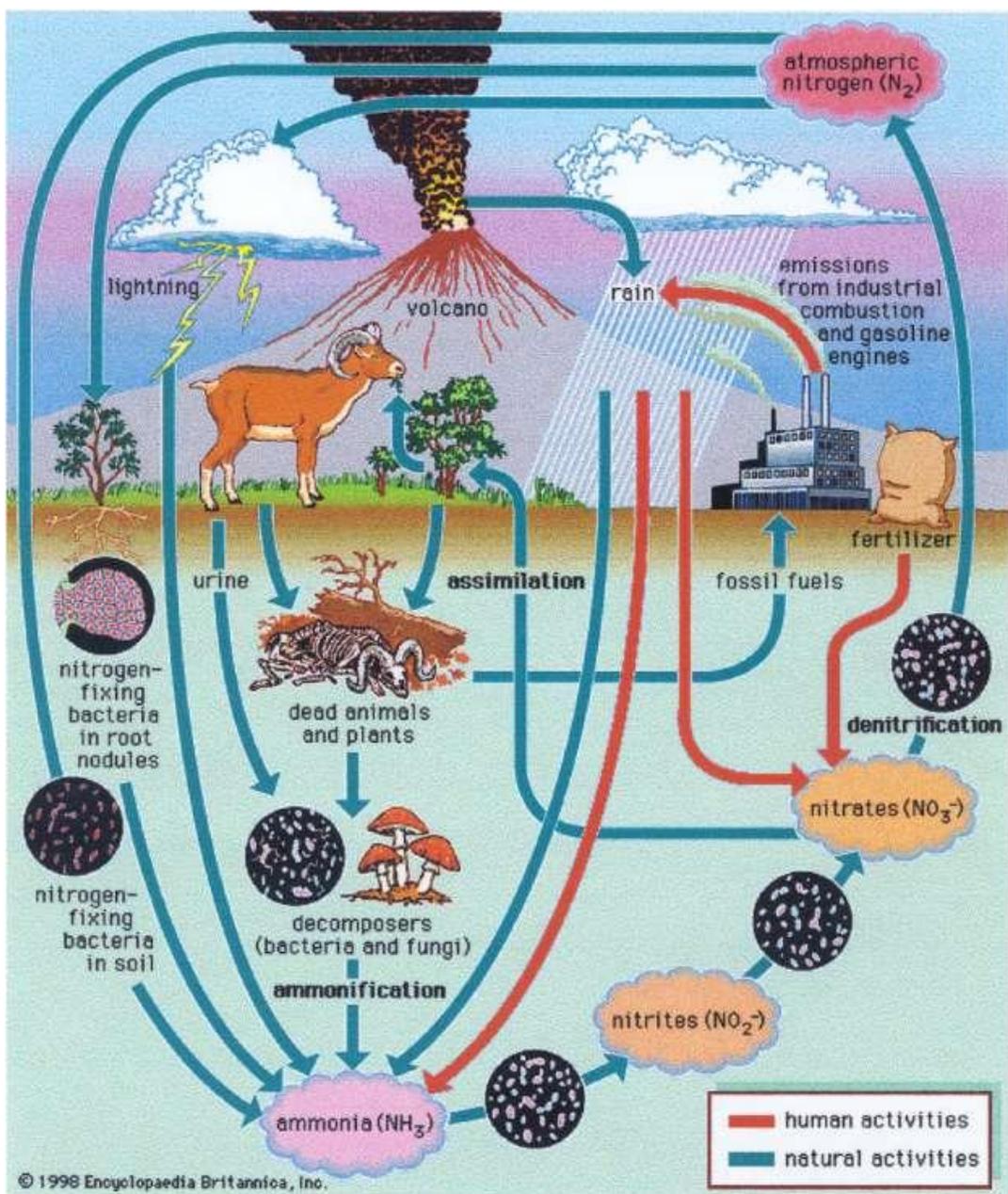


Figura 1. El Ciclo general del nitrógeno en el suelo y medio ambiente externo

Fuente: (SALAZAR, 2003).

El nitrógeno es el nutriente mineral más demandado por las plantas de los cuatro más comunes en la composición de la tierra. El nitrógeno es uno de los susceptibles a las transformaciones microbianas. Este elemento es la unidad estructural clave de

la molécula de la proteína la cual se basa toda la vida y por consiguiente es un componente indispensable del protoplasma de plantas, animales y microorganismos (SALAZAR, 2003).

El valor del N total, básicamente N orgánico, en el suelo es el resultado de un balance de entradas, fundamentalmente fertilización y fijación biológica de nitrógeno (FBN) y salidas como la erosión de la materia orgánica, el lavado de nitratos, la volatilización de amonio, la de nitrificación y el retiro de productos vegetales y/o animales, (MORÓN, 2003).

El mismo autor menciona que el nitrógeno para ser aprovechado por la planta, sufre un sin número de transformaciones que involucran a compuestos orgánicos, inorgánicos y volátiles. Estas transformaciones ocurren simultáneamente pero a menudo los pasos individuales efectúan objetivos opuestos. Las reacciones pueden verse en términos de un ciclo del nitrógeno (Fig. 1) el cual es manejado a discreción por la microflora. A continuación recordaremos los procesos biogeoquímicos del nitrógeno.

2.4. Mineralización de los compuestos nitrogenados

Se produce a través de las tres reacciones siguientes:

2.4.1. Aminización

Es realizada por los organismos heterotróficos (bacterias y hongos), es la descomposición hidrolítica de las proteínas y la liberación de aminas y aminoácidos.

Los compuestos proteicos y otros similares, que son los constitutivos en mayor medida de la materia nitrogenada aportada al suelo son de poco valor para las plantas superiores de cara a la utilización directa. Sin embargo son fácilmente utilizados por ciertos microorganismos del suelo pertenecientes tanto al reino vegetal como al animal.

A consecuencia de la digestión enzimática realizada por estos organismos, dichos compuestos se degradan a compuestos aminados como proteosas, peptonas y al final

a aminoácidos. Por ello, el proceso se llama aminificación o aminización (Bertrand y Rapidel, 1999). Esta transformación puede representarse como sigue (Buckman y Brady, 1977; Tisdale y Nelson, 1987) citado (CEPEDA, 2010):



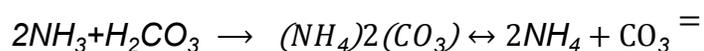
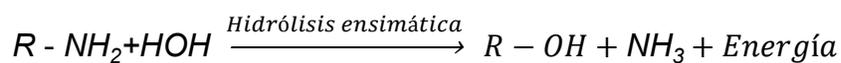
> *Aminas complejas* (R – NH₂ + CO₂ + Energía + otros productos)

2.4.2. Amonificación

Al realizarse la digestión enzimática, el nitrógeno puede seguir dos direcciones posibles:

a) Incorporarse en las estructuras celulares de los microorganismos del suelo y formar parte de nuevo del complejo proteico.

b) Ser transformado en productos simples que aparecen casi siempre en forma amónica. A este proceso, en concreto, se le llama amonificación. Los microorganismos fundamentalmente heterótrofos, son capaces de usar las formas amónicas de nitrógeno en condiciones de escasez de dicho nutriente, los vegetales superiores esporádicamente recurren a esta posibilidad a pesar de estar capacitados para ello. En general, los mismos microorganismos que controlan la aminización, promueven la amonificación. De esta manera provocan la aparición de varias fuentes de energía y se apropian del nitrógeno adyacente. El proceso de forma simplificada puede representarse como sigue (BALLONA, 2010):



Entonces los microorganismos sintetizan enzimas proteolíticas extracelulares para la descomposición de proteínas, se encuentran los géneros. *Alternaria Aspergillus*, *Mucor Penicillum* y *Rizophus*. Los hongos frecuentemente liberan menos amonio que

las bacterias pues los hongos asimilan más nitrógeno para la síntesis celular, según (SALAZAR, 2003).

El amonio liberado puede tener los siguientes destinos:

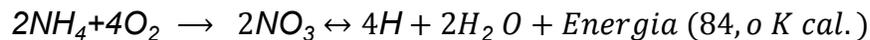
- Ser convertido a nitritos y nitratos.
- Ser absorbido por las plantas.
- Ser utilizado por microorganismos.
- Ser fijado en ciertos tipos de arcilla.

2.4.3. Nitrificación

Se llama nitrificación a una serie de reacciones exotérmicas en las que el (NH_4^+) liberado en el proceso de amonificación sufre una oxidación biológica por CO_3^- diferentes grupos de bacterias autótrofas las cuales obtienen de esa oxidación la energía necesaria para su metabolismo y como producto final NO_3^- (Buckman y Brady, 1977; Teuscher *et al.*, 1980; Tisdale y Nelson, 1987) citado por (BALLONA, 2010).

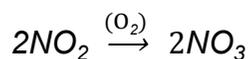
Es la oxidación biológica de amonio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-). El nitrato es la forma más común como las plantas absorben el nitrógeno. Tiene dos etapas:

- **La primera** de amonio a nitritos, por medio de las bacterias autotróficas nitrosomonas y se representa con la siguiente ecuación:



Además de las Nitrosomas también actúan bacterias de los géneros Nitrosobulus y Nitrospira que toleran altos contenidos del ion NH_4^+ y obtienen energía de la oxidación de este compuesto (Buckman y Brady, 1977; Domínguez, 1984; Tisdale y Nelson, 1987) citado por (BALLONA, 2010).

- **La segunda** de nitritos a nitratos, la que se efectúa por un segundo grupo de bacterias autotróficas nitrobacteria. La ecuación de esta reacción se presenta como sigue:



La nitratación es la conversión de NO_2^- a NO_3^- por bacterias autótrofas obligadas del género *Nitrobacter*. La acumulación de NO_2^- en ciertas concentraciones en el suelo, consideradas como elevadas es tóxica para las plantas; el cual se reduce en condiciones de aireación, evitando con esto su acumulación. (PORTA, 2003)

El cambio de NO_2^- a NO_3^- es mucho más rápido que el cambio de sales de NH_4^+ a NO_2^- , por esta razón rara vez se encuentran en los suelo los NO_2^- en estado libre. El cambio desde las sales de NH_4^+ hasta los NO_3^- es en condiciones adecuadas, mucho más rápidas que la amonificación (Buckman y Brady, 1993) citado por (BALLONA, 2010).

El concepto de nitrógeno potencialmente mineralizable (N_0) fue propuesto inicialmente por Stanford y Smith (1972) y mencionado por (BALLONA, 2010) se refiere a la cantidad del N orgánico edáfico que puede ser convertido por la actividad de la biomasa microbiana aerobia heterótrofa a formas inorgánicas solubles (fundamentalmente NH_4^+ y NO_3^-), lo cual es una alternativa eficaz para cuantificar el aporte de N del suelo para los cultivos, ya sea para generar recomendaciones de aplicación de fertilizantes nitrogenados (Campbell *et al.*, 1996) mencionado (BALLONA, 2010).

El potencial de mineralización de N, se establece a partir de la mineralización acumulada de N, la cual se define como la cantidad de N disponible, liberada después de un período de tiempo específico.

Esta determinación se realiza mediante una prueba química con extracción a 40°C ó bien mediante pruebas cortas de incubación a temperaturas medias (Stanford, 1982; Fox y Piekielek, 1984 mencionado (BALLONA, 2010). Las pruebas de incubación pueden ser en condiciones anaerobias o aeróbicas.

El nitrógeno potencialmente mineralizable (N_0) se define como la cantidad del N orgánico del suelo que es susceptible de mineralizarse de acuerdo a una reacción de primer orden. El N_0 es una fracción discreta de N orgánico total y puede calcularse a partir de cantidades de N mineralizado en incubaciones sucesivas, por lo que es un estimador de la cantidad de N que puede mineralizarse en un tiempo infinito bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad (capacidad de campo).

El N_0 constituye un índice relativo de la capacidad de mineralización de N y no es afectado por factores climáticos, mientras que el N mineralizado es un estimador del N realmente derivado del N_0 bajo regímenes prevalecientes de agua y temperatura (BALLONA, 2010).

De las tres reacciones anteriores se puede concluir tres aspectos importantes:

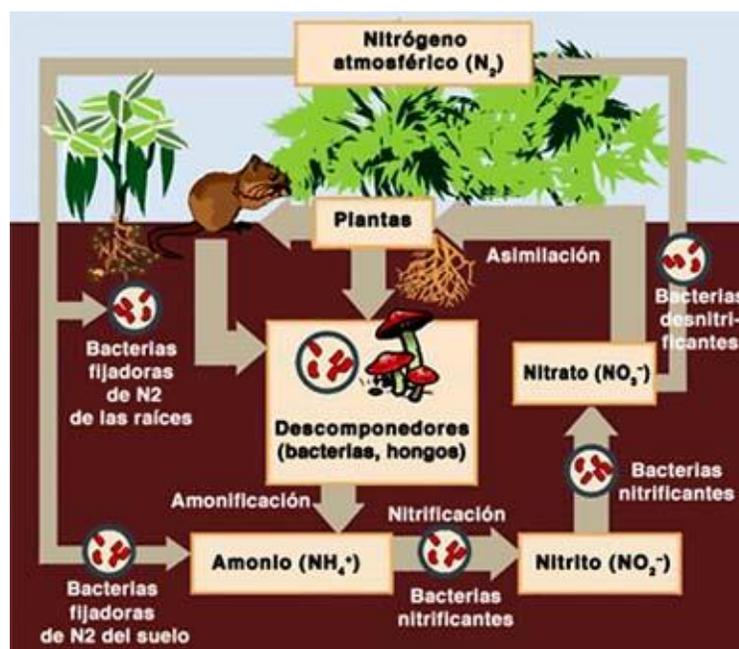
- Las reacciones requieren oxígeno, luego serán más rápidas en suelos bien aireados.
- Las reacciones liberan hidrógeno, esto da como resultado la acidificación del suelo cuando se usa constantemente fertilizantes amoniacales u orgánicos nitrogenados (Urea).
- Que es necesaria la presencia de una buena población microbiana, cuya actividad está relacionada con la humedad y temperatura del suelo.

2.5. Bioquímica de la amonificación

2.5.1. Proceso de la nitrificación

La **nitrificación** es la oxidación biológica de amonio con oxígeno en nitrito, seguido por la oxidación de esos nitritos en nitratos. La nitrificación es una etapa importante en el ciclo del nitrógeno en los suelos. Este proceso fue descubierto por el microbiólogo Ruso Sergei Winogradsky 1898 citado por (TIRADOR, 2011).

Figura 2. Proceso de nitrificación



Fuente: Winogradsky 1898 citado por (TIRADOR, 2011)

La oxidación del amonio en nitrito, y la subsecuente oxidación a nitrato son hechas por dos especies de bacterias nitrificantes. La primera etapa la hacen bacterias (entre otras) del género microbiológico *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*. La segunda etapa (oxidación de nitrito a nitrato) la hacen, mayormente, bacterias del género *Nitrobacter*, y en ambas etapas se produce energía que se destina a la síntesis de ATP.

2.6. El nitrógeno en el suelo y su importancia

De acuerdo con la teoría geoquímica de Stevenson, el nitrógeno (N) que se encuentra actualmente en la atmósfera se hallaba originalmente como amonio y como nitrato en la capa terrestre. Con el desarrollo de la tierra, el nitrógeno se ha evaporado hacia la atmósfera, en donde existe actualmente como amoniaco. Alrededor del 80% del gas atmosférico es nitrógeno, pero éste representa solamente el 2% del nitrógeno total de la tierra. La concentración de N original en las rocas, es sin embargo, extremadamente bajo (TIRADOR, 2011).

El mismo autor menciona que el nitrógeno del suelo procedente de la fijación atmosférica y de los residuos orgánicos es alto en comparación con el de las rocas, a pesar de esto es una parte insignificante del total. En agricultura la parte más importante de N usado por las plantas es a veces el que se provee en forma de fertilizante. Sin exagerar, el crecimiento de las plantas está más a menudo afectado por la deficiencia de N que de otro nutrimento. Una razón para esto es que las plantas requieren grandes cantidades de nitrógeno. Viets en 1.965, calculó que las plantas contienen más átomos de N que de ningún otro elemento derivado del suelo, a excepción del hidrógeno. Es así como el agua es el elemento más importante en el crecimiento de los vegetales.

2.6.1. Contenido de nitrógeno en el suelo

La capa arable de la mayoría de los suelos contiene entre 0,02% y 0,4% de nitrógeno. Para casos particulares esto evidentemente está influenciado por el clima, tipo y cantidad de vegetación, topografía, material parental, actividad del hombre, fotoperiodo y otros factores (PADILLA, 2007).

2.6.2. Formas del nitrógeno del suelo

2.6.3. Nitrógeno Inorgánico

Las formas inorgánicas del nitrógeno del suelo incluyen: nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3). Desde el punto de vista de fertilidad y nutrición del suelo, las formas NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- son las de mayor importancia, porque así es como absorben las plantas este elemento. El NH_4^+ se encuentra generalmente en forma intercambiable adsorbido a los coloides del suelo. El NO_2^- y el NO_3^- se encuentran en solución en el agua del suelo. Los tres reunidos representan 2% del nitrógeno total. Las formas NH_3 , N_2O y NO son gases y se encuentran en muy pequeñas cantidades, generalmente no son posibles de detectar. De estas el N_2O y el NO tienen importancia negativa porque es así como se pierde el nitrógeno del suelo por de nitrificación (PADILLA, 2007).

2.6.4. Nitrógeno Orgánico

Las formas orgánicas del nitrógeno del suelo se hallan como aminoácidos y proteínas consolidadas, aminoácidos libres, amino-azúcares y otros compuestos no identificados. El contenido de N en la materia orgánica es del 5% y únicamente el 1% es disponible para las plantas (PADILLA, 2007).

2.6.5. Transformaciones del nitrógeno en los suelos

PADILLA (2007), afirma que las plantas absorben la mayor parte de su nitrógeno en forma de NH_4^+ y NO_3^- . Las cantidades de estos dos iones que pueden utilizarse por las raíces de los cultivos, dependen.

- a). De la cantidad suministrada como fertilizante que ha sido liberada luego de haberse establecido un equilibrio entre la mineralización y la inmovilización del nitrógeno del suelo,
- b). De las pérdidas en el terreno.

2.6.6. Equilibrio del nitrógeno orgánico-mineral en el suelo

PADILLA (2007), señala que la mineralización del nitrógeno es simplemente la conversión del N orgánico a la forma mineral y la inmovilización es la conversión del nitrógeno inorgánico o mineral a la orgánica. La materia orgánica del suelo se puede dividir en dos categorías:

- a). El humus, relativamente estable y de muy lenta descomposición,
- b). Los materiales orgánicos sujetos a una descomposición francamente rápida.

Si estos materiales tienen una cantidad pequeña de nitrógeno en relación con el carbono, los microorganismos necesarios para descomponer este material tomarán nitrógeno del suelo y empobrecerán su contenido. Si la relación C: N es menor de 10, no usarán el N del suelo, pero si es mayor de 30, no solamente agotarán el N del suelo sino que tomarán parte del N aplicado como fertilizante químico.

2.7. Formas de aprovisionamiento de nitrógeno al suelo

2.7.1. Fijación simbiótica

Se produce por medio de bacterias del género, *Rhizobium* que viven en simbiosis con ciertas plantas leguminosas huéspedes. Se describen cantidades de nitrógeno fijado de 300-800 kg ha⁻¹ en cultivos de alfalfa y trébol (PADILLA, 2007).

2.7.2. Asociaciones Rhizobium - Leguminosas

Cuadro 2. Asociaciones simbióticas

Especie de Rhizobium	Leguminosa a la que puede inocularse
<i>R. meliloti</i>	Alfalfa
	Trébol dulce
<i>R. trifolii</i>	Trébol
<i>R. leguminosarum</i>	Arveja
	Lenteja
	Algarrobo
<i>R. phaseoli</i>	Fréjol
<i>R. lupini</i>	Lupinos
<i>R. Japonicum</i>	Soya
	Lespedeza
	Crotalaria
	Kudzu
	Maní

FUENTE: PADILLA, 2007.

Las condiciones para que se produzca una buena simbiosis son: bajo contenido de N en el suelo, pH alrededor de 6, buen aprovisionamiento de Ca, P y Mo, buena población microbiana temperatura y humedad adecuadas, compatibilidad leguminosa – bacteria (PADILLA, 2007).

2.7.3. Fijación no simbiótica

PADILLA (2007), menciona que la fijación de N en el suelo se realiza también por ciertos organismos que viven libremente, se estima en 10 a 50 kg/ha/año la cantidad fijada por este proceso.

Los organismos responsables son:

Bacterias:	aerobias:	Azotobater
	anaerobias :	Clostridium, aerobacter, otras.
Algas azules-verdes:		Nostoc y Celothrix

La fijación se efectúa por heterotropismo o por fotosíntesis dependiendo del tipo de organismo.

2.7.4. Fijación atmosférica a través de descargas eléctricas.

Existen varias formas gaseosas de nitrógeno en la atmósfera, las que por las descargas eléctricas se convierten en NO_3^- , el que cae a la tierra por medio de las lluvias. Se considera que esta forma de aprovisionamiento es mayor en zonas industriales; dependiendo del lugar la cantidad fijada y caída puede variar de 1 a 30 kg ha-1 por año (PADILLA, 2007).

2.7.5. Fijación industrial del nitrógeno.

PADILLA (2007) afirma que desde el punto de vista de la agricultura comercial, la fijación industrial del nitrógeno es la fuente más importante de este elemento como nutrimento de las plantas. Hay tres reacciones básicas por las que se realiza la fijación del nitrógeno elemental:

- a).Oxidación directa del nitrógeno
- b).Proceso de la cianamida en que el N reacciona con carburo cíclico.
- c).Proceso de Clunde - Haber en que el N y el H forman gas amoniaco.

2.7.6. Materiales Orgánicos.

PADILLA (2007) indica que los residuos vegetales y animales que son incorporados al suelo a través de su manejo son también fuente de aprovisionamiento de este elemento del suelo, aunque su aporte puede considerarse como limitado si se desea alcanzar altos rendimientos en los cultivos.

Por ejemplo: Asuma un suelo con un contenido de materia orgánica de 1%. El peso de una hectárea de suelo a 20 cm de profundidad y con una densidad de 1 g/cm³ es de 2'000.000 de kg.

$$2'000.000 \times 0,01 = 20.000 \text{ kg M.O./ha.}$$

Se conoce que la materia orgánica tiene un contenido de N de un 5%.

Por lo tanto:

$$20.000 \times 0,05 = 1.000 \text{ kg. N total / ha.}$$

Si se asume que apenas un 1% de este N es disponible para las plantas, se tiene:

$$1.000 \times 0,01 = 10 \text{ kg. N disponible/ha}$$

El mismo autor afirma que en un suelo con 4% de M.O. se puede tener entre 40 a 80 kg de N/ha/año. Esto daría una producción extremadamente baja y no acorde con el potencial genético de muchos cultivos en los actuales momentos. Por lo tanto si se depende de lo que el suelo puede naturalmente suplir de N a un cultivo, lo que se conseguirá es únicamente bajos rendimientos y pobre calidad del producto final.

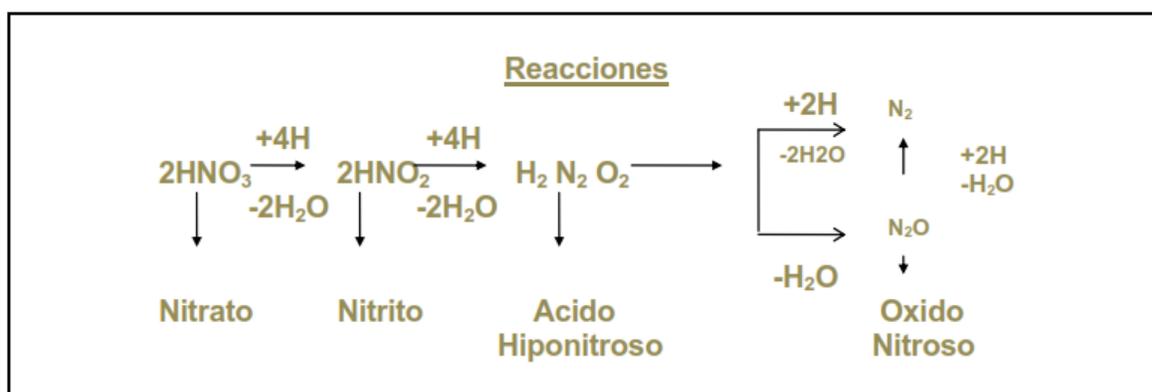
2.7.7. Pérdidas de nitrógeno del suelo

1. Removido por los cultivos.- Las pérdidas de nitrógeno del suelo ocasionadas por la absorción de los cultivos, se estima en una cantidad que fluctúa entre el 0,9% y 1,4% del nitrógeno total, lo que significa un promedio de 28 a 45 kg/ha/año (PADILLA, 2007).

2. Lavado del nitrógeno.- Se estima que las pérdidas de N de las tierras cultivables, debido al lavado ascienden a un promedio de 28 kg/ha/año. El 99% de esta pérdida a capas profundas es de la forma de nitratos y el 1% de amonio. Lógicamente este proceso tiene mayor intensidad en suelos arenosos (PADILLA, 2007).

3. Pérdida de nitrógeno gaseoso.- Se han sugerido tres mecanismos como causas de esta pérdida (PADILLA, 2007):

a) Desnitrificación: Cuando los suelos se encharcan el oxígeno es excluido, entonces se implanta la descomposición anaerobia. Algunos de los organismos que intervienen tienen la capacidad de obtener su oxígeno de los nitratos, liberándose así óxido nitroso y nitrógeno elemental (gases). Los organismos responsables de estas reacciones son del género *Pseudomonas*, *Micrococcus* y otros.



FUENTE: PADILLA, 2007.

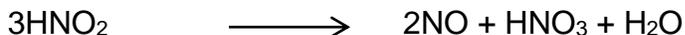
b) Las pérdidas de nitrógeno como gas, en suelos ácidos bien drenados, pueden ser consideradas a través de tres mecanismos, todos los cuales se relacionan con la descomposición de los nitritos (NO_2^-). La primera es la descomposición del nitrito de amonio, representada en la siguiente ecuación:



La segunda está representada por la Reacción de Van Slyke, según la siguiente ecuación:



La tercera es la descomposición espontánea de ácido nitroso

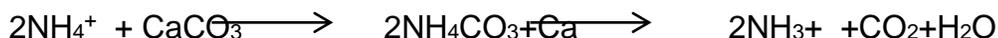


Desde el punto de vista práctico se puede evitar estas pérdidas controlando el drenaje excesivo del terreno.

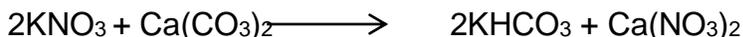
c) Volatilización del amoníaco.- Si se aplican fertilizantes amoniacales en la superficie de suelos alcalinos, puede perderse amoníaco libre a causa de esta reacción:



Normalmente las pérdidas de amoníaco resultantes de la volatilización superficial pueden prevenirse mediante la colocación de materiales nitrogenados varios centímetros más abajo de la superficie del terreno. La reacción de un fertilizante amoniacal aplicado sobre la superficie de un suelo recién encalado, puede conducir a pérdidas considerables de nitrógeno por lo siguiente:



El $2\text{NH}_4\text{CO}_3$ no es un compuesto muy estable. Por otra parte si se aplica un fertilizante nitrogenado de forma nítrica sobre un suelo recién encalado, se produce la retención del NO_3^- por parte del calcio presente y produciendo luego una liberación más lenta del nitrógeno, de acuerdo a la siguiente reacción:



En todo caso se recomienda incorporar los fertilizantes nitrogenados lo más que se pueda en el suelo para evitar la pérdida de nitrógeno en forma de gas.

2.7.8. Reacción del NH_4^+ con el suelo

PADILLA (2007) menciona que el NH_4^+ actúa como un catión, en contacto con el suelo se producen reacciones de intercambio y la capacidad de intercambio de cationes del

suelo juega un papel muy importante para su retención. En suelos con baja CIC el NH_4^+ puede lixiviarse si se sobrepasa dicha capacidad de retención de cationes.

Ejemplo: Se tiene un suelo arenoso con apenas $2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (meq/100 g) de C.I.C. y se desea aplicar 200 kg/ha de NH_4^+ , se asume que la aplicación se realiza en una banda de 5 cm , en una cama de 1 metro de ancho.

- 5 cm de banda fertilizante
- 100 cm de cama

$5/100 = 1/20$ de la superficie de la cama que ha sido utilizada para la aplicación del fertilizante.

Ahora 200 kg/ha de $\text{NH}_4^+ = 0,56 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (meq/100 g)

Si solo se utiliza $1/20$ de la superficie, se está utilizando $1/20$ de la C.I.C.

$$1/20 \times 2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 = 1/10 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ ó } 0,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$$

Por lo tanto la capacidad de intercambio en la zona aplicada es $0,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ y si se está adicionando $0,56 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ el NH_4^+ se irá a más de un metro de profundidad.

El mismo autor afirma que para evitar este problema, se recomienda aplicar el fertilizante al voleo o incorporarlo inmediatamente al suelo, con el fin de aprovechar a lo máximo la capacidad de intercambio catiónico bajo en los suelos arenosos, o incrementar la CIC mediante la adición de materia orgánica.

2.8. Efecto de la fuente de N en las plantas

PADILLA (2007) indica que el N en la forma de NH_4^+ puede entrar en combinaciones orgánicas, en forma directa sin necesitar transformaciones. Por otra parte el NO_3^- debe ser reducido a NH_4^+ en la planta para formar combinaciones orgánicas. Esto ha dado lugar a mirar la actividad de los nitratos y la reductasa como enzima.

NO - Nitrato Reductasa NO - Nitrito Reductasa NH +

El mismo autor afirma que en suelos bien drenados la transformación de NH_4^+ a NO_3^- es muy rápida y en esta forma es fácilmente tomado por las plantas. En NH_4^+ es tóxico si se acumula en algún grado en la planta y por esto debe entrar en combinaciones orgánicas en forma rápida. Por otra parte el NO_3^- puede acumularse en la planta sin causar ningún daño y puede permanecer almacenado sin ningún peligro, pero a su vez debe ser reducido a NH_4^+ para poder formar parte de los compuestos orgánicos, llámense éstos aminas o proteínas. Con una alta absorción de NH_4^+ por parte de las plantas, éstas deben usarlos carbohidratos para sintetizar el N y almacenar compuestos tales como las amidas, en vez de usar los carbohidratos para su crecimiento.

Si el suplemento de carbohidratos es limitado, una aplicación alta de NH_4^+ dará lugar al uso de estos escasos carbohidratos presentes con fines de desintoxicación. Por lo expuesto se deduce que una buena relación $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ es necesaria para mantener un buen balance del nitrógeno dentro de la planta (PADILLA, 2007).

La forma NO_3^- debe ser suministrada durante los días poco soleados y fríos y el NH_4^+ en los días más soleados y calientes, y si se tiene una buena oxigenación en el suelo, condición de capacidad de campo, en los cultivos ornamentales y en forma particular en la rosa (PADILLA, 2007).

2.8.1. Funciones del nitrógeno en las plantas

PADILLA (2007) menciona que el nitrógeno tiene vital importancia para la nutrición de las plantas y su suministro puede ser controlado por el hombre. Las principales formas de asimilación por la planta son los iones nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). La mayor proporción es absorbida en forma nitrato. Sin embargo, hay otras formas orgánicas que son utilizadas por la planta pero su escala muy pequeña (ácidos nucleicos, aminoácidos).

El mismo autor menciona que en las plantas el contenido promedio de N es de 1,6%, lo que representa el 10% del peso total, para el caso de cultivos ornamentales, se tienen valores de 3,5 en rosas y de 5 a 6 % en gypsophilia. Independientemente de la

forma como es absorbido siempre se transforma en amina (NH_2), luego en aminoácidos y proteínas.

Las proteínas tienen antes que importancia estructural, características esenciales en el metabolismo, no son estables sino que se están transformando continuamente. Además el N, tiene funciones en otros procesos, es parte componente de la clorofila y por ende de la fotosíntesis. Interviene en las hormonas, consecuentemente en el crecimiento. También es componente de la energía respiratoria al formar parte del trifosfato de adenosina (PADILLA, 2007).

2.9. Metabolismo del nitrógeno en las plantas

2.9.1. Reducción del nitrato (NO_3) a amonio (NH_4^+)

Como ya se explicó anteriormente, el nitrógeno en forma de nitrato no puede ser utilizado por las plantas y para que ello sea posible, es necesario el proceso de reducción a NH_4^+ y es así como puede ser incorporado como constituyente de diversos compuestos orgánicos. El proceso de reducción requiere de un determinado consumo de energía, para lo cual los glúcidos de reserva de la planta y las sustancias fotosintéticas, son las encargadas de dotar no solamente esa energía sino también de los esqueletos carbonados necesarios para la incorporación del grupo amonio y de los hidrógenos requeridos para esta reducción (CLAVIJO, 1994).

El proceso de reducción del NO_3 a NH_4 no tiene lugar en una sola etapa, sino que tiene que pasar por la forma de nitritos NO_2 , lo cual está muy bien sustentado por la presencia de esta forma de nitrógeno en los tejidos vegetales o en el extracto celular, luego de una aplicación de una fuente fertilizante nítrica, como es el caso del nitrato de calcio, que al ser aplicado en forma foliar después de 30 a 40 horas se detectan concentraciones altas de NO_2 , que luego desaparecen. Por lo tanto, la reducción de NO_3 a NH_4 ocurre en dos etapas, en ninguna de las cuales se requiere de ATP, ni compuestos de carbono (CLAVIJO, 1994).

El mismo autor menciona que en la primera fase, el nitrato se reduce a nitrito en una reacción en la que participan dos electrones, provenientes de elementos minerales, conocidos como donantes, y está catalizada por el enzima nitrato reductasa.

CLAVIJO (1994) asevera que en la segunda fase en nitrito se reduce a amoníaco en una reacción que implica la participación de seis electrones y catalizada por el enzima nitrito reductasa. Aquí es donde tiene una gran importancia la participación de elementos como el molibdeno y el hierro, que son los metales que participan cediendo los electrones necesarios, como se indica en el diagrama correspondiente.

El mismo autor menciona que para el caso del enzima nitrato reductasa se ha determinado que se trata de una flavomolibdoproteína formada por tres grupos prostéticos, el FAD (flavin adenin dinucleótico), citocromo b y molibdeno.

Según CLAVIJO (1994) el NADH_2 (nicotinadenin dinucleótido reducido), es el donante primario de electrones. Por otro lado, el nitrito reductasa se encuentra catalizada por una ferropoteína que es la ferredoxina nitrito reductasa, que utiliza específicamente ferredoxina como transportador de electrones los que recoge de otros sistemas enzimáticos como donadores de electrones. Como queda entonces bien indicado, las mayores fuentes de nitrógeno inorgánico que las plantas están en capacidad de absorberlas son la nítrica (NO_3) y la amoniacal (NH_4).

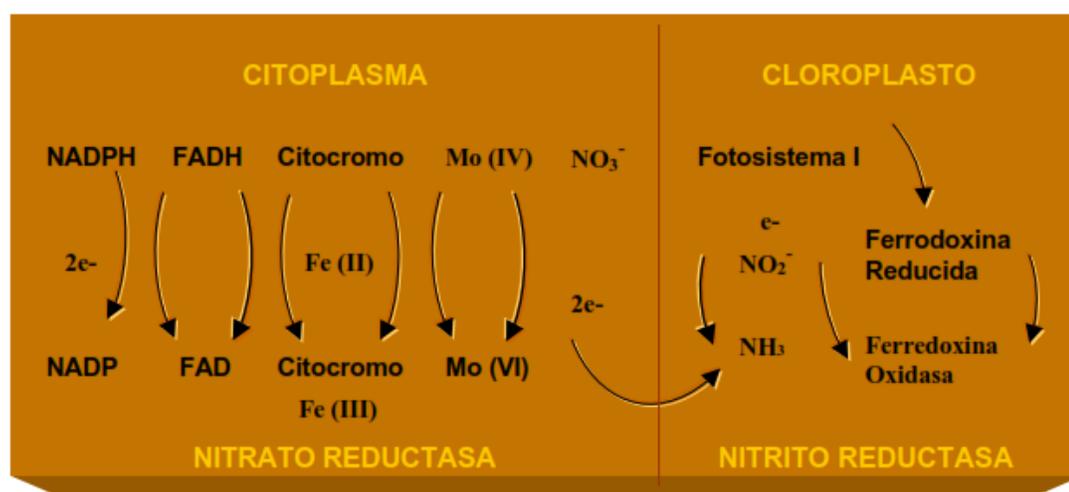
En el caso de este último debe ser incorporado a compuestos orgánicos en forma casi inmediata, efecto que toma lugar a nivel radicular, con la finalidad de no tener acumulaciones de NH_4 en la planta, debido a que su almacenamiento como tal es mucho más difícil que en la forma de NO_3 , el cual a su vez debe ser reducido a NH_4 para la formación de aminoácidos, proteínas y otros compuestos orgánicos donde el nitrógeno es su componente principal (CLAVIJO, 1994).

En el caso de NO_3^- , es fácilmente transportado a través del xilema y puede ser almacenado en las vacuolas de las raíces, tallos, hojas, flores y frutos pero para formar parte de las estructuras orgánicas y pueda cumplir con sus funciones esenciales como nutriente debe ser reducido a la forma amoniacal con la ayuda de dos enzimas. La

primera de ellas ya mencionada como nitrato reductasa, reduce el nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-), para en forma inmediata tener la acción de la segunda enzima conocida como nitrito reductasa la encargada de reducir el nitrito (NO_2^-) a amoníaco (NH_3), situación que es indicada en la figura que se presenta a continuación, para un mejor entendimiento (CLAVIJO, 1994):

2.9.2. Acción enzimática en la reducción del NO_3^- y del NO_2^- A NH_3

Figura 3. Acción enzimática



Fuente: CLAVIJO, 1994.

CLAVIJO (1994) menciona que la nitrato reductasa es una enzima de un alto peso molecular, debido a su complejidad química, que posee varios grupos prostéticos tal el caso de molibdeno, FADH, FAD y citocromo. Esta enzima se localiza en el citoplasma de la célula vegetal y requiere de proveedores de electrones para cumplir con el proceso de reducción y para ello utiliza sustancias como el NADPH que al transformarse en NADP, produce 2 electrones. Dentro de este proceso de reducción, se asume que los electrones se transfieren directamente del molibdeno, que es un elemento del grupo prostético, al nitrato.

Cuando no existe un buen abastecimiento de NO_3^- , la presencia de la enzima nitrato reductasa disminuye notoriamente, pero puede ser rápidamente inducida al aplicar NO_3^- o con niveles adecuados de citoquininas. Una deficiencia de molibdeno también

es la causa de inhibición de la enzima complementada con la presencia de altos contenidos de NH_4 y ciertos aminoácidos y amidas (CLAVIJO, 1994).

El mismo autor asevera que por otra parte, la nitrato reductasa transforma el nitrito (NO_2) en amonio sin liberación de sustancias intermediarias; a lo contrario de la enzima nitrato reductasa, posee bajo peso molecular y está asociada con los cloroplastos en las hojas y con los proplastidios en las raíces. El fotosistema en presencia de la luz y a falta de esta por medio de la respiración, produce la ferredoxina reducida en el interior de las hojas, y es la que provee del electrón necesario para el proceso de reducción.

A nivel radicular se ha encontrado que la ferredoxina no está presente y es de suponer que existe la presencia de algún otro tipo de transportador que lleva el electrón desde el NADPH a la enzima. La reducción del nitrato a nivel radicular está supeditada al tipo de planta, a la edad de la misma y al suministro de NO^- (CLAVIJO, 1994).

En general cuando el suministro es bajo, su reducción ocurre en las raíces, pero cuando éste aumenta, una alta proporción del nitrato es transportado a las hojas para su reducción, lo que requiere el consumo de ATP y carbohidratos reflejándose en un consumo de energía. En una especie determinada de plantas ornamentales, la proporción de nitrato en las raíces se incrementa con la temperatura de los invernaderos y la edad de la planta, pero también influye el catión que acompaña la asimilación. Se ha encontrado que cuando el catión acompañante es el calcio la reducción ocurre en mayor proporción en las raíces y cuando el acompañante es el potasio la translocación del NO_3 a las hojas es rápida, lo que ha llevado a comparar como un “suero a la vena”, para el caso de un fácil entendimiento. La enzima nitrato reductasa varía su actividad a medida que se incrementa el área foliar del cultivo, de allí que en plantas frondosas o que han alcanzado una expansión foliar máxima, la tasa de incremento de la enzima también es máxima, hasta cuándo se ha llegado a la completa formación de las hojas donde la acción enzimática baja y se produce el almacenamiento de concentraciones altas de NO_3 en las vacuolas (CLAVIJO, 1994).

El mismo autor afirma que esto da lugar a la formación de ácidos orgánicos en forma aniónica en el citoplasma y su posterior traslado a las vacuolas para mantener el

balance catión-anión y el pH intracelular. De esta manera la reducción del NO_3^- , después de haber alcanzado el desarrollo foliar puede provocar problemas osmóticos, los mismos que ventajosamente son solucionados por medio de la retranslocación de nitrógeno reducido en forma de aminoácidos y amidas junto con cationes móviles como el potasio y el magnesio en el floema, para ser llevadas a las nuevas áreas de crecimiento.

Este proceso de almacenamiento temporal del nitrato en las vacuolas hace que las plantas no sientan ningún problema de “empacho”, por exceso de nitrógeno, no sucediendo lo mismo cuando la forma amoniacal y el amonio se encuentran inclusive en bajas concentraciones. Esto puede suceder cuando se realizan aplicaciones foliares de fuentes amoniacaes en concentraciones altas. La manera como la planta sale de esta fase de intoxicación por amonio o por NH_3^+ derivado de la reducción del nitrato, es formando aminoácidos, amidas y compuestos orgánicos fácilmente utilizables por ella (CLAVIJO, 1994).

Todo lo descrito anteriormente, lleva a realizar cierto tipo de conclusiones para un mejor manejo de las fuentes fertilizantes nitrogenadas.

Al conocer que el nitrato debe ser reducido a amoníaco para que el nitrógeno entre en el sistema metabólico, se debería asumir que al emplear una fuente amoniacal, su asimilación sería más rápida. Esto se ha comprobado que es cierto siempre y cuando los contenidos de glúcidos en la planta sean normales o altos, pero por otra parte al abastecer de nitrógeno a la planta con fuentes nítricas, únicamente, se produce una alta reducción de glúcidos, al igual que es lo que pasa en el proceso de reducción de NO_3^- a NH_3^+ lo que puede llevar a niveles peligrosamente bajos de glúcidos, trayendo como consecuencia ablandamiento de tejidos, lo que puede ocasionar, en el caso de las flores, un cabeceo prematuro y formación de masa vegetativa suculenta, la que puede ser susceptible al ataque de insectos y enfermedades. Por lo tanto se recomienda el uso de fuentes nitrogenadas que mantengan un buen equilibrio de las formas, nítrico, amoniacal y orgánico. En este último caso muchas de las aminas y aminoácidos suministrarían nitrógeno aprovechable para el crecimiento de la planta.

La carbodiamida (urea) es una buena fuente de nitrógeno orgánico, siempre y cuando las condiciones tanto de humedad como de temperatura del suelo y la presencia de la biota sea la más adecuada posible (CLAVIJO, 1994).

2.10. El nitrógeno y sus interrelaciones

La relación existente entre el nitrógeno y el fósforo en las plantas es muy conocida, así como también la relación entre nitrógeno y potasio. (LLAGUA, 2014)

El mismo autor afirma que la asimilación de nitratos estimula la asimilación de los cationes, mientras que los aniones cloro e hidróxilo, restringen la asimilación de nitratos. Una concentración alta de carbohidratos incentiva la asimilación de amonio y la asimilación de amonio restringe la asimilación de cationes, lo que trae como consecuencia una deficiencia de calcio a la vez que reduce los niveles de potasio en la planta.

2.10.1. El nitrógeno como NO^-

GARCIA et al (1994) menciona que el nitrógeno NH_4^+ :

- Es fácilmente lixiviado, en especial en suelos arenosos.
- Cuando el suelo está seco asciende a la superficie y al ubicarse en los primeros centímetros, no puede ser alcanzado por las raíces y más bien provoca la salinización del suelo, incrementando la conductividad eléctrica.
- Cantidades mayores a 160 Kg N/Ha. (80 ppm de NO^-), se lixivian y provoca la contaminación de las aguas subterráneas.
- Los nitratos son preferidos por las plantas por su baja toxicidad.
- Como NO^- el nitrógeno circula en la savia en mayor concentración.
- Con la asimilación de NO^- se requiere menos cantidad de fósforo como ATP, para su metabolización, que puede ser más lenta.
- Con la asimilación de NO^- , permite una mayor asimilación de calcio, magnesio y potasio, por ser un anión.

- En suelos con buena actividad microbiana, la forma amoniacal es fácilmente oxidada a NO_3^- , para su fácil asimilación.
- El nitrógeno nítrico bloquea la absorción de cloro, proveniente ya sea de los fertilizantes o de suelos salinos.
- El NO_3^- es la forma más indicada de nitrógeno cuando el pH del suelo es alto o cuando se realizan aplicaciones de cal, por tener rápida volatilización en el medio.

2.10.2. El nitrógeno como NH_4^+

(GARCIA, GARCIA, & CAFIAS, 1994), menciona que el nitrógeno como NH_4^+ :

- La planta absorbe muy poco nitrógeno en forma amoniacal ya que su acumulación es tóxica para la misma, por eso es que el NH_4^+ es incorporado a compuestos orgánicos, en forma casi inmediata a nivel radicular.
- El NH_4^+ requiere de una metabolización muy rápida para evitar una acumulación en la savia vegetal.
- Para la metabolización de NH_4^+ se requiere mucho más fósforo que para el caso del NO_3^- , especialmente porque el amonio pesa en la balanza de los iones de carga positiva.
- El NH_4^+ por ser un catión descoloca a los cationes K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} y torna muy precario al metabolismo vegetal.
- Aumenta la susceptibilidad de las plantas al ataque de enfermedades fungosas.
- No solo disminuye la resistencia de las plantas por la menor absorción de potasio y calcio, sino también en una baja en aproximadamente un 40% en el contenido de fenoles en la hoja, los mismos que son considerados poderosos fungistáticos.
- La volatilización del amonio es fuerte en suelos alcalinos ya que el calcio y el sodio promueven su liberación.
- En suelos salinos por la presencia de calcio y magnesio, la pérdida de NH_4^+ es menor.

- Las prácticas de encalado hacen disminuir su pérdida hacia el aire, especialmente cuando no está el suelo expuesto directamente al ambiente.
- El NH_4^+ puede ser fácilmente absorbido en suelos más secos, por no subir a la superficie y necesitar manganeso y cobre para su metabolización, elementos presentes en pH ácido.
- Cuando falta calcio, fósforo y magnesio, el nitrógeno es absorbido por la planta, pero su metabolización es deficiente. La formación de proteínas es muy escasa, permaneciendo en forma de aminoácidos, mientras parte del nitrógeno sigue circulando por la savia y se pierde a través de la hoja.
- La escasez de manganeso puede causar efectos similares a los anotados en el punto anterior.
- Por otra parte el sulfato de amonio moviliza el manganeso, en especial en suelos bajos en pH, de tal modo que puede tornarse tóxico.
- La metabolización lenta del nitrógeno amoniacal causa fácilmente su toxicidad cuando la savia vegetal es pobre en calcio.
- Una fertilización nitrogenada en suelo ácido y compactado, pobre en calcio, fósforo y manganeso, no sólo disminuye la acción benéfica del nitrógeno, sino que a veces hace que el cultivo muera.
- El efecto benéfico de una fertilización nitrogenada, puede fallar por falta de elementos para su rápida metabolización.
- Una fertilización con sulfato de amonio aumenta la necesidad de fósforo en la planta, disminuyendo la posibilidad de absorción de calcio y potasio.
- Una fertilización con nitrato de calcio disminuye la necesidad de fósforo, aumentando la absorción de potasio y calcio.
- Una fertilización amoniacal en exceso hace que las plantas se vuelvan menos resistentes al frío, a la sequía y a las plagas.
- En suelos con buena actividad biológica, la aplicación de formas amoniacales, se ve más garantizada por su rápida oxidación a NO_3^- .
- La necesidad de nitrógeno, en cualquier forma, aumenta con la intensidad de la luz.

Por otra parte la sombra reduce la necesidad de nitrógeno hasta un 50%.

2.10.3. Síntomas de deficiencia de nitrógeno

Bajo condiciones de deficiencia de nitrógeno las hojas son pequeñas, al igual que los tallos, el crecimiento se reduce considerablemente

Las hojas tienen un color verde amarillento en los primeros estados de crecimiento, debido a la limitación en la síntesis de clorofila, luego se vuelven amarillas rojizas o púrpuras por la presencia de pigmentos de antocianina. Los síntomas son más pronunciados en las hojas viejas, porque es un elemento muy móvil en la planta. Los síntomas pueden diferir de acuerdo al tipo de la planta. Además causa serios disturbios en el metabolismo principalmente en el balance proteínas-carbohidratos, esto produce fuertes disminuciones en el rendimiento (PADILLA, 2007).

Enlace para ver algunas deficiencias nutricionales en Nitrógeno.

2.10.4. Excesos de nitrógeno

El excesivo suplemento de nitrógeno ocasiona bastante desarrollo, por la tendencia de que los carbohidratos participen más en la formación del protoplasma antes que en la pared celular. Bajo estas condiciones las células son grandes y con paredes débiles. La incidencia del rompimiento interno de las células durante el almacenamiento hace que se pudran más fácilmente los productos, porque el protoplasma contiene altas cantidades de agua y muy poca materia seca.

2.10.4.1 Crecimiento de raíces

Adecuados suministros de nitrógeno producen un crecimiento notorio de las raíces, principalmente de las secundarias, lo que le da mayor asentamiento a la planta y favorece la absorción de otros nutrimentos. En el maíz se ha observado que las raíces llegan hasta profundidades adecuadas en presencia de dosis óptimas de fertilización nitrogenada.

2.10.4.2 Fructificación

Existe un punto de equilibrio del N con el fósforo principalmente en donde la fructificación es alta. Generalmente la falta o exceso de nitrógeno perjudica mucho al fructificación. En granos pequeños la relación grano-paja es menor en condiciones de deficiencia de N, esta va aumentando a medida que la dosis se acerca al óptimo. Un mejor efecto se obtiene haciendo aplicaciones en cobertura de este elemento. En maíz la máxima relación grano-material-vegetal ocurre a altos niveles de nitrógeno, esto es debido al notorio incremento en el área foliar.

2.10.4.3 Volteamiento

Es el desplazamiento inelástico de la planta desde su posición vertical. Usualmente es un desplazamiento lateral provocado por el viento, la altura y peso de la planta, más el peso del agua que cae sobre ella. El aumento del encamado con la aplicación de dosis altas de nitrógeno, se debe justamente a que da lugar a plantas muy altas, pesadas y con tallos débiles en su punto de inercia lo que provoca su rompimiento. En maíz este fenómeno está relacionado con la población de plantas por hectárea, generalmente el rompimiento se produce a la altura del tercer entrenudo (punto de inercia). (GUTIERREZ, 2012)

Para evitar el encamado de cereales, cuando son necesarias aplicaciones altas de nitrógeno, hay tres diferente métodos:

1. Mejoramiento de variedades para obtener aquellas con paja resistente;
2. Aplicación de hormonas que controlen el crecimiento,
3. Aplicaciones de nitrógeno en cobertura.

2.10.4.4 Incidencia de enfermedades

El desarrollo de las enfermedades de las plantas varía con las aplicaciones de nitrógeno. La respuesta no es uniforme, varía de acuerdo a la naturaleza de las

plantas, de las enfermedades y de las condiciones ambientales. En algunos casos la incidencia de enfermedad se incrementa con la aplicación de nitrógeno, en otros no.

Según observaciones realizadas parece que la influencia del nitrógeno en la presencia de enfermedades es indirecta, pues al dar lugar a un gran crecimiento, aumenta la humedad ambiental lo que favorece la proliferación de hongos.

También vuelve susceptibles a las plantas al dar lugar a la formación de muchas proteínas y nucleoproteínas en las células muy ricas en agua y débiles de cubierta.

Se ha encontrado en trigo que plantas con alto contenido de nitrógeno producen una sustancia tóxica que contrarresta al *Puccinia glumarum*, pero al contrario altas fertilizaciones nitrogenadas incrementan la susceptibilidad del trigo al ataque de *Puccinia graminis*, asociando esto a la falta de sustancias fenólicas en las hojas al tiempo de la emergencia de las flores. En el caso de cultivos ornamentales, y de forma específica en el rosal, un exceso de nitrógeno trae como consecuencia el incremento en el ataque de *peronóspora* y *oidio*.

En definitiva el nitrógeno ayuda a algunas plantas a escapar de ciertas enfermedades y en otros casos aumenta la susceptibilidad.

2.11. Métodos de análisis de nitrógeno

2.11.1. Nitrógeno total

En el capítulo correspondiente a formas de N en el suelo, se indica que este elemento se encuentra presente en forma orgánica y en forma inorgánica, teniéndose dentro de esta última a las formas amoniacales, nitritos y nitratos y al conjunto de todas estas formas se denomina nitrógeno total.

Por mucho tiempo se ha venido utilizando el análisis de N total como una herramienta para predecir las necesidades de este elemento en los programas de fertilización de los cultivos, lamentablemente su bajo índice de correlación, encontrado por varios

investigadores en varios lugares del mundo, con la respuesta de los cultivos a la aplicación de nitrógeno, ha determinado que se utilicen otros parámetros para establecer mejores predicciones, debido a que es necesario considerar muchos factores que intervienen directamente en la respuesta del cultivo a la aplicación del N, entre los cuales se pueden mencionar a los siguientes:

- Requerimiento de los cultivos determinado por el rendimiento o metas de rendimiento.
- Habilidad de las plantas para tomar el nitrógeno y utilizarlo eficientemente.
- Capacidad del suelo para suplir el nitrógeno en las formas de nitratos y amoniacales.
- El contenido de materia orgánica en el suelo.
- Adiciones de materia verde ya sea como estiércoles o incorporación de cultivos frescos.
- Adición de residuos frescos que pueden llevar consigo cantidades interesantes de nitrógeno al suelo.

Estos factores pueden muy bien determinar la respuesta de rendimiento del cultivo, mediante la adición de dosis de N en varios tipos de suelos y varios sistemas de cultivo. En forma general, para cultivos que requieren cantidades altas de N para producir altos rendimientos, como en el caso del maíz, el nitrógeno requerido es mucho más grande que la habilidad que tenga el suelo para suplirlo. Como resultado las recomendaciones de N se basan en resultados experimentales de rendimientos esperados o metas de rendimiento, los cuales calibran las aplicaciones de nitrógeno con el rendimiento.

Para este caso, la credibilidad de la respuesta al N, no es únicamente dada a las dosis de elemento adicionado, sino también a la cantidad de materia orgánica presente, a las adiciones de estiércoles o al cultivo de leguminosas que han precedido la rotación.

2.11.2. Nitrógeno amoniacal

El ion amonio (NH^+) es retenido por los suelos en forma intercambiable, de la misma forma que los cationes metálicos, en tal virtud debe extraerse mediante otro ion de

intercambio como es el caso del sodio utilizado en la solución extractora de bicarbonato de sodio del método Olsen Modificado.

El ión amonio experimenta un equilibrio de fijación en las arcillas de tipo 2:1, especialmente en los espacios fuertemente cargados existentes entre las capas de la vermiculita, exactamente de la misma forma que el potasio (K), por estrechamiento del espacio existente entre las capas. El ion amonio que queda fijado de esta forma experimenta solo un intercambio lento y posee manifiesta resistencia a nitrificarse.

De esto se deduce que la determinación de amonio (NH^+), debe hacerse en suelos que contengan un porcentaje adecuado de coloides sean estos orgánicos o inorgánicos, y no en suelos con altos contenidos de arenas o materias inertes.

Dentro del proceso, debe tomarse precauciones para impedir la transformación de los compuestos orgánicos del suelo en amoniaco como consecuencia de las reacciones de hidrólisis. Esto impide el que pueda conseguirse una determinación satisfactoria del amonio por destilación en forma de amoniaco, mediante un tratamiento del suelo con un álcali caliente.

El uso de una disolución acidificada de una sal para fines de desplazamiento parece ser una precaución satisfactoria. La cantidad de amonio canjeable cae frecuentemente en el intervalo de 0,01 a 0,1 meq por 100 g. de suelo, correspondiente a una cantidad comprendida entre 1,4 y 14 ppm., en suelos dedicados a una agricultura normal. Por otro lado en suelos destinados a cultivos intensivos, tal es el caso de hortalizas y flores bajo condiciones de invernadero, desarrollados en la última década en nuestro país, se encuentran cantidades que sobrepasan los 60 ppm., de NH_4 , lo cual hace que su determinación sea justificada.

2.11.3. Nitrógeno como nitratos (NO_3^-)

La determinación de N como nitratos (NO_3^-), es relativamente nueva pero se ha extendido muy rápidamente en varias zonas, especialmente que tienen regímenes de lluvia insuficientes, para predecir los requerimientos de N tanto para cultivos

tradicionales como para cultivos intensivos cultivados bajo condiciones controladas de invernadero, o que utilizan sistemas de riego por aspersión o goteo. La alta solubilidad y movilidad del ion nitrato, hace que el muestreo tenga que ser realizado a profundidades mayores que las acostumbradas, esto es superiores a 10 cm., llegando en muchos casos hasta los 60 cm. La profundidad de muestreo puede depender del tipo de cultivo y del tipo de suelo. Es obvio que un muestreo a profundidades como las indicadas de 40 a 60 cm., sean más difíciles y requieran de mayor tiempo. Las muestras que van a ser utilizadas para análisis de nitratos deben ser secadas en forma inmediata al muestreo. La alta solubilidad del NO_3 en agua hace que su extracción sea bastante simple. Para permitir la formación de una sal estable, el método recomienda la adición de óxido de calcio antes de añadir el agua destilada suficiente para que con una agitación vigorosa se traiga a solución todos los nitratos contenidos en la muestra.

La determinación de los nitratos puede ser realizada por medio del método de ácido fenolsulfónico o con el uso del electrodo específico para nitratos.

2.11.4. Materia orgánica

Debido a que la mayoría del N se encuentra en los suelos en forma orgánica, es posible obtener una idea del contenido total del nitrógeno en el suelo a partir del contenido de la materia orgánica del mismo.

Para ello se han establecido factores de conversión, los mismos que son muy comúnmente utilizados en los laboratorios.

$$\% \text{ M.O.} \times 0,55 = \% \text{ NT}$$

Este factor que es aproximado, se encuentra sometido a grandes variaciones cuando se aplican a diferentes tipos de suelos. La determinación de la materia orgánica se la realiza a partir del carbono el mismo que se encuentra en los suelos formando parte de cuatro tipos de materiales orgánicos y minerales así:

Carbonatos minerales, principalmente CaCO_3 y MgCO_3 ; pero se presentan también pequeñas cantidades muy activas e importantes de CO_2 y también HCO y CO_3^- , iones

derivados de los carbonatos más solubles. Formas muy condensadas de composiciones próximas al carbono elemental (carbón vegetal, grafito, carbón de hulla). Residuos de plantas, animales y microorganismos alterados y bastante resistentes, denominados a veces “humus” y “humatos”, que no constituyen un compuesto único, al contrario de lo que parecen seguir estas denominaciones. Residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y de microorganismos vivos y muertos, que sufren descomposiciones bastante rápidas en los suelos.

Es por lo tanto claro inferir que el carbono total de los suelos incluye estas cuatro formas. El carbono orgánico total incluye las tres últimas, siendo eliminadas las formas minerales por lavado con un ácido reductor diluido antes de la determinación de carbono orgánico. La determinación más reproducible del carbono orgánico es la que incluye las tres formas en que se presenta sin intentar su fraccionamiento.

La materia orgánica químicamente activa que se encuentra relacionada con la génesis del suelo y su fertilidad incluye las dos últimas formas. Por ello algunas veces se realizan esfuerzos para eliminar las formas muy condensadas, en las determinaciones de materia orgánica.

También es necesario establecer una diferencia entre la materia orgánica más vieja, que es más resistente y que constituye el humus propiamente dicho, y los residuos orgánicos recientemente añadidos, que quedan sometidos a una descomposición rápida, con lo que dejan disponibles sus elementos nutrientes para los cultivos siguientes:

Varios han sido los cambios realizados a los métodos originales desarrollados por Schollenberger y posteriormente por Walkey y Black, pero los principios básicos se mantienen. En el método de Schollenberger, la materia orgánica del suelo se oxida mediante ácido crómico en presencia de un exceso de H_2SO_4 con aplicación de calor externo, valorando el exceso de ácido crómico por retroceso con disolución de la sal ferrosa.

El método de Walkey y Black, se basa en la calefacción espontánea por disolución del H_2SO_4 , lo implica esencialmente el mismo procedimiento que el de Schollenberger, salvo en el hecho de que la cantidad de calor aplicada es menor que la que suministra procedente de fuentes externas.

Por esta razón se oxida algo menos de la materia orgánica total, lo que es considerado como una ventaja, ya que no es medida la fracción de materia orgánica menos activa.

En todo caso en estos métodos no interfiere el contenido de carbono en forma de carbonatos y también las distintas formas de carbón elemental son atacadas solamente en parte y por lo tanto quedan excluidas fundamentalmente de la medida.

2.12. Poblaciones en riesgo por nitratos y nitritos

Los riesgos de la exposición a nitratos y nitritos para la salud no dependen únicamente de la exposición, sino que en ellos influyen la existencia de condiciones favorables para la reducción de nitratos a nitritos y algunos factores inherentes al individuo. Esto impide que se pueda formular una relación dosis respuesta con respecto a la presencia de nitratos en el agua o en los alimentos.

2.12.1. Población general

El riesgo es, sobre todo, para las poblaciones rurales, por ejemplo, se ha calculado que, entre 1 y 2 % de la población de Estados Unidos cuya agua de bebida procede de los sistemas públicos de aprovisionamiento, puede estar ingiriendo nitratos en cantidades que exceden la concentración máxima recomendada por la EPA. También se ha calculado que los residentes de más de 600 mil hogares en ese país consumen agua de pozos domésticos contaminados con nitratos.

Aunque los responsables de los sistemas públicos de aprovisionamiento de agua deberían vigilar las concentraciones de nitratos periódicamente, por lo común esto no ocurre en los pozos rurales, por lo que las poblaciones rurales son las que están en mayor riesgo.

Es importante resaltar que, por lo común, la población rural de los países en desarrollo obtiene su agua de consumo directamente de fuentes superficiales o de pozos artesianos y que, en ambos casos, la cercanía de estas fuentes a los campos de cultivo facilita que se contaminen con nitratos. La escasa vigilancia sobre la presencia de contaminantes antropogénicos en el agua, que es usual en las zonas, rurales de estos países contribuye, a esta situación.

En la mayoría de los países de América Latina no hay datos suficientes que permitan calcular la magnitud de la población expuesta a concentraciones excesivas de nitratos en el agua de bebida ni, mucho menos, el nivel de exposición y sólo es posible hacer cálculos aproximados con base en la población rural y la proporción del agua de consumo que se obtiene de pozos.

2.13. Límites permisibles

La OMS ha recomendado una concentración máxima de 45 mg NO_3^-/L , este mismo límite ha ido aceptado por la EPA. En Estados Unidos se ha propuesto un límite máximo de NO_2^- de 3.29 mg/L. La mayoría de los países han adoptado estos valores en sus normas.

En la mayoría de los países no existe un límite máximo de residuos de nitratos en los productos vegetales a pesar de que, tomando en cuenta el uso creciente de fertilizantes nitrogenados, se debería establecer este límite y vigilar su cumplimiento.

2.14. Hidroponía

Hidroponía significa que literalmente significa “trabajo en agua”. La hidroponía es una técnica que permite cultivar y producir plantas sin emplear suelo o tierra (PAYE, 2010).

2.14.1. Sustrato

Sustrato es todo material sólido que puede ser usado como reemplazo del suelo, y sirve como medio de crecimiento para las plantas. Su función principal es y dar soporte

a la planta; el crecimiento de las raíces en sustrato es más rápido y vigoroso que en el suelo.

El sustrato que se usa para hidroponía es generalmente estéril, y en el presente trabajo de investigación se utilizó en este material para obtener datos fidedignos.

Un buen sustrato puede ser: de cascarilla de arroz + arena + ladrillo molido.

2.14.2. Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto que se obtiene de las peladoras arroceras y que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico. Entre sus principales propiedades físicas químicas tenemos que es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, de buen drenaje, buena aireación y el costo es muy nominal.

La cascarilla de arroz se utiliza para los cultivos hidropónicos con sustrato, ya sea el 50 % carbonizada o sin retostarlo. El único problema de la cascarillo es que presenta baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la humedad por ello se debe combinar con otros sustratos orgánicos, esto se puede emplear para hidroponía en mangas, hidroponía en macetas e hidroponía en bancadas o platabandas.

2.15. Fertilizantes

En cuanto a los fertilizantes en los suelos de aluvión, los niveles de nitratos fluctúan entre 100 y 150 ppm y los de potasio entre 30 y 60 ppm. El manejo del pH y la C.E. del agua de riego son igual al anterior. Aplicar Ca y Mg junto con micro elementos de manera periódica. Los niveles de Ca fluctúan entre 4 a 8 mili equivalente (meq) y los de Mg entre 2.5 a 4 meq.

2.15.1. Fertilizantes nitrogenados

El nitrógeno es un elemento esencial para las plantas que lo requieren para la síntesis de proteínas. Cuando no hay rotación de cultivos ni policultivos, como ocurre en la agricultura de monocultivo, el nitrógeno disponible en los suelos se reduce continuamente, por lo que es necesario reponerlo mediante fertilizantes sintéticos.

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados -incluyendo el amoníaco- así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua. Generalmente, los nitratos son solubles y no se adsorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas.

2.16. Soluciones nutritivas

Existen diversos factores que se debe considerar para un adecuado control y manejo de la solución nutritiva, lo cual repercutirá directamente en la calidad del producto obtenido. (PAYE, 2010)

Es así que las soluciones nutritivas contiene son elementos esenciales para la planta que son 16 elementos de macro y micro elementos (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S,), (Fe, Cu, Mn, Mo, Cl, B y Zn) respectivamente.

2.16.1. Conductivas eléctrica (CE)

El rango optimo es de 1.5 – 2.5 μ mos/cm. o mS/cm.

2.16.2. pH

Rango entre 5.5 - 6.5, en la cual los nutrientes están disponibles para la planta.

2.16.3. Oxígeno

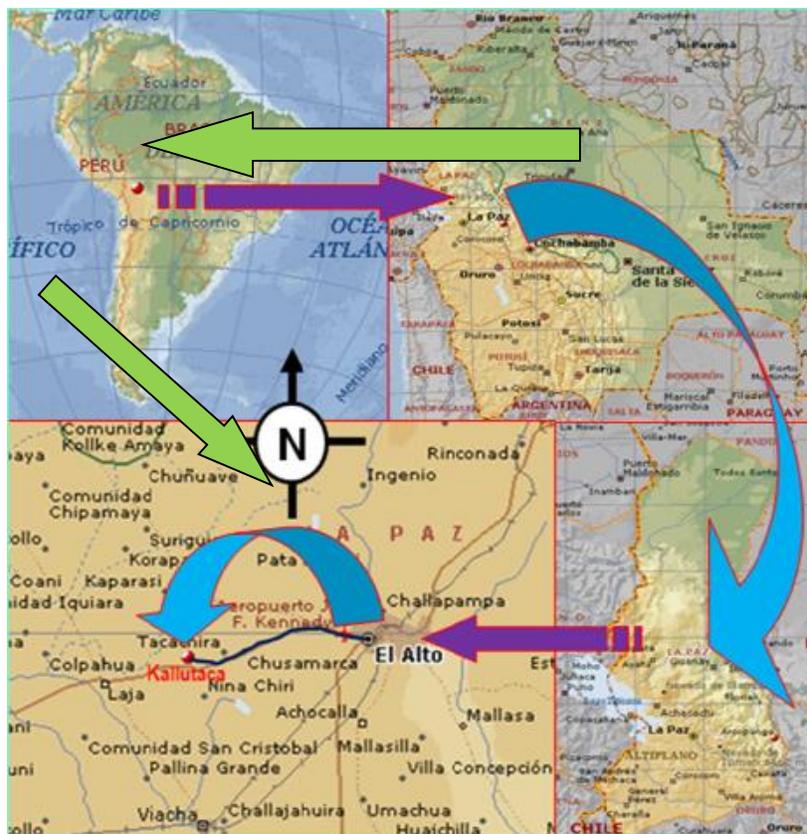
La falta de oxigenación produce fermentación y como resultado la pudrición de las raíces originada por la aparición de microorganismos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación, se realizó en el Departamento de La Paz – Bolivia; en Centro Experimental de Kallutaca situada a $16^{\circ}31'28''S$, $68^{\circ}19'30''W$, con una altitud de 3,901 m.s.n.m. y a una distancia de 25 Km de la ciudad de La Paz. (SITE.GOOGLE, 2011)



Fuente: Mayta (2012)

Las precipitaciones, varían entre los 300 mm a los 600 mm, con un promedio de 439 mm/año. En la época de lluvias, que corresponde a los meses de diciembre, enero y febrero, las precipitaciones alcanzan hasta 225 mm al mes. En los meses de mayo, junio y julio, la precipitación es escasa.

Las estaciones frías (otoño e invierno) van de mayo a septiembre, con ocasionales nevadas en invierno y la temporada caliente (primavera y verano) de octubre a abril, también considerada como la temporada de lluvias (SITE.GOOGLE, 2011).

3.1.2. Características Edafoclimáticas

3.1.3. Clima

La evaporación media encuentra los máximos valores en los meses de septiembre a febrero con 5 a 5.2 mm como promedio, en los meses de marzo a julio disminuye entre 4.1 a 3.9 mm con una acumulación anual de 55.2 mm. (GUARACHI, 2011).

El comportamiento de la temperatura media es de 7,1°C, se cuentan con temperaturas extremas mínimas de -10,8 a -11,0°C en los meses de mayo, junio y julio indicando temperaturas bajo cero. En los meses de noviembre y diciembre se observa comportamiento de temperaturas máximas de 21,6 a 22,3°C (GUARACHI, 2011).

Iturry (2002) citado por (GUTIERREZ, 2012) indica que el clima de la zona se caracteriza por ser seco durante gran parte del año, pues la estación de lluvias es muy corta. Más del 60% de las precipitaciones pluviales tienen lugar entre los meses de diciembre a febrero.

La cuenca del Altiplano, se caracteriza por tener clima templado-frío. Por su altitud recibe una mayor cantidad de radiación solar que hoy en día ha incrementado su efecto negativo. Los suelos del municipio se caracterizan en su mayoría por ser francos arenosos y francos arcillosos. P.D.M.P. (2007) citado por (LOPEZ, 2013)

La provincia Los Andes se sitúa en la zona agro-ecológica del altiplano norte, esta región se caracteriza por ser húmeda, también en ella se encuentra el lago Titicaca y los glaciares de la cordillera Real. Montes (2005) citado por (QUISPE, 2013).

El mismo autor menciona que existe intensa radiación solar durante el día, que contrasta con las bajas temperaturas nocturnas, provocando grandes variaciones térmicas que derivan en diferentes grados de estrés térmico de los cultivos, los mismos que pueden llegar a bajar considerablemente su producción en los días de helada en el invierno (mayo, junio y julio), cabe mencionar que el riesgo de helada se presenta durante todos los meses del año, aun en el verano.

3.1.4. Suelo

Ayaviri (1996) citado por Quispe (2013), indica que los suelos del altiplano son muy heterogéneos en virtud de que se han formado sobre distintos materiales parentales depositados en las depresiones de la cuenca ante montaña de Los Andes.

Las propiedades físicas son de estructuración débil, compactación elevada y baja porosidad; impidiendo la infiltración del agua y su almacenamiento, con un alto riesgo de erosión. La capa arable es poco profunda, los suelos en los cerros aledaños son poco profundos y muy pedregosos, con tendencias a la erosión.

Poseen textura franco arcillo arenosa y presentan acumulaciones y materiales consolidados de gravas, arenas, limo, arcillas y caliza. El mismo autor menciona que en el altiplano tenemos suelos con problemas de salinidad y pH alcalino.

La región de Kallutaca presenta suelos de formación fluvio-lacustre no inundable con características de bofedales, texturalmente son suelos franco arcillosos con perfiles de horizontes distinguidos. Con una pendiente mínima de 1%, casi a nivel, el drenaje superficial es lento debido a su textura y pendiente. (Guarachi, 2011).

De acuerdo al análisis físico químico de suelos bajo el respaldo del Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA-UMSA) y el laboratorio químico de suelos de la (UMSS), presentan suelos franco arcillosos, la densidad aparente presenta 1,32 y 1,11 g/cm³

respectivamente; en cuanto al pH del suelo reporta un valor de 7.4 se tiene una conductividad eléctrica de 2,3 dS/m; asimismo, presentan una acumulación de 4,4 % de materia orgánica (HUANCA, 1996.).

3.1.5. Flora

El tipo de vegetación natural que presenta la región de Kallutaca está conformada por: thola (*parastrephia lepidophylla*), gramíneas como paja brava, chillihua (*festuca dolichophylla*), crespillo (*Calamagrostis sp.*) y grama (*Muhlebergia sp.*) cola de ratón (*hordeum muticum*) Cebadilla (*Bromus lenatus*), llantén (*Plantago sp.*) pilli (*hipochoeria taraxacoides*) y alfombrilla (*Lucilia areioidea*), chiji (*Disticha*), totorilla (*Scirpus*), etc, (Huanca, 1996).

3.1.6. Vegetación

P.D.M.P. (2007) citado por López (2013), de municipio de Pucarani menciona las especies más cultivadas son: papa (*Solanum tuberosum L.*), cebada (*Hordeum vulgare L.*), alfalfa (*Medicago sativa L.*), avena (*Avena sativa L.*), quinua (*Chenopodium quinoa W.*), haba (*Vicia faba L.*), arveja (*Pisum sativum L.*), oca (*Oxalis tuberosa M.*) y la papaliza (*Ullucus tuberosus C.*).

Entre las especies silvestres están: la ch'illiwa (*Festuca dolichophylla J.*), iru jichhu (*Festuca orthophylla P.*), t'ola (*Parastrephia lepidophylla W.*), suput'ula (*Fabiana densa R.*), muni muni (*Bidens andicola K.*), Diente de león (*Taraxacum officinalis W.*), kaiña o kailla (*Tetraglochin cristatum B.*), q'ila q'ila (*Lupinus altimontanus C.*), qhanapaku (*Sonchus oleraceus L.*), reloj reloj (*Erodium cicutarium L.*), salvia (*Lepechinia meyenii W.*), wira wira (*Gnaphalium domdeyanum DC.*), cola de raton (*Hordeum muticum P.*), Januq'ara (*Lepidium spp.*), ch'iji (*Pennisetum clandestinum H.*), ch'iji pasto (*Muhlebergia fastigiata P.*).

3.1.7. Fauna

En esta zona en cuanto a los animales domésticos se encuentran: vacuno, ovinos, gallinas, cuyes, patos y entre los animales silvestres se encuentran: gato silvestre (titi), cuis (pampa wuancu), patos silvestres Callizaya 1999 citado por (GUTIERREZ, 2012).

P.D.M.P. (2007) citado por Quispe (2013), señala que la fauna está compuesta principalmente de zorro, zorrino, liebre, cuy, ratón de campo, vicuñas, perdiz, codorniz, águila, picaflor, hornero, golondrina, ibis, yaca, leqe leqe, pichitanka, choqhas (pato silvestre), choseka, gaviota, alcón, chañita, allqamari, etc.

Iturry (2002) citado por López (2013), menciona que entre las especies de la región, algunas han sido menguadas en gran proporción como la perdiz, zorro, lagartija, ratón andino, pato silvestre, gaviota del altiplano, tórtola y buitres.

3.1.8. Economía

La principal actividad de las familias en la comunidad de Kallutaca, es la crianza de animales, mayores y menores; principalmente, bovinos, ovinos. De la cual obtienen ingresos económicos por la venta de leche y sus derivados como ser el queso, también realizan la venta del ganado bovino, ovino y se vende los excedentes de la cosecha agrícola como ser la papa, chuño y tunta.

3.1.9. Recursos hídricos

Iturry (2002) citado por Quispe, (2013), menciona que la napa freática se encuentra a profundidades variables, por lo que se pueden observar aguas superficiales en las zonas más bajas y cercanas a los ríos, los pozos son poco profundos y con un regular potencial hídrico.

3.2. Materiales

3.2.1. Invernadero (ambiente protegido)

El ambiente protegido o invernadero, es de dos caídas tipo capilla, con una medida de 24 m de largo y 14 m de ancho, el alto en la parte posterior es de 3,5 m y la parte

anterior tiene una altura de 1,5 m, el cual fue construido con puntales de callapos y el techo con bolillos de 5.5 m los cuales fueron cubierto con agro film de 250 micrones y sujetado con gomas sobre cada bolillo.

La infraestructura ocupa una superficie de 336 m², conformada de ventanas laterales y una puerta frontal para el acceso de los obreros o investigadores.

3.2.2. Material genético



Características de las variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill), utilizadas en el experimento:

Tomate híbrido Pionera, Fuente: Valle de oro, CNPSH, MDRyT, INIAF (2011).

Características:

Tipo: Indeterminado

Forma de fruto: Perita cuadrado

Color del fruto: Rojo

Tamaño: 8 a 10 cm

Peso de fruto: 150 a 170 gr

Ciclo: 100 días después del trasplante (DDT)

Cantidad de semilla: 200gr/ha

Distancia entre surcos: 1 m

Distancia entre plantas: 40 cm

Rendimiento: 60 a 70 t/ha

3.2.3. Materiales de laboratorio

- Balanza digital
- Calculadora
- Impresora
- Tóner de impresora
- Lápices
- Espectrofotómetro
- Agenda de anotaciones
- Hojas 21,6*28,9 Tamaño carta
- Cámara digital
- Computadora

3.2.4. Material de campo

- Termo hidrómetro
- Medidor de CO₂
- Termómetros
- Carretilla
- Malla de tutoraje
- Cascarilla de arroz

- Luxómetro
- Balanza
- Fumigadora
- Tijera
- Alambre galvanizado
- Envases de polietileno
- Material de jardinería
- Cinta métrica
- Callapos de en poste
- Letreros y marbetes

3.2.5. Materiales de insumo fertilizantes hidrosolubles

- Nitrato de calcio
- Nitrato de potasio
- Sulfato de magnesio
- Fetrilon Combi I
- Ácido fosfórico
- Ácido nítrico

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo de estudio experimental

El estudio se llevó a cabo en el Centro Experimental de Kallutaca para ver el comportamiento del nitrógeno a diferentes niveles de tratamiento y poder evaluar el desarrollo vegetativo y el contenido de nitratos en la planta.

El ensayo se realizó en carpa solar de 8.30 x 5.16 m. Observando todo el ciclo vegetativo del cultivo. En el seguimiento se ha realizado en todo el desarrollo vegetativo de la planta, pero en cuanto a la evaluación de rendimiento, el fruto ha sido el más importante.

Además se analizó las diferentes partes de la planta el tallo, el peciolo y la hoja del tomate, esto con el objetivo para saber en cuanto donde se encuentra más concentración de nitratos.

3.3.1.1 Tipo de muestreo

Se usó el muestreo probabilístico en la que la totalidad de la población del experimento reunía las características para su selección y representación del presente trabajo.

3.3.2. Aplicación de fertilizantes hidrosoluble

La aplicación de las soluciones nutritivas se realizó de acuerdo a los tratamientos en diferentes niveles de nitrógeno.

3.3.2.1 Preparación de soluciones nutritivas

Para la formulación de los nutrientes se tomó en cuenta el tipo de cultivo utilizando el programa de Hydrobuddy.

Las soluciones nutritivas para el fertirriego, se tomó en cuenta el requerimiento nutricional de los 16 elementos minerales: NO_3^- , NH_4^+ , P_2O_5 , K_2O , Mg, Ca, S, Fe, Zn, B, Mn, Cu y Mo (PAYE, 2010), para su buen desarrollo; entonces se administró a través de fertirriego durante el ciclo del cultivo de acuerdo a los niveles propuestos en la investigación.

Este proceso es el más importante, para poder evaluar los niveles de dosis de nitrógeno, de acuerdo del requerimiento nutricional de la planta. Los fertilizantes se utilizaron de acuerdo a la fase fonológica de la planta, pero en función a los niveles planteados del proyecto de investigación.

3.4. Diseño Experimental

Para el análisis estadístico del experimento se adoptó el Diseño de Completamente al Azar (**DCA**), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones para cada especie de tomate (OCHOA, 2009).

3.4.1. Mólolo lineal aditivo

Por lo que el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij}	=	Una observación.
μ	=	Media general.
α_i	=	Efecto del i – ésimo efecto del nivel de nitrógeno.
ε_{ij}	=	Error experimental

3.4.2. Factores de estudio o tratamientos en estudio

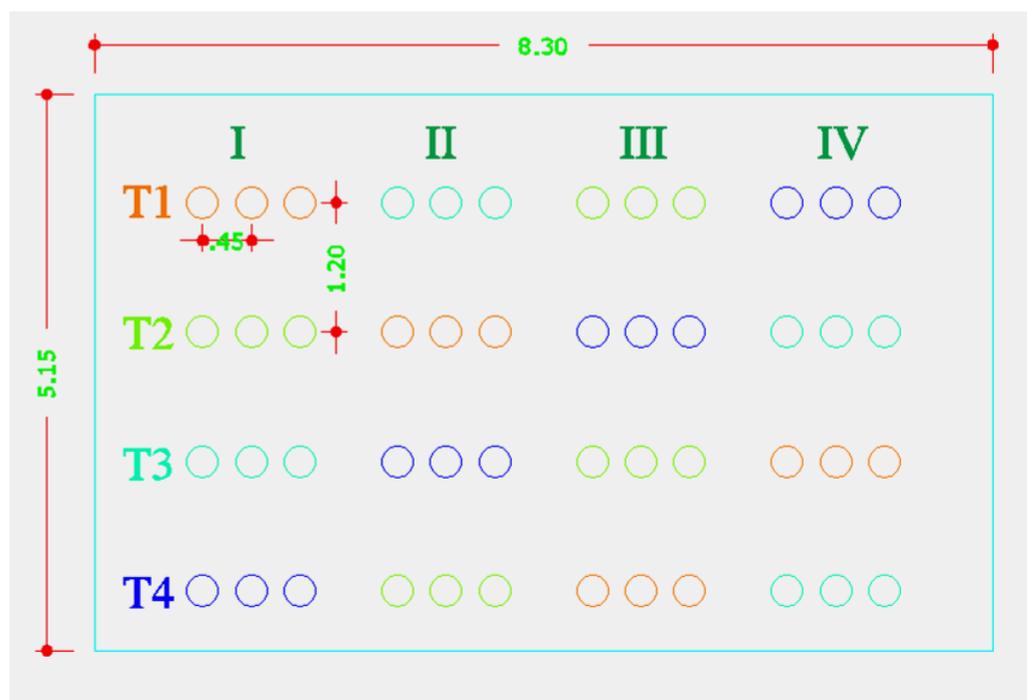
Para una mejor visión y tratar de reducir el error experimental se instalaran 48 macetas, con cuatro tratamientos y 4 repeticiones, las características de instalación se muestra en el croquis del experimento:

- T1= 150 ppm de nitrógeno
- T2= 300 ppm de nitrógeno
- T3= 450 ppm de nitrógeno
- T4= 600 ppm de nitrógeno

3.4.3. Croquis del experimento

Las unidades experimentales, para una mejor visión y tratar de reducir el error experimental se instalaran veinte hileras cada uno, esto en función al requerimiento de terreno del cultivo de tomate; las características se detallan a continuación. Dimensiones: Plantas total del experimento 48 macetas.

Figura 4. Croquis del proyecto de investigación



Fuente: Elaboración propia

3.5. Métodos de campo

3.5.1. Preparación del sustrato

La preparación del sustrato se realizó utilizando: cascarilla de arroz, arena y aserrín. El volumen de las macetas fueron de 30x40cm, posteriormente se realizó las perforaciones de drenaje. El sistema que se ha trabajado es el sistema hidropónico en sustrato.

3.5.2. Almacigo

La siembra de semilla de Tomate, se efectuó en los semilleros de bandejas plásticas de germinación con divisiones individuales. Cada semillero tiene 128 alveolos y en cada alveolo se depositaron dos semillas con el fin de que se pueda ralea los plantines débiles.

Una vez que las semillas emergieron se regaron manualmente dos veces al día, uno en la mañana y otro en la tarde para disminuir el estrés hídrico de los plantines.

Los plantines permanecieron en espacio de tiempo de 31 días en el semillero hasta tener cuatro hojas verdaderas y luego se procedió al trasplante.

3.5.3. Trasplante

El trasplante se lo realizado en horas de la tarde después de los 31 días de la siembra, cuando alcanzaron un tamaño de 10 a 15 cm con cinco hojas verdaderas. Se humedeció las macetas uniformizando a capacidad de campo, posteriormente se realizó la apertura de los hoyos con la ayuda de un repicador a una distancia de 50 cm entre maceta y entre surcos a 1 metro entre pasillos.

3.5.4. Fertirriego

Para la aplicación de los fertilizantes al cultivo de tomate, se realizaron a cuatro niveles de soluciones nutritivas en base al nitrógeno. La aplicación se tomó en cuenta que el consumo de agua por día el cultivo de tomate de 3 litros m² día (CHIAPPELLA, 2005).

La forma de aplicación al cultivo fue manual con una jarra de capacidad de un litro, a dosis por maceta de 200 ml en la primera semana y posteriormente llegado hasta los 800 ml por maceta en la etapa productiva, la aplicación se localizó cerca de la planta pero llegando al tallo.

3.5.5. Labores culturales

Durante el desarrollo del cultivo no se presentaron las malas hierbas, pero si apareció esto se controló el desmalezado manualmente. Manteniendo de esta manera limpio el cultivo ya que puede existir la competencia de los fertilizantes por cada tratamiento del cultivo de tomate.

3.5.6. Cosecha

La cosecha se realizó de acuerdo a los tratamientos evaluados a partir de los 120 días después de la siembra en almacigo. En esta etapa el cultivo alcanza la madurez fisiológica y parámetros de comercialización del producto, por su tamaño y consistencia de los tomates.

Esta última parte no se realizó la comercialización ya que los niveles de los tratamientos no se sabe cuánto tiene de nitratos contiene o límites permitidos por la OMS; entonces se llevó al laboratorio.

3.6. Variables agronómicas

Por las características del cultivo se consideran las variables de evaluación detallada de los componentes de desarrollo como ser: altura de planta, cantidad de frutos por racimo, diámetro del fruto y rendimiento del cultivo.

3.6.1. Altura de planta

El registro de esta variable se tomara una vez por. Las plantas medidas serán tomadas al azar dentro de cada unidad experimental.

3.6.2. Numero de fruto por racimo

Esta variable será tomada del promedio de las 15 plantas marcadas tomadas al azar; por variedad.

3.6.3. Rendimiento del cultivo

En función al número de plantas cosechadas para el peso promedio de fruto, será registrado el rendimiento, tomando en cuenta para ello las distancias entre hileras y entre plantas. Para fines de representación esta variable fue registrada en t ha⁻¹.

3.6.4. Determinación del contenido de nitratos

Se procede a la recolecta de material vegetal para posterior análisis del contenido de nitratos y nitritos en los pecíolos y los frutos.

Para el análisis de los nitratos se recogen 100 g de material vegetal por cada tratamiento, que se coloca en una estufa a 60°C hasta que esté totalmente seco. Una vez que el material esté seco, se procede a su trituración (el aparato utilizado es una trituradora Moulinex) hasta que las hojas y los frutos queden en polvo cada uno independientemente.

La extracción de los nitratos se realizara a partir de 0,2 g de pecíolos secas en polvo, tres repeticiones por cada tratamiento, bien rotuladas y diferenciadas. Posteriormente, se añadirá 50 ml de agua destilada, siendo después agitadas por un agitador (Orbital Shaker – Modelo 481) durante 40 minutos, a una temperatura de 50°C y a 117 rpm. A continuación, los extractos serán filtrados utilizando embudos y filtros DP 145 110 y llevados para analizar a un espectrofotómetro Cromatógrafo Iónico, (Metron HM columna 838-861) en el laboratorio Bromatología de SELADIS de la Universidad Mayor de San Andrés.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

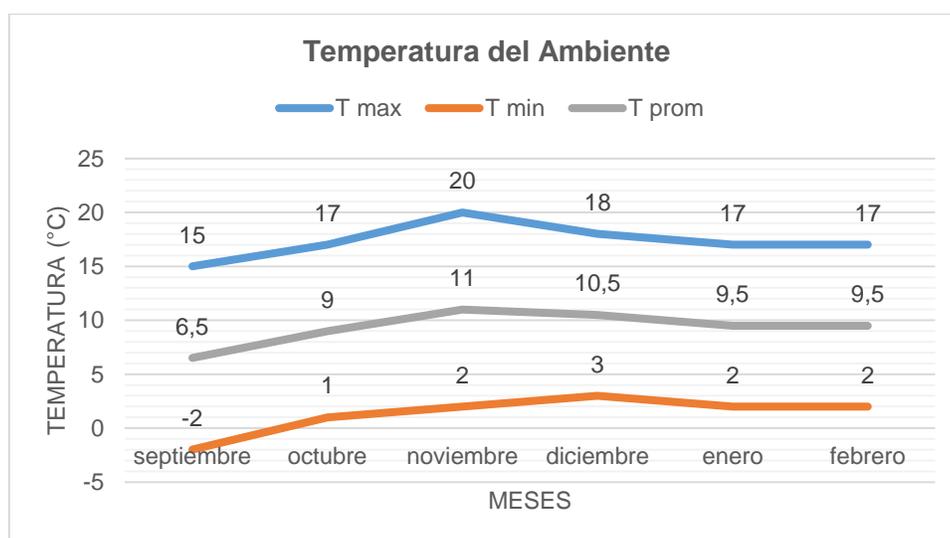
4.1. Factores climáticos

4.1.1. Temperatura ambiental

Los índices climáticos de mayor importancia que se consideraron en el presente trabajo son la temperatura, los cuales fueron analizados a partir de la información proporcionada por SENAMI (2012), las mismas que se detallan en la figura 5.

La temperatura máxima del ambiente del sector de la localidad de Kallutaca, se tiene un máximo de 20°C en el mes de noviembre y un mínimo en el mes de septiembre llegando a una temperatura de -2°C.

Figura 5. Temperatura del medio ambiente



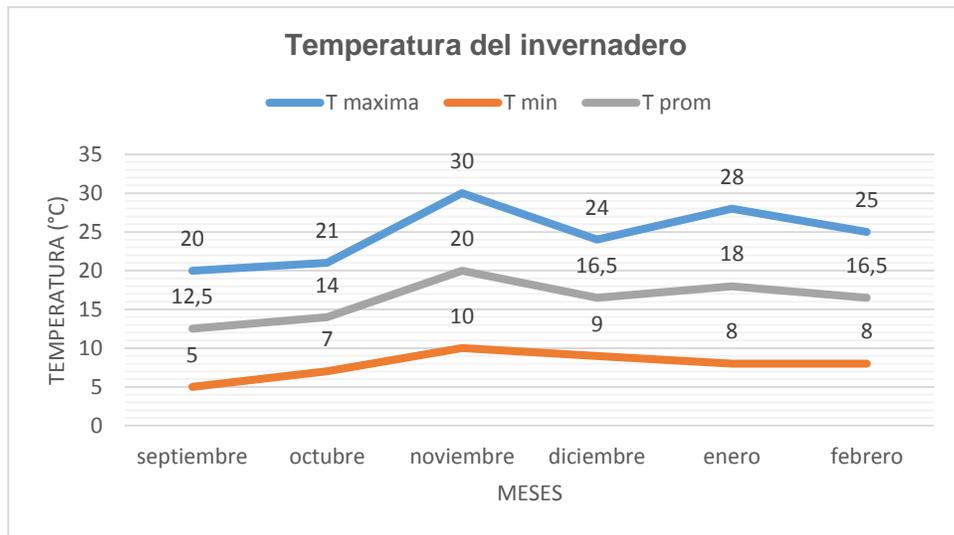
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2012).

4.1.2. Temperatura del ambiente atemperado

En la Figura 6 se observa que durante el inicio y la culminación de la investigación se registraron temperaturas de 30°C de máxima y un mínimo durante el día de 5 °C durante el mes de septiembre.

La época de verano es ideal en el altiplano boliviano. Donde se aprovecha la agricultura a lo máximo y en los invernaderos las producciones de hortalizas, tal el caso del cultivo tomate indeterminado del presente estudio.

Figura 6. Temperatura del invernadero



Fuente: propia del autor

Ahora bien, la temperatura óptima del desarrollo para el tomate oscila entre 20 - 30°C durante el día y entre 1 - 17 durante la noche; temperaturas superiores a los 30 - 35°C afectan al fructificación, por el mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. (INFOAGRO, 2012).

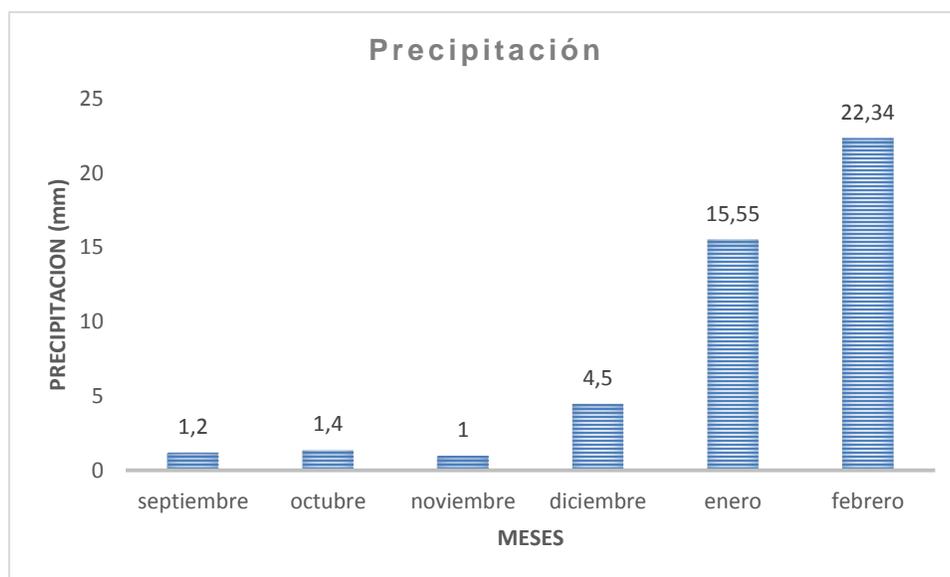
El mismo autor indica que las temperaturas inferiores a 12 a 15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C así como superiores a los 30°C originan tonalidades amarillentas.

Según (CUCA, 2008), indica que la temperatura media ambiente promedio durante la época de verano es de 17.4 °C serian optimas en las ultimas faces de producción de las hortalizas en los ambientes atemperados.

4.1.3. Precipitación pluvial

El comportamiento de lluvias es casi constante del mes de septiembre a noviembre pero aumenta del mes de diciembre a febrero llegando esto hasta 22,34 mm, en estos meses se llevó a cabo el presente estudio, influyendo al cultivo del tomate para la humedad del ambiente del ambiente atemperado. Tal como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Precipitación pluvial



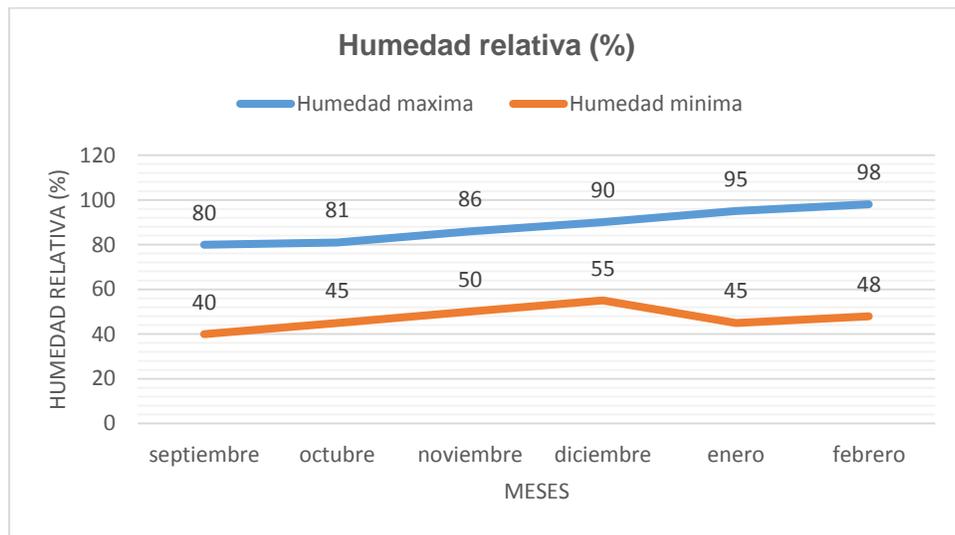
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2012).

4.1.4. Humedad relativa ambiental

La humedad relativa, nos señala que se tuvo una humedad media para las condiciones del cultivo del tomate, que requiere una humedad de 30 a 60% que son los recomendables para el normal desarrollo y fructificación de las vainas, de los diferentes tratamientos dentro del ambiente.

En la figura 8, se registró un 98 % que este dato es la máxima en las mañanas, pero con una ventilación del ambiente se elimina inmediatamente.

Figura 8. Humedad relativa del ambiente atemperado



Fuente: Propia

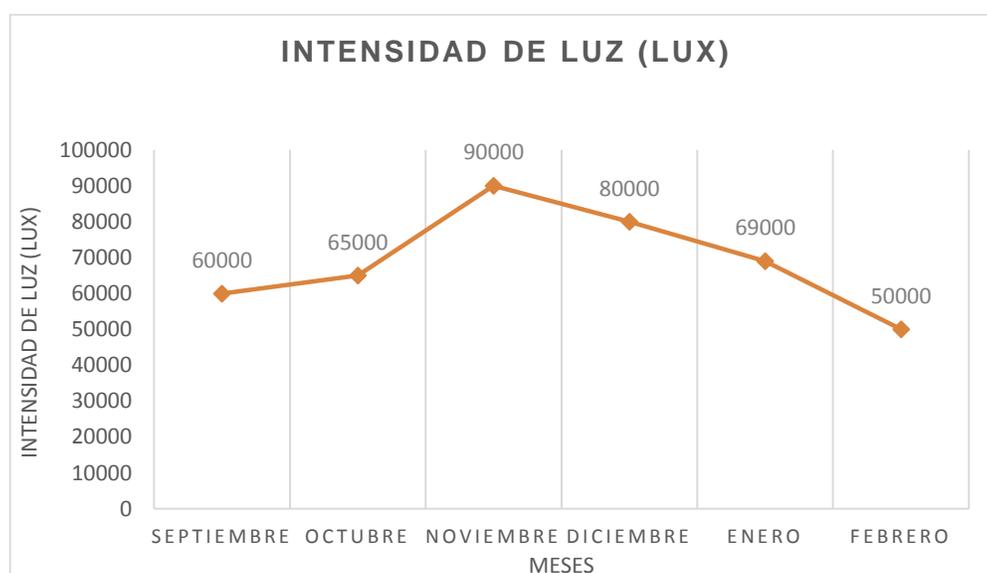
La mayoría de las plantas se desarrollan bien en ambientes donde la humedad relativa fluctúa entre el 30 a 70 %, debajo de 30 % las hojas y tallos se marchitan en cambio por encima del 70 % de humedad relativa la incidencia de enfermedades se constituye en un serio problema, (MIRABAL L. , 2000.)

La humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor. (INFOAGRO, 2012).

4.1.5. Intensidad de luz

En la figura 9, se puede distinguir que la intensidad de radiación solar es mayor sin red de malla raschel, alcanzando una máxima de 90.000 lux en el mes de noviembre, una mínima de 50.000 lux en el mes de febrero.

Figura 9. Intensidad de radiación solar dentro el invernadero



Fuente: Elaboración propia

La intensidad de luz es muy importante para la fotosíntesis del cultivo, y el requerimiento del cultivo de tomate es de 60.000 a 90.000 lux. Con malla raschel se puede regular para los cultivos de lechuga, espinaca que generalmente se produce en los invernaderos.

Cuando la luminosidad es reducida pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad. (INFOAGRO, 2012).

4.1.6. Dióxido de carbono (CO₂)

En el cultivo del tomate las cantidades óptimas de CO₂ son de 700-800 ppm. En cuanto a los rendimientos netos dan incrementos del 15-25% en función del tipo de invernadero, el sistema de control climático, etc.

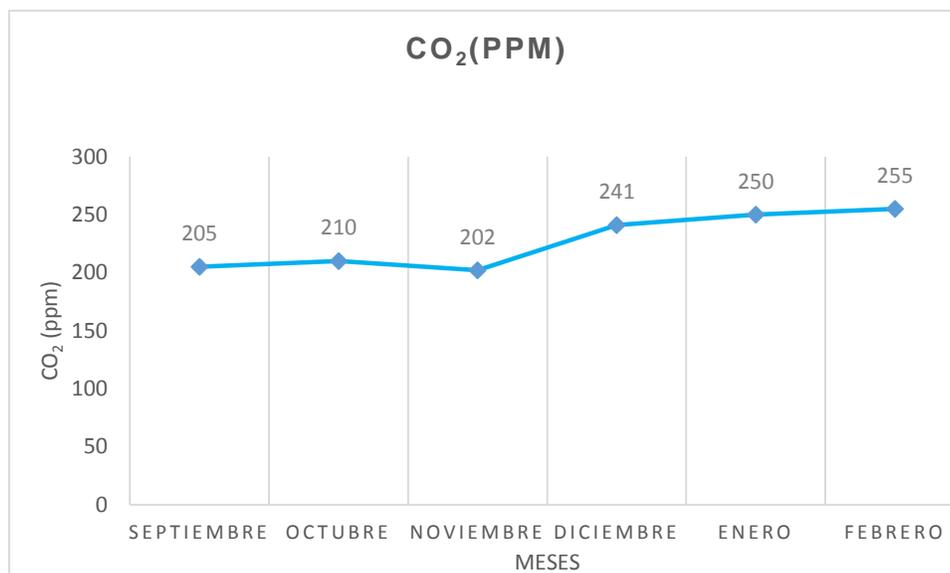
Según infoagro (2012), el CO₂ permite compensar el consumo de las plantas y garantiza el mantenimiento de una concentración superior a la media en la atmósfera del invernadero; así la fotosíntesis se estimula y se acelera el crecimiento de las plantas.

Para valorar las necesidades de CO₂ de los cultivos en invernadero necesitamos realizar, en los diversos periodos del año, un balance de las pérdidas derivadas de la absorción por parte de las plantas, de las renovaciones de aire hechas en el invernadero y las aportaciones proporcionadas por el suelo a la atmósfera del mismo.

Del enriquecimiento en CO₂ del invernadero depende la calidad, la productividad y la precocidad de los cultivos. Hay que tener presente que un exceso de CO₂ produce daños debidos al cierre de los estomas, que cesan la fotosíntesis y pueden originar quemaduras.

En la figura 10, nos muestra el CO₂ en el invernadero del altiplano. Pero como en la presente investigación no satisfacen el requerimiento, se tiene un mínimo y máximo de 202 a 255 ppm respectivamente.

Figura 10. CO₂ dentro el invernadero



4.1.7. Consumo de agua del cultivo de tomate

El cultivo utiliza la radiación solar, el CO₂ de la atmósfera, agua y nutrientes para producir biomasa (frutos, hojas, tallos y raíces) mediante el proceso de la fotosíntesis. Cuando las estomas de las hojas están abiertos, para permitir la entrada de CO₂, se produce la pérdida de agua a la atmósfera. Esta pérdida de agua es un coste que debe pagar el cultivo para producir, y debe ser repuesta por la planta mediante la extracción de agua del suelo por las raíces. (PALMERILLAS, 2005).

Según Pamerilllas (2005), indica que la fecha de trasplante y dividir los meses en quincena y encontraron el consumo diario en condiciones de no encalado o blanqueo es 2,3 litros/m² día.

Para el consumo de agua del cultivo de tomate bajo ambiente atemperado se ha calculado a partir de datos climáticos. Para el estado de desarrollo, el consumo agua de un cultivo es mayor en verano que en invierno debido a que la radiación solar también es mayor. La temperatura influye en el ritmo de desarrollo del cultivo, y por tanto en el ritmo de consumo de agua.

4.2. Evaluación de las características agronómicas

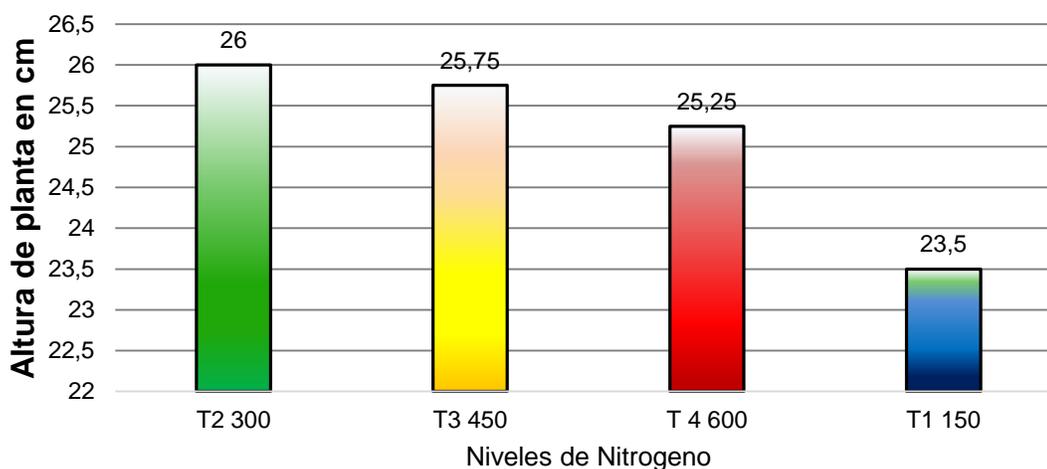
Los resultados alcanzados en los diferentes tratamientos de evaluación sobre el comportamiento vegetativo después de la aplicación de niveles de nitrógeno de 150, 300, 450 y 600 partes por millón (ppm). Se detallan a continuación para cada una de las variables propuestas.

4.2.1. Altura de planta

4.2.1.1 Altura de planta a los 30 días después del trasplante

Para la evaluación de este variable de respuesta, se obtuvo datos de cada uno de las unidades experimentales, dando inicio a los 30 días después del trasplante (ddt). La razón del paso de su primera fase de crecimiento vegetativo como plantín. En la figura 1 se muestra la altura de planta.

Figura 11. Altura de planta por los niveles de fertilización nitrogenada



El nivel de fertilización nitrogenada con 50 ppm de nitrógeno no influye de manera directa a la variable de respuesta de altura de planta de 18,6 cm en la variedad híbrida DRDH 8001, comparación con el autor en el presente se obtuvo mejores resultados a un nivel de T2 de 300 ppm de nitrógeno teniendo una altura de 26 cm en los primeros 30 ddt. (FAO, 2000).

El análisis de varianza para treinta ddt, del Cuadro 3, indica que no existe diferencia estadísticamente ($Pr > 0.05$), ya que los niveles no tienen influencia en los tratamientos en este variable.

Cuadro 3. Análisis de varianza de 30 días después del trasplante (ddt)

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	15,25	5,08	2,00	0,1678 ns
Error	12	30,50	2,54		
Total corregido	15	45,75			

G.L.= Grados de libertad; S.M.= Suma de cuadrado; C.M. = Cuadrado medio; F.C. = F calculado; Pr > F = Probabilidad de F; ns = no significativo; * = significativo y ** = Altamente significativo.
C.V. = 6.34 %

Como el valor de Pr es mayor a 0,05 (Pr 0,1678 no significativo) aceptamos la hipótesis nula, por lo tanto se tiene diferencias no significativas en la altura de planta en la fase vegetativa de los diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 6,34 % indica que los datos son confiables y están dentro del rango (menor a 30%) teniendo un promedio general de 25,125 cm.

Cuadro 4. Treinta ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Altura de planta (cm)	Prueba de Duncan (5%)
300	T2	26,00	A
450	T3	25,75	A
600	T4	25,25	A
150	T1	23,50	A

En el Cuadro 4. Según Duncan existen diferencias estadísticas en los niveles de aplicación de fertilización nitrogenada (150 ppm, 300 ppm, 450 ppm, 600 ppm) estos forman un solo grupo los cuales tienen una altura de planta.

4.2.1.2 Altura de planta a los 60 días después del trasplante

En el cuadro 4 de análisis de varianza de 60 ddt, registra un coeficiente de variación de 3,77%, lo que nos demuestra que los datos son confiables para su análisis, por encontrarse por debajo del 30% que es el rango permitido (Calzada, 1983).

La probabilidad es menor a 0,01 la $Pr=0,0028$, rechazamos la H_0 , por lo tanto se tiene diferencias altamente significativas en la altura de planta en la fase vegetativa de los diferentes tratamientos.

Cuadro 5. Análisis de varianza de 60 días después del trasplante (ddt)

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	93,50	31,17	8,40	0,0028 **
Error	12	44,50	3,71		
Total corregido	15	138,00			

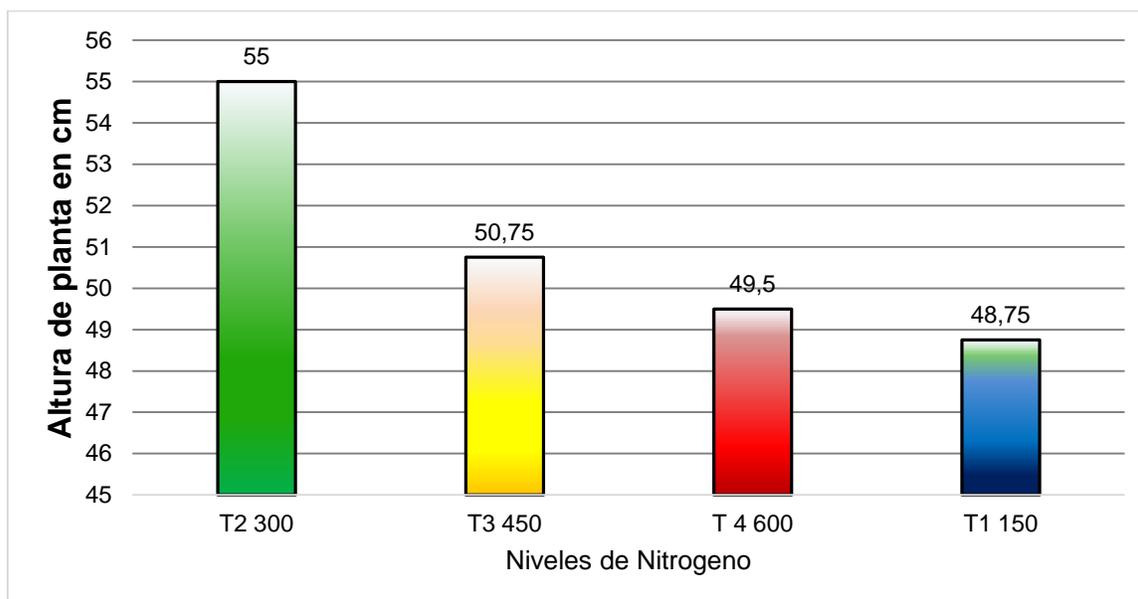
C.V. = 3.77 %

La prueba de Duncan en el cuadro 6, presenta dos grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T2 (300 ppm) presenta diferencias en el promedio de altura en la fase vegetativa con relación a los tratamientos T3, T4 y T1, siendo estos estadísticamente iguales.

Cuadro 6. Sesenta ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Altura de planta (cm)	Prueba de Duncan (5%)
300	T2	55,00	A
450	T3	50,75	B
600	T4	49,50	B
150	T1	48,75	B

Figura 12. Altura de planta a los Sesenta ddt por niveles de nitrógeno



IFA, (2012) nos da una altura de planta de 44,6 cm a un nivel de fertilización de nitrógeno de 50 ppm, en el presente estudio se obtuvo mayores resultados debido a la mayor concentración de nivel de aplicación de nitrógeno, el mejor resultado se obtuvo en el Nivel de T2 con 300 ppm.

4.2.1.3 Altura de planta a los 90 días después del trasplante

A los 90 días después del trasplante nos muestra el valor de Pr es mayor a 0,05 ($Pr=0,1$) aceptamos la H_0 , por lo tanto se tiene diferencias altamente significativas en la altura de planta en la fase vegetativa de los diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 1,58% indica que los datos son confiables y están dentro del rango (< 30%) teniendo un promedio general de 105,31cm. Este dato se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis de varianza de 90 días después del trasplante (ddt)

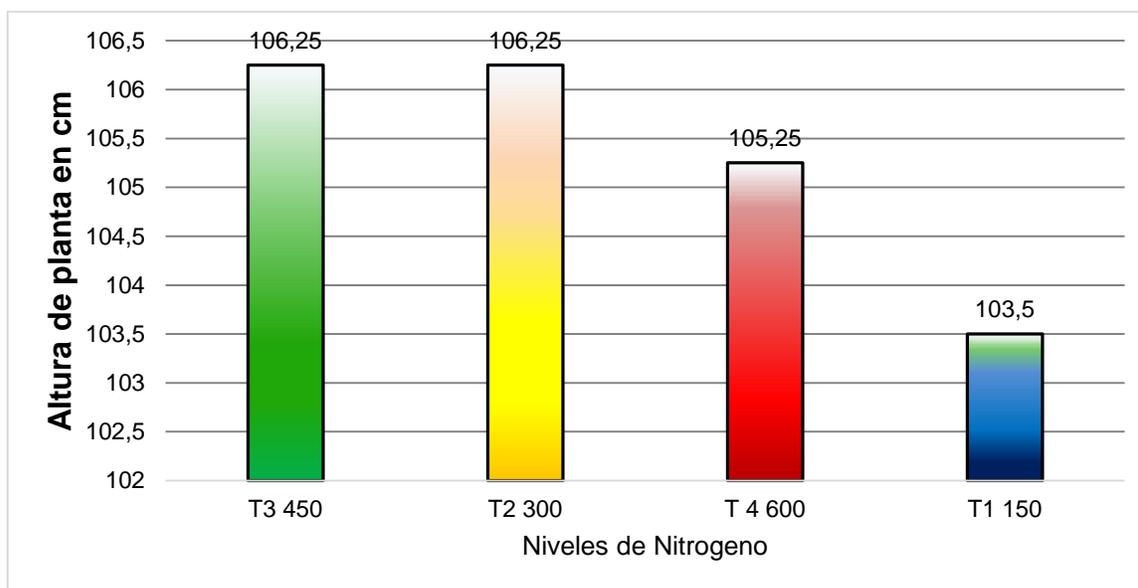
Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	20,18	6,72	2,43	0,1 NS
Error	12	33,25	2,77		
Total corregido	15	53,43			

C.V. = 1,58 %

La prueba de Duncan en el cuadro 8, no presenta dos grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T3 (450 ppm) presenta diferencias en el promedio de altura en la fase vegetativa con relación a los tratamientos T2, T4 y T1, siendo estos estadísticamente iguales.

Cuadro 8. Noventa ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Altura de planta (cm)	Prueba de Duncan (5%)
450	T3	106,25	A
300	T2	106,25	A
600	T4	105,25	A
150	T1	103,50	A

Figura 13. Altura de planta a los noventa ddt por niveles de nitrógeno

4.2.1.4 Altura de planta a los 120 días después del trasplante

En el cuadro 8 nos indica que a los 120 días después del trasplante nos muestra el valor de Pr es menor a 0,05 ($Pr=0,094$) rechazamos la H_0 , por lo tanto se tiene diferencias altamente significativas en la altura de planta en la fase vegetativa de los diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 1,38% indica que los datos son confiables y están dentro del rango ($< 30\%$) teniendo un promedio general de 130,31 cm.

Cuadro 9. Análisis de varianza de 120 días después del trasplante (ddt)

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	26,18	8,72	2,67	0,094 NS
Error	12	39,25	3,27		
Total corregido	15	65,43			

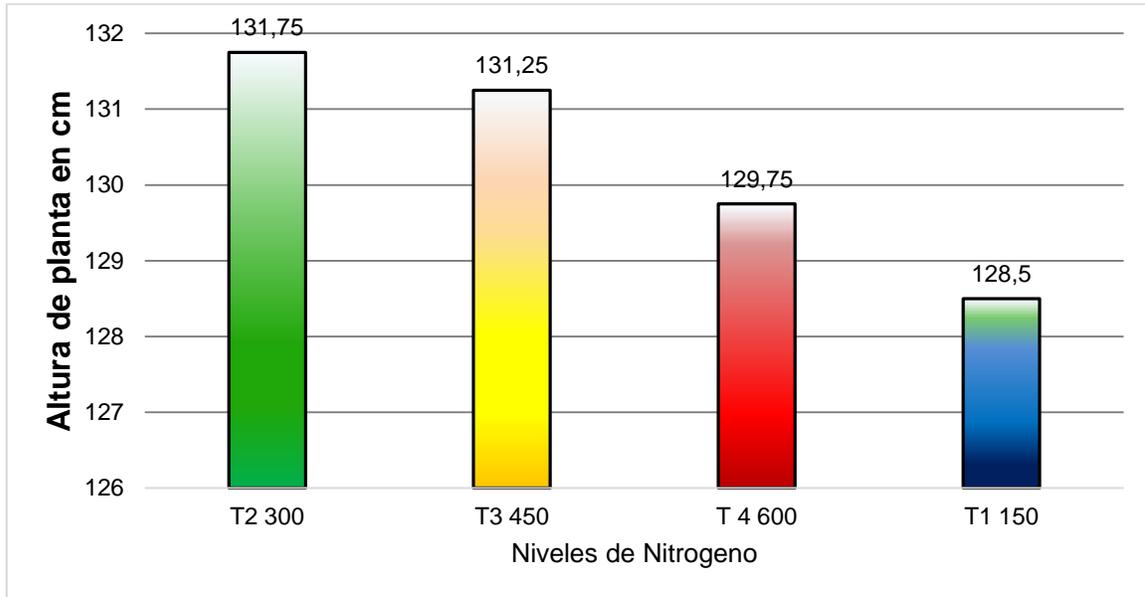
C.V. = 1,38 %

La prueba de Duncan en el cuadro 9, presenta dos grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T2 (300 ppm) y T3 (450) presenta diferencias en el promedio de altura en la fase vegetativa de 131,75 cm 131,25 cm respectivamente con relación a los tratamientos T4, T1 que son similares.

Cuadro 10. Ciento veinte ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Altura de planta (cm)	Prueba de Duncan (5%)
300	T2	131,75	A
450	T3	131,25	A
600	T4	129,75	B
150	T1	128,50	B

Figura 14. Altura de planta a los ciento veinte ddt por niveles de nitrógeno



El mejor resultado encontrado en el presente estudio es el de Nivel T2 de 300 ppm con altura de planta a los 150 ddt de con 131,75 cm; IFA, (2012) nos dice que el cultivo sometido a una concentración de 50 ppm de nitrógeno se obtuvo una altura de planta de 77.8 cm en la misma etapa fenológica de crecimiento, siendo así que los resultados obtenidos en esta investigación son mejores.

4.2.1.5 Altura de planta a los 150 días después del trasplante

El análisis de varianza de la altura de planta, registra un coeficiente de variación de 1,41 %, esto demuestra que los datos son confiables por encontrarse por debajo del 30% que es el rango permitido (Calzada, 1983).

Ahora bien en el cuadro 10 nos muestra que a los 150 días después del trasplante nos muestra el valor de Pr es mayor a 0,05 ($Pr=0,60$) aceptamos la H_0 , por lo tanto se tiene diferencias no significativas en la altura de planta en la fase reproductiva a los diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 1,41% indica que los datos son confiables y están dentro del rango ($< 30\%$) teniendo un promedio general de 146,61 cm.

Cuadro 11. Análisis de varianza de 150 días después del trasplante (ddt)

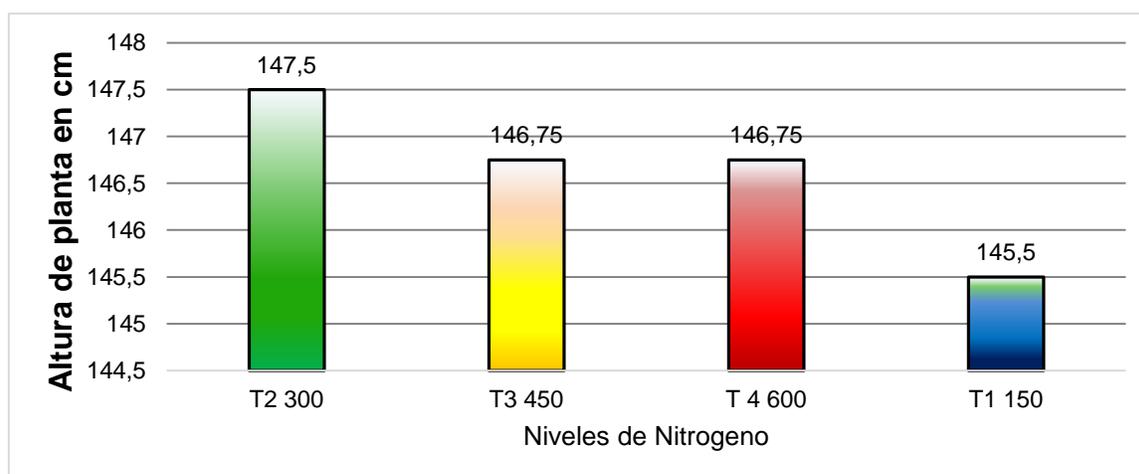
Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	8,25	2,75	0,64	0,60 ns
Error	12	51,5	4,29		
Total corregido	15	59,75			

C.V. = 1,41 %

Cuadro 12. Ciento cincuenta ddt por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Altura de planta (cm)	Prueba de Duncan (5%)
300	T2	147,50	A
450	T3	146,75	A
600	T4	146,75	A
150	T1	145,50	A

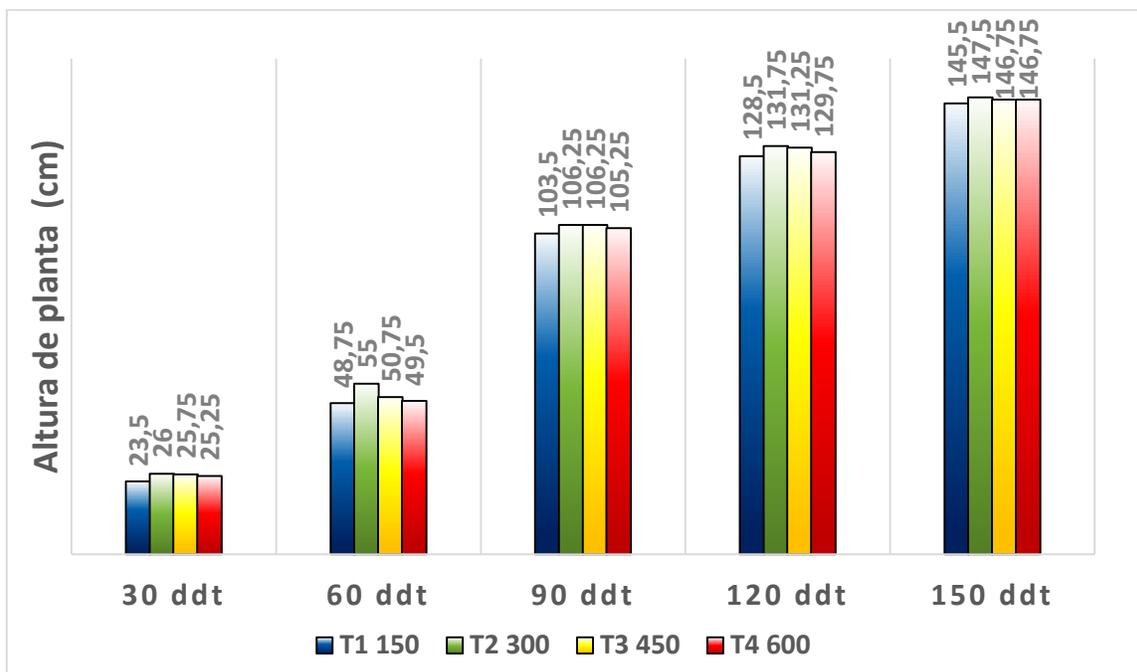
La prueba de Duncan en el cuadro 11, no presenta grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T2 (300 ppm) presenta diferencias en el promedio de altura en la fase vegetativa de 147,50 cm, y los tratamientos de T3, T4 están con una altura de 146,75 cm y el T1 presenta 145,50 cm.

Figura 15. Altura de planta a los ciento cincuenta ddt por niveles de nitrógeno

Cabe notar a que a mayor fertilizante, el crecimiento se perjudica como el que no tiene un fertilizante adecuado en el nivel de su requerimiento normal.

4.2.1.6 Altura de planta durante el ciclo fenológico (1-150 días) del cultivo

Figura 16. Altura de planta a los diferentes días de trasplante



El comportamiento que se observa en la Figura 16, denota que el tratamiento que tuvo mejor comportamiento a la aplicación de nitrógeno con fertirriego es el T2 300 (ppm), este tratamiento es el que asimiló mejor el nivel de nitrógeno incorporado en el cultivo en todo el ciclo de crecimiento que es de 150 días teniendo una altura final de 147,5 cm de altura de planta de tomate.

4.2.2. Número de fruto por racimo

4.2.2.1 Número de frutos a los 90 días

En el cuadro 12, se presentan los resultados del análisis de varianza efectuado para la variable de números de frutos a los 90 días.

El coeficiente de variación fue de 18,46 % el cual nos indica que los datos son aceptables por ser menor al 30 % y estar dentro de los parámetros de aceptación teniendo un promedio general de 4,05 de frutos.

La Pr es menor a 0,05 (Pr=0,04) rechazamos la Ho, por lo tanto se tiene diferencias son significativas en el número de frutos a los diferentes tratamientos.

Cuadro 13. Análisis de varianza de número de frutos

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	6,18	2,06	3,67	0,04 *
Error	12	6,75	0,56		
Total corregido	15	12,93			

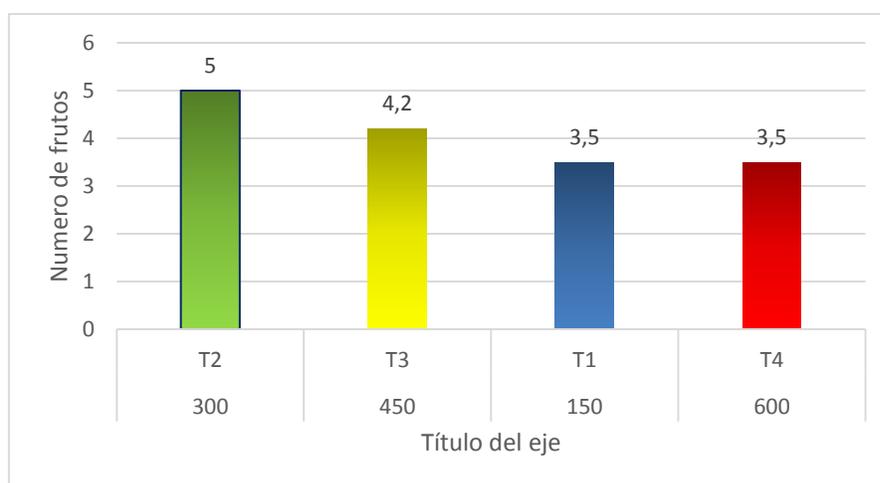
C.V. = 18,46 %

La prueba de Duncan en el cuadro 13 nos presenta dos grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T2 (300 ppm) presenta diferencias en el promedio de número de frutos con relación a los tratamientos T3, T1 y T4, siendo estos estadísticamente iguales.

Cuadro 14. Número de frutos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Número de frutos	Prueba de Duncan (5%)
300	T2	5,0	A
450	T3	4,2	B
150	T1	3,5	B
600	T4	3,5	B

Figura 17. Número de frutos por los niveles de fertilización nitrogenada



4.2.2.2 Número de frutos a los 120 días

Según el análisis de varianza para esta variable se puede apreciar que no existen diferencias estadísticas significativas en el factor de los tratamientos de niveles de nitrógeno, así mismo se puede ver que no existen diferencias significativas en el factor de tratamientos de fertilizantes (cuadro 14).

Cuadro 15. Análisis de varianza de número de frutos

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	2,25	0.75	1,64	0,23 ns
Error	12	5,50	0.45		
Total corregido	15	7,75			

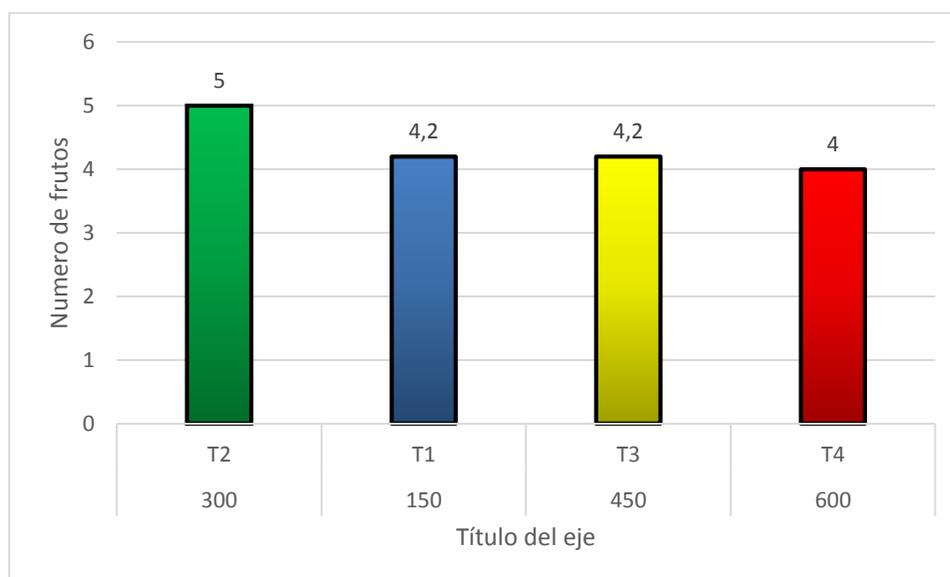
C.V. = 15,47 %

La prueba de Duncan en el cuadro 15 nos presenta grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T2 (300 ppm) presenta diferencias en el promedio de número de frutos con relación a los tratamientos T1, T3, y T4, siendo estos estadísticamente iguales.

Cuadro 16. Número de frutos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Número de frutos	Prueba de Duncan (5%)
300	T2	5,0	A
150	T1	4,2	A
450	T3	4,2	A
600	T4	4,0	A

Figura 18. Números de frutos por los niveles de fertilización nitrogenada



4.2.2.3 Número de frutos a los 150 días

En el cuadro 17, se presentan los resultados del análisis de varianza efectuado para la variable de números de frutos a los 150 días.

La Pr es menor a 0,05 ($Pr=0,006$) rechazamos la H_0 , por lo tanto se tiene diferencias son altamente significativas en el número de frutos a los diferentes tratamientos. El coeficiente de variación fue de 16,43 % el cual nos indica que los datos son aceptables por ser menor al 30 % y estar dentro de los parámetros de aceptación teniendo un promedio general de 4,5 de frutos.

Cuadro 17. Análisis de varianza de número de frutos

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	11,18	3,72	6,63	0,006 **
Error	12	6,75	0,56		
Total corregido	15	17,93			

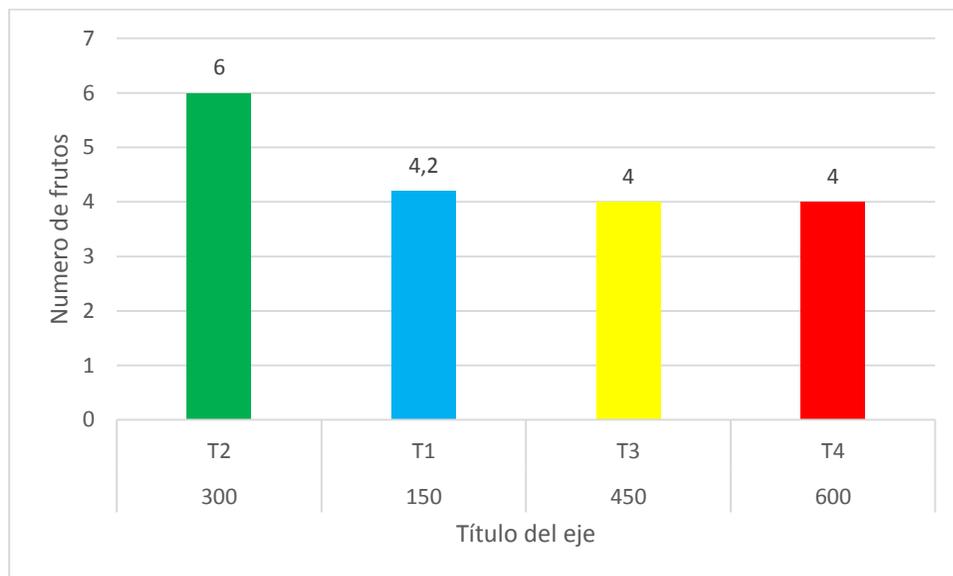
C.V. = 16,43 %

La prueba de Duncan en el cuadro 18 nos presenta dos grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T2 (300 ppm) presenta diferencias en el promedio de número de frutos con relación a los tratamientos T1, T3, y T4, siendo estos estadísticamente iguales.

Cuadro 18. Número de frutos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Número de frutos	Prueba de Duncan (5%)
300	T2	6,0	A
150	T1	4,2	B
450	T3	4,0	B
600	T4	4,0	B

Figura 19. Número de frutos por los niveles de fertilización nitrogenada



4.2.3. Rendimiento del cultivo

4.2.3.1 Rendimiento del cultivo de tomate t ha-1

En el cuadro 19 nos indica el rendimiento de cultivo de tomate en toneladas métricas por hectárea, y nos muestra el valor de Pr es menor a 0,05 ($Pr=0,006$) rechazamos la H_0 , por lo tanto se tiene diferencias altamente significativas en el rendimiento a los

diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 12,15% indica que los datos son confiables y están dentro del rango (< 30%) teniendo un promedio general de 43,33 tn/ha.

Cuadro 19. Análisis de varianza de rendimiento del tomate

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	555,54	185,18	6,67	0,006 **
Error	12	333,16	27,76		
Total corregido	15	888,71			

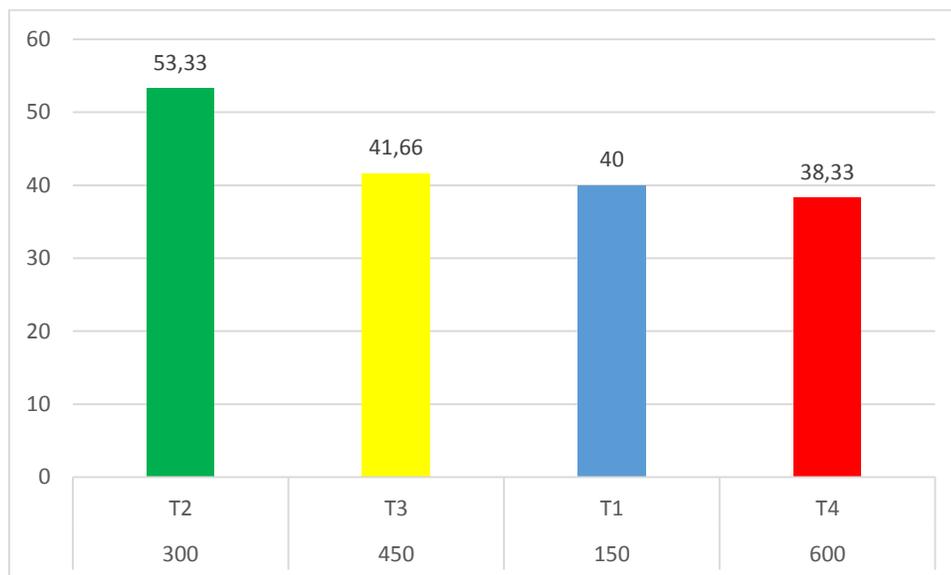
C.V. = 12,15 %

La prueba de Duncan en el cuadro 19 nos presenta dos grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T2 (300 ppm) presenta diferencias en el promedio de rendimiento en t ha⁻¹ con relación a los tratamientos T3, T1 y T4, siendo estos estadísticamente iguales.

Siendo esto por la absorción de los nutrientes solamente lo necesario por la planta, que a mayor incremento de fertilizante nitrogenado son siempre tendrá altos rendimientos en la cosecha de los frutos.

Cuadro 20. Rendimiento por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	Rend. en (t ha ⁻¹)	Prueba de Duncan (5%)
300	T2	53,33	A
450	T3	41,66	B
150	T1	40,00	B
600	T4	38,33	B

Figura 20. Rendimiento por los niveles de fertilización nitrogenada

4.2.4. Determinación del contenido de nitratos

4.2.4.1 Contenido de nitratos en el tallo

El contenido de nitratos en el tallo se muestra en el cuadro 20, la probabilidad de Pr es menor a 0,05 ($Pr=0,0001$) rechazamos la H_0 , por lo tanto se tiene diferencias altamente significativas en el contenido de nitratos en el tallo a los diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 0,26% indica que los datos son confiables y están dentro del rango ($< 30\%$) teniendo un promedio general de 312,77 ppm.

Cuadro 21. Análisis de varianza de contenido de nitratos en el tallo

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	72606,76	24202,25	34117,9	0,0001 **
Error	12	8,51	0,70		
Total corregido	15	72615,27			

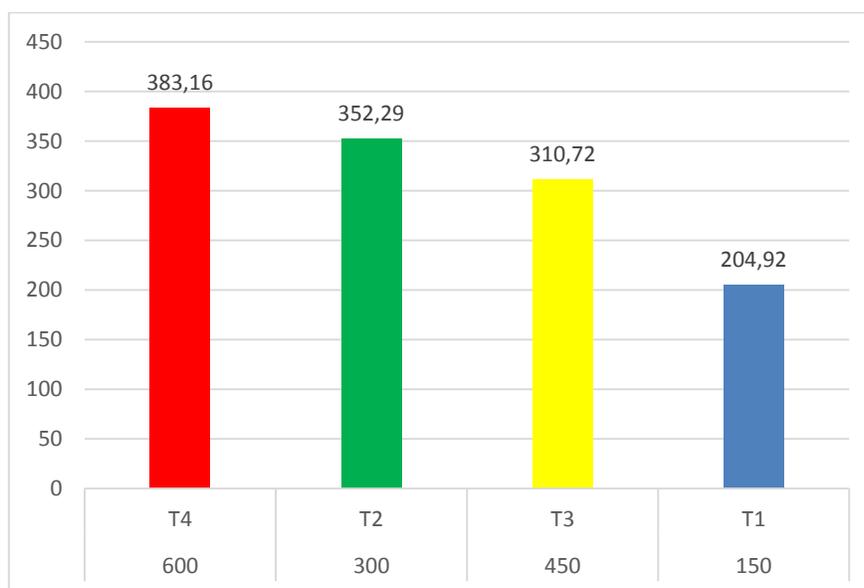
C.V. = 0,26 %

La prueba de Duncan en el cuadro 21, nos presenta cuatro grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T4 (600 ppm) presenta diferencias en el promedio de nitratos en el tallo con relación a los tratamientos T2, T3, y T1, siendo estos estadísticamente diferentes.

Cuadro 22. Contenido de nitratos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	NO ₃ ⁻ (ppm)	Prueba de Duncan (5%)
600	T4	383,16	A
300	T2	352,29	B
450	T3	310,72	C
150	T1	204,92	D

Figura 21. Contenido de nitratos en el tallo



4.2.4.2 Contenido de nitratos en el peciolo

En el cuadro 22 nos indica el contenido de nitratos en el peciolo y nos muestra el valor de Pr es menor a 0,05 (Pr=0,0001) rechazamos la Ho, por lo tanto se tiene diferencias altamente significativas en el contenido de nitratos en el peciolo a los diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 0,32% indica que los datos son confiables y están dentro del rango (< 30%) teniendo un promedio general de 298,375 ppm.

Cuadro 23. Análisis de varianza de contenido de nitratos en el peciolo

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	66725,93	22241,97	23924,3	0,0001 **
Error	12	11,15	0,92		
Total corregido	15	66737,09			

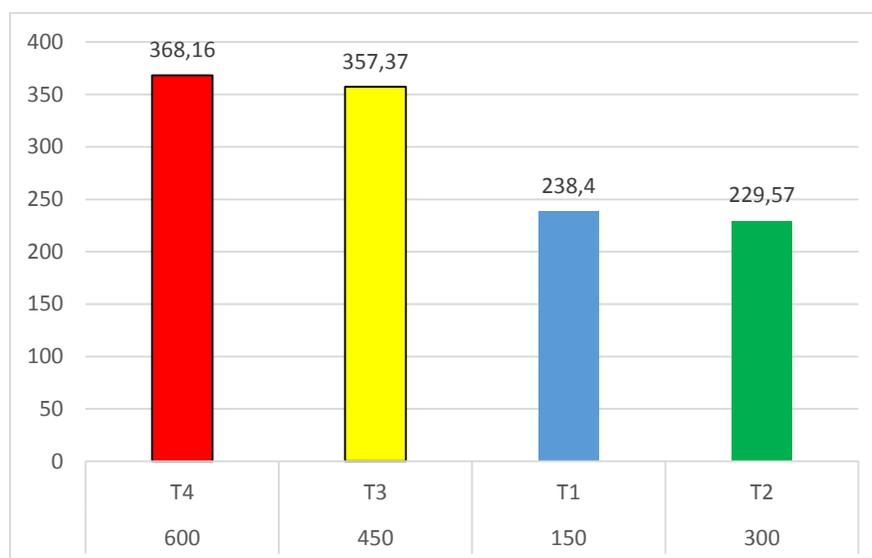
C.V. = 0,32 %

La prueba de Duncan en el cuadro 23 nos presenta cuatro grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T4 (600 ppm) presenta diferencias en el promedio de nitratos en el peciolo con relación a los tratamientos T3, T1y T2, siendo estos estadísticamente diferentes.

Cuadro 24. Contenido de nitratos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	NO ₃ ⁻ (ppm)	Prueba de Duncan (5%)
600	T4	368,16	A
450	T3	357,37	B
150	T1	238,40	C
300	T2	229,57	D

Figura 22. Contenido de nitratos en el peciolo



4.2.4.3 Contenido de nitratos en la hoja

En el cuadro 24 nos indica el contenido de nitratos en la hoja de tomate en partes por millón, y nos muestra el valor de Pr es menor a 0,05 ($Pr=0,006$) rechazamos la H_0 , por lo tanto se tiene diferencias altamente significativas en el rendimiento a los diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 0,57% indica que los datos son confiables y están dentro del rango ($< 30\%$) teniendo un promedio general de 458,375 ppm.

Cuadro 25. Análisis de varianza de contenido de nitratos en la hoja

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	587860,68	195953,56	27987,3	0,0001**
Error	12	84,01	7,00		
Total corregido	15	587944,70			

C.V. = 0,57 %

La prueba de Duncan en el cuadro 25 nos presenta cuatro grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T4 (600 ppm) presenta diferencias en el promedio

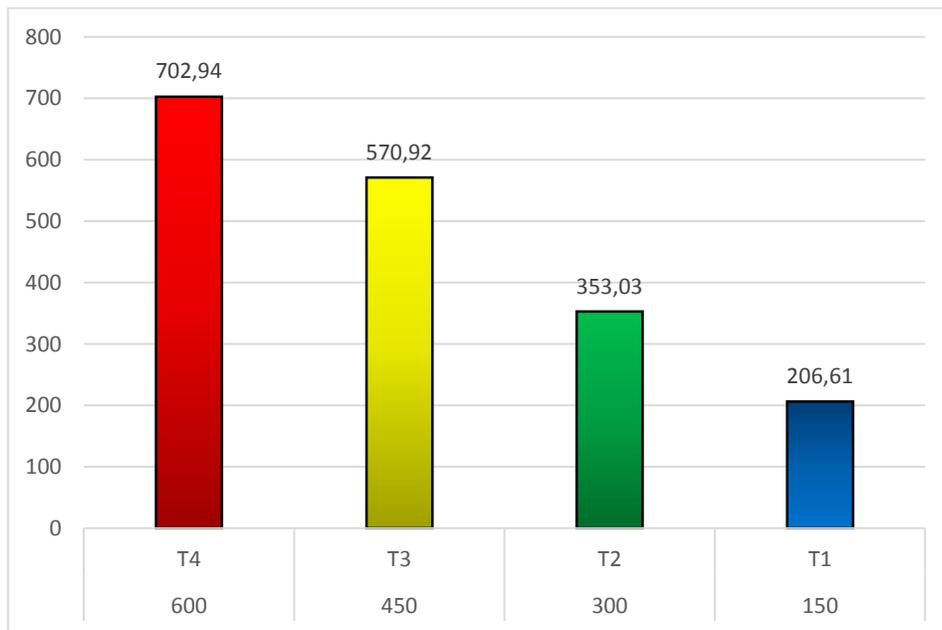
de rendimiento en nitratos en la hoja con relación a los tratamientos T3, T2 y T1, siendo estos estadísticamente diferentes.

El mayor contenido de nitratos que se encuentra es en las hojas de tomate, como en indican los autores respecto a este parámetro.

Cuadro 26. Contenido de nitratos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	NO ₃ ⁻ (ppm)	Prueba de Duncan (5%)
600	T4	702,94	A
450	T3	570,92	B
300	T2	353,03	C
150	T1	206,61	D

Figura 23. Contenido de nitratos en la hoja



4.2.4.4 Contenido de nitratos en el fruto

En el cuadro 26 nos indica el contenido de nitratos en el fruto del cultivo de tomate en partes por millón, y nos muestra el valor de Pr es menor a 0,05 (Pr=0,0001) rechazamos la Ho, por lo tanto se tiene diferencias altamente significativas en el

contenido de nitratos en el fruto a los diferentes tratamientos con un coeficiente de variación de 0,74% indica que los datos son confiables y están dentro del rango (< 30%) teniendo un promedio general de 374,85 ppm.

Cuadro 27. Análisis de varianza de contenido de nitratos en el fruto

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Niveles de nitrógeno	3	173694,5 8	57898,19	7450,65	0,0001 **
Error	12	93,25	7,77		
Total corregido	15	173787,8 3			

C.V. = 0,74 %

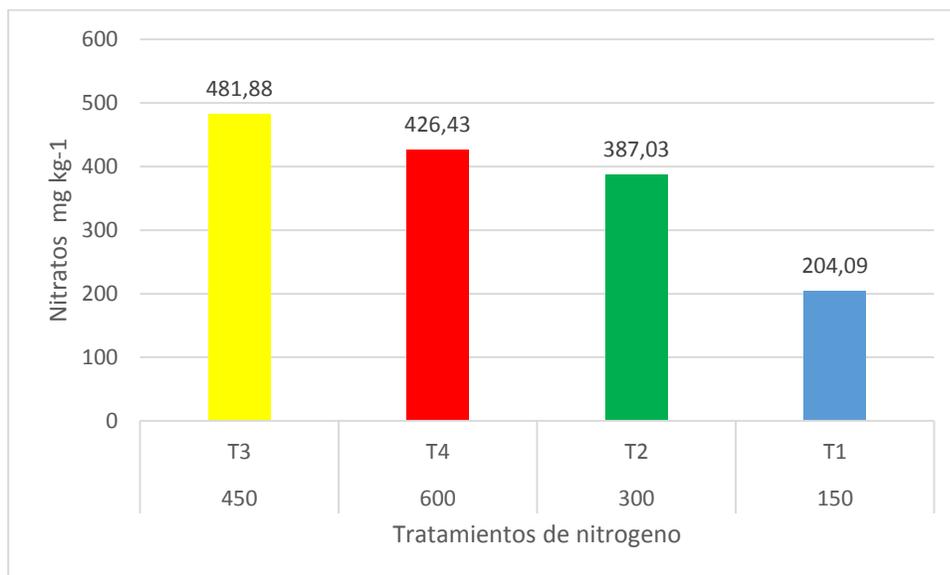
La prueba de Duncan en el cuadro 28 nos presenta cuatro grupos claramente diferenciados, donde el tratamiento T3 (300 ppm) presenta diferencias en el promedio de nitratos en ppm con relación a los tratamientos T4, T2 y T1, siendo estos estadísticamente desiguales.

De acuerdo citado al autor Martínez (2003) menciona que el fruto encontrado es de 700 a 900 ppm de nitratos.

Cuadro 28. Contenido de nitratos por niveles de nitrógeno y prueba de Duncan.

Nivel de fertilización nitrogenada (ppm)	Código	NO ₃ ⁻ (ppm)	Prueba de Duncan (5%)
450	T3	481,88	A
600	T4	426,43	B
300	T2	387,03	C
150	T1	204,09	D

Figura 24. Contenido de nitratos en el fruto de tomate



Según (GARCÍA ROCHE, 1991), obtuvo que ha dosis de 110 ppm de nitrógeno, no paso los límites permisibles de nitratos de 150 mg kg⁻¹. Con el T1 de 150 ppm de nitrógeno pasa los límites permisibles de UE con 204,09 mg kg⁻¹.

La UE tiene fijados valores para tomates según real decreto de 15 de febrero de 1989. Legislación Rusa sobre contenidos máximos de nitratos tomate a campo abierto 150 de (mg kg⁻¹) y tomate de invernadero 300 limite (mg kg⁻¹ = ppm). (DIAZ, Revisión Abril 2014. 2002).

En la figura 24, muestra el T2 de 300 ppm, se obtiene de 387,03 mg kg⁻¹, pasando los límites permisibles de nitratos. Aunque con este tratamiento se tiene rendimientos de 53,33 t ha⁻¹ de la figura 20. Con esto se puede concluir que en rendimiento puede ser bueno pero el contenido no sabemos lo que estamos alimentándonos.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo fueron establecidas en función a los resultados obtenidos y son las siguientes:

- El crecimiento vegetativo del cultivo de tomate a los diferentes tratamientos, el que mejor desarrollo alcanzó a los 30, 60, 90, 120 y 150 días es el T2 de nivel de 300 ppm de nitrógeno total, alcanzando en centímetros de 26, 55, 106, 131 y 147 cm. A diferencia de los T3 (450 ppm), T4 (600 ppm) y T1 (150 ppm). Este comportamiento vegetativo es probablemente a que el nivel más óptimo para el desarrollo vegetativo es de 300 ppm del T2; en cambio el T4 de 600 ppm no tiene un crecimiento óptimo por el exceso de nitrógeno.
- En el número de frutos del cultivo de tomate, podemos decir que los mejores tratamientos a los 90, 120 y 150 días después del trasplante tienen de 5 frutos cada uno de los racimos de la planta que corresponde al T2 de 300 ppm de nitrógeno. A diferencia de los otros tratamientos de T1, T3 y T4 que es menor de 4 frutos. Como en el párrafo anterior el exceso de fertilizantes nitrogenados ha afectado a los T3 y T4, pero en cambio el T1 en menor cantidad de fertilizante nitrogenado que tiene el resultado de menor número de frutos.
- El rendimiento del cultivo de tomate en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) bajo ambiente atemperado, de cada uno de los tratamientos investigados alcanzó el tratamiento T2 de 300 ppm de nitrógeno con un rendimiento de 53,33 $t\ ha^{-1}$. El T3 tiene un resultado de 41,66 $t\ ha^{-1}$, con T1 se tiene 40,00 $t\ ha^{-1}$, y T4 es 38,33 $t\ ha^{-1}$.
- La concentración de nitrato (NO_3^-) en el tallo, peciolo hoja y fruto es muy variado; donde en el tallo T4 383,16 ppm de NO_3^- . En el peciolo con el tratamiento T4 se tiene 368,16 ppm de NO_3^- . En la hoja con el tratamiento T4 se tiene 702,94 ppm de NO_3^- . Y finalmente en el fruto con el tratamiento T3 se tiene 481,88 ppm de NO_3^- .

- En la investigación realizada se concluye que ha mayor concentración de ppm en nitrógeno de la solución nutritiva para el fertirriego o soluciones hidropónicas, se tiene mayor cantidad de nitratos en el frutos comerciales del cultivo de tomate.
- Manejar los fertilizantes orgánicos e inorgánicos con criterio técnico de acuerdo a los requerimientos del cultivo del tomate dentro de los parámetro de 150 - 200 ppm de nitrógeno sugerido de acuerdo UNALM (Universidad Agraria la Molina), considerando que pasando el máximo nivel del nitrógeno puede ocasionar problemas al medio ambiente con nitratos y a la salud humana.

6. RECOMENDACIONES

Al culminar el presente trabajo de investigación se recomienda a los productores de tomates:

- Como investigadores seguir comprobando con los niveles de nitrógeno con otras especies vegetales, ya que los datos servirán a los agrónomos y productores de hortalizas.
- La producción orgánica no es garantía en la producción de los alimentos porque no sabemos cómo se ha producido. Para tal efecto, se tiene que equipar los laboratorios de análisis bromatológicos especializados, ya que actualmente no existe centros especializados en el análisis de nitratos.
- Estudiar los otros elementos minerales que necesita la planta (P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, B, Mo) a diferentes niveles en ppm o kg ha⁻¹, en otras especies vegetales para poder recomendar.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, M. A. (2001). *Efecto de la fertilización orgánica en el rendimiento de tres variedades de repollo bajo condiciones de carpas solar*. Tesis de grado. La Paz - Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 80 p.
- BALLONA, G. C. (2010). *Mineralización de nitrógeno de diferentes abonos orgánicos*. Tesis de grado de Maestría, Tabasco - México: Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas Campus Tabasco, 104 pag.
- CEPEDA, J. (2010). *Fertilidad de Suelos I. Escuela de Agronomía*. República Dominicana: UASD (Universidad Autónoma de Santo Domingo): www.uasd.edu.do.
- CHIAPPELLA, J. S. (2005). *Riego y protección*. Buenos Aires - Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, 21p.
- CHURQUINA, V. (2003). *Guía Técnica para la Construcción y Manejo de Carpas Solares*. La Paz.
- CLAVIJO, J. (1994). *Metabolismo de los nutrientes en las plantas en fertilidad de suelos*. Bogotá-Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, pp. 14 - 28.
- COLLAZOS, C. (1996). *Tabla peruana de composición de alimentos. 7ª edición*. Lima.: Lima - Perú: INS/Cena.
- CUCA, J. (2008). Fortalecimiento de la cadena productiva de arveja china en el altiplano central de Guatemala. *Diagnóstico de la cadena alimentaria de la arveja china. Trabajo de graduación. Trabajo de graduación, Facultad de Agronomía Universidad de San Carlos de Guatemala.*, 3-4 p.
- DÍAZ, A. A. (Revisión Abril 2014. 2002). *NITRATOS*. Madrid- España, Secretaría General de Comercio Exterior.: CATICE de Gandía.
- DÍAZ-FRANCO, A. G. (2012.). *Impacto de la Biofertilización del Maíz en el Norte de México*. . México, D.F.: Folleto Técnico No. Mx-0310301.
- FAO. (2000). *Estrategias en Materia de Fertilizantes*. Roma: IFA.

- FAO. (2003). *Manual Técnico de Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción del Tomate Bajo Condiciones Protegidas*. Roma.
- GARCÍA ROCHE, M. O. (1991). *Límites de residuos permisibles de nitratos en los productos vegetales de Cuba*. . Habana - Cuba: Revista CNIC Ciencias Biológicas 22(1-2):95-97.
- GARCÍA, M. N. (2010). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. España: MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO.
- GARCIA, M. O., GARCIA, M., & CAFIAS, R. (1994). *Nitratos, Nitritos y Compuestos de NM Nitroso*. Centro IJanamericanode Ecología Humana y Salud. Mexico: Mlepec.
- GUARACHI, E. (2011). *Balance hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje sukakollus*. . La Paz - Bolivia.: Tesis Lic. Ing. Agr. Bolivia UPEA, Kallutaca, 96 p. .
- GUTIERREZ, L. (2012). *Efecto de dosis de frecuencia de aplicación de biol en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.)*. En la comunidad San Cristobal, provincia Los Andes.: Tesis de grado UCB - uac tiahuanaco, La Paz - Bolivia 41p.
- HUANCA, R. (1996.). *Estudio microclimáticos de los SukaKollu y su influencia en la protección contra heladas*, . La Paz, Bolivia: Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, UMSA, a, 146 p.
- INFOAGRO. (Lunes 12 de noviembre de 2012 de Septiembre de 2012). *www.infoagro.com*.
Obtenido de *www.infoagro.com*: <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>
- (JUAN CARLOS LÓPEZ. 2013. Efecto de tres niveles de biol en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.) En la comunidad de Kenakahua Alta.). La p: Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz – BO, UPEA, 3 – 49 p.
- LLAGUA, A. (2014). *“Evaluación de tres niveles de fertilización de n – p – k en el cultivo de brócoli en el cantón pelileo*. Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja Carrera de Administración y Producción Agropecuaria. tesis de grado.
- LOPEZ, J. C. (2013). *Efecto de tres niveles de biol en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.)*. En la comunidad de Kenakahua Alta.: Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz - Bolivia, UPEA, 3 - 49 p.
- MARTINEZ, J. (2003). *Fertilización en Hortalizas*. Mexico: Universidad Autónoma Nuevo León.

- MARTINEZ, M. (1979). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Mexico, D.F. : Fondo de Cultura Económica.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. (2004). *Listado de plagas en Cultivos de Importancia Económica de Costa Rica*. Obtenido de <http://www.protecnet.go.cr/laboratorios/plagcul/cultivop.htm>
- MIRABAL, I. (2002). *Efecto de haucataya (Tagetis minuta) en el cultivo de la lechuga (Lactuca sativa) bajo ambientes protegidos*. La Paz, Bolivia: Tesis Lic. En Agronomía, UMSA.
- MIRABAL, L. (2000.). *Efecto de huacataya (Tagetis minuta) en el cultivo de la lechuga (Lactuca sativa) bajo ambientes protegidos*. La Paz - Bolivia.: Tesis Lic. En Agronomía, U.M.S.A.
- MORÓN, A. (2003). Efecto de las rotaciones cultivos pasturas sobre la fertilidad de los suelos en ensayos de larga duracion del INIA La Estanzuela (1963-2003). *Suelos-INIA La Estanzuela, C.C. 39173-Colonia, Uruguay.*, 55-66.
- OCHOA, R. (2009). *Diseños Experimentales* (1ª ed.). La Paz, Bolivia.
- PADILLA, W. (2007). *Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal*. Quito-Ecuador: Grupo de Clinica Agricola, 160p.
- PALMERILLAS, E. E. (2005). *Dosis de riego para los cultivos horticolas bajo invernadero en Almería*. Almeria, Barcelona - España: Caja rural intermediterranea.
- PAYE, V. (2010). *Introduccion a Hidroponia*. La Paz: Paye, pags 25 - 38.
- PORTA, J. (2003). *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid - España: Ediciones Mundi-Prensa.
- QUISPE, N. (2013). *Evaluacion de tres niveles de biol en el cultivo de alfaalfa (Medicago sativa L.)*. Comunidad de Kenakahua Alta del municipio de Pueto Perez.: Tesis de Lic. Ing Agr. La Paz - Bolivia, UPEA, 13 -20 p.
- RAUL DIAZ, J. P. (1998). *Tecnología de invernaderos II*. España, Adalucia: Consejeria Agricultura y Pesca.

- SALAZAR, E. (2003). *Abonos orgánicos y plasticultura*. Mexico: Facultad de agricultura y zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 233 p.
- SALGUIERO, V. (1995). *Manejo untegrado de Plagas en Arveja China, Fase III. Proyecto MIP-ARF-ICTA-CATIE*. Guatemala.
- SENAMHI. (2012). *Centro de información meteorológica. (En línea)*. . La Paz - Bolivia.: Consultado 18 agosto 2012. Disponible en [http://www,senamhi.org.bo](http://www.senamhi.org.bo).
- SITE.GOOGLE. (23 de Agosto de 2011). *Características climáticas en la ciudad de El Alto*. Obtenido de <http://www.sites.google.com/site/clima-en-bolivia/clima-en-la-paz/clima-en-el-alto>
- TIRADOR, M. (2011). *Caracterización del contenido de nitratos y la composición nutricional en zanahoria (Daucus carota L.) cultivada con diferentes dosis de fertilización NP*. Tesis de grado. Mendoza - Argentina: Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Licenciatura en Bromatología. 61p.
- VILLAR, P. (1999). *Estudio Ambiental, Diagnóstico y Manejo del Nitrógeno en Sistemas de Agricultura de Regadio: Aplicación a la zona regable de los canales del Urgell*. Lleida: Universitat de Lleida. Departamnet de Medi Ambient i Ciéncias del Sól.
- VON HAEFF, J. N. (1983). *Manuales para Educación Agropecuaria, Área: Producción Vegetal (16)*. DF, México: Editorial Trillas.

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de químico de agua.



IBTEN

MINISTERIO DE EDUCACION

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : VICTOR PAYE HUARANCA
PROCEDENCIA : Dpto. LA PAZ, Pvcia. INGAVI,
comunidad KALLUTAKA

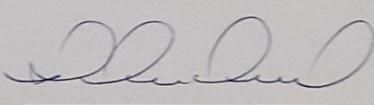
NUMERO DE SOLICITUD : 023 / 2011
FECHA DE RECEPCION : 20 / Enero / 2011
FECHA DE ENTREGA : 14 / Febrero / 2011

DESCRIPCIÓN : *Muestra de agua CEK*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
041-01 /2011	pH	6,34	-	Potenciometria
041-02 /2011	Conductividad eléctrica	0,201	mS/cm	Potenciometria
041-03 /2011	Sodio	9,11	mg / L	Fiamometria
041-04 /2011	Potasio	3,73	mg / L	Fiamometria
041-05 /2011	Calcio	16,35	mg / L	Absorción atómica
041-06 /2011	Magnesio	6,20	mg / L	Absorción atómica
041-07 /2011	Cloruros	16,43	mg / L	Método argentométrico
041-08 /2011	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetria
041-09 /2011	Bicarbonatos	64,43	mg / L	Volumetria
041-10 /2011	Sulfatos	20,35	mg / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-11 /2011	Boro	0,52	mg / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-12 /2011	Hierro	2,17	mg / L	Fluorescencia de Rayos X
041-13 /2011	Manganeso	0,12	mg / L	Fluorescencia de Rayos X
041-14 /2011	N total	0,85	mg N / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-15 /2011	P total	0,17	mg P / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-16 /2011	Nitratos	0,51	mg N / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-17 /2011	Amonio	0,09	mg N / L	Espectrofotometria UV-Visible

OBSERVACIONES.-





RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Of. Av. 6 de Agosto 2905 , Telf.: 2433481 - 2430309 - 2433877 - 2128383 Fax: (0591-2) 2433063 , La Paz - Bolivia
Casilla 4821 , Telf. -2800095 CIN-Viacha , E-mail: ibten@entelnet.bo

Anexo 2. Cálculos de los fertilizantes nitrogenados.

TRATAMIENTO T1 = 150 ppm de Nitrogeno

Calculo de fertilizantes para 1000 litros

FERTILIZANTE COMERCIAL	FORMULA QUIMICA	Gramos (g)	Bs.
Cloruro de Potasio	KCl	782.729	35.2
Fosfato Monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	172.679	7.8
Nitrato de Calcio (Simple)	Ca(NO ₃) ₂	765.333	34.4
Nitrato de Amonio (Estabilizado)	NH ₄ NO ₃	250.441	11.3
Sulfato de Magnesio (Heptahidratado)	MgSO ₄ .7H ₂ O	314.308	14.1
Sulfato de Hierro	FeSO ₄ .7H ₂ O	9.952	1
Fetrilon Combi 1	Micrielementos	12.741	1.3

Elementos minerales

N (NO ₃ -)	150	0%	+/- 0%
K	250	-1.5%	+/- 0%
P	50	0%	+/- 0%
Mg	37	-16.8%	+/- 0%
Ca	150	-5.2%	+/- 0%
S	62.737	-34.8%	+/- 0%
Fe	2.5	0%	+/- 0.1%
Zn	0.191	-4.4%	+/- 0.1%
B	0.584	-89.4%	+/- 0%
Cu	0.191	-4.4%	+/- 0.1%
Mo	0.013	-74.5%	+/- 0%
Na	9.11	0%	+/- 0%
Si	0	0%	+/- 0%
Cl	0	0%	+/- 0%
Mn	0.51	1.9%	+/- 0.1%
N (NH ₄ +)	71.994	0%	+/- 0%

EC=1.7 mS/cm

TRATAMIENTO T2 = 300 ppm de Nitrogeno

Calculo de fertilizantes para 1000 litros

FERTILIZANTE COMERCIAL	FORMULA QUIMICA	Gramos (g)	Bs.
Fosfato Monoamonico	NH ₄ H ₂ PO ₄	154.794	7
Nitrato de Calcio (Simple)	Ca(NO ₃) ₂	765.333	34.4
Nitrato de Amonio (Estabilizado)	NH ₄ NO ₃	620.115	27.9
Sulfato de Magnesio (Heptahidratado)	MgSO ₄ .7H ₂ O	314.308	14.1
Sulfato de Hierro	FeSO ₄ .7H ₂ O	9.952	1
Fetrilon Combi 1	Micrielementos	12.741	1.3
Nitrato de Potasio	KNO ₃	659.287	29.7

Elementos minerales

N (NO ₃ -)	300	0%	+/- 0%
K	250	-1.5%	+/- 0%
P	50	0%	+/- 0%
Mg	37	-16.8%	+/- 0%
Ca	150	-5.2%	+/- 0%
S	62.737	-34.8%	+/- 0%
Fe	2.5	0%	+/- 0.1%
Zn	0.191	-4.4%	+/- 0.1%
B	0.584	-89.4%	+/- 0%
Cu	0.191	-4.4%	+/- 0.1%
Mo	0.013	-74.5%	+/- 0%
Na	9.11	0%	+/- 0%
Si	0	0%	+/- 0%
Cl	0	0%	+/- 0%
Mn	0.51	1.9%	+/- 0.1%
N (NH ₄ +))	130.844	0%	+/- 0%

EC=2.4 mS/cm

TRATAMIENTO T3 = 450 ppm de Nitrogeno

Calculo de fertilizantes para 1000
litros

FERTILIZANTE COMERCIAL	FORMULA QUIMICA	Gramos (g)	Bs.
Fosfato Monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	110.813	5
Nitrato de Calcio (Simple)	Ca(NO ₃) ₂	765.333	34.4
Nitrato de Amonio (Estabilizado)	NH ₄ NO ₃	1.529.206	68.8
Sulfato de Magnesio (Heptahidratado)	MgSO ₄ .7H ₂ O	314.308	14.1
Sulfato de Hierro	FeSO ₄ .7H ₂ O	9.952	1
Fetrilon Combi 1	Micrielementos	12.741	1.3
Nitrato de Potasio	KNO ₃	659.287	29.7

Elementos minerales

N (NO ₃ -)	450	0%	+/- 0%
K	250	-1.5%	+/- 0%
P	50	0%	+/- 0%
Mg	37	-16.8%	+/- 0%
Ca	150	-5.2%	+/- 0%
S	62.737	-34.8%	+/- 0%
Fe	2.5	0%	+/- 0.1%
Zn	0.191	-4.4%	+/- 0.1%
B	0.584	-89.4%	+/- 0%
Cu	0.191	-4.4%	+/- 0.1%
Mo	0.013	-74.5%	+/- 0%
Na	9.11	0%	+/- 0%
Si	0	0%	+/- 0%
Cl	0	0%	+/- 0%
Mn	0.51	1.9%	+/- 0.1%
N (NH ₄ +))	275.566	0%	+/- 0%

EC=3.4 mS/cm

TRATAMIENTO T4 = 600 ppm de Nitrogeno

Calculo de fertilizantes para 1000

litros

FERTILIZANTE COMERCIAL	FORMULA QUIMICA	Gramos (g)	Bs.
Fosfato Monoamonico	NH ₄ H ₂ PO ₄	66.832	3
Nitrato de Calcio (Simple)	Ca(NO ₃) ₂	765.333	34.4
Nitrato de Amonio (Estabilizado)	NH ₄ NO ₃	2.438.297	109.7
Sulfato de Magnesio (Heptahidratado)	MgSO ₄ .7H ₂ O	314.308	14.1
Sulfato de Hierro	FeSO ₄ .7H ₂ O	9.952	1
Fetrilon Combi 1	Micrielementos	12.741	1.3
Nitrato de Potasio	KNO ₃	659.287	29.7

Elementos minerales

N (NO ₃ -)	600	0%	+/- 0%
K	250	-1.5%	+/- 0%
P	50	0%	+/- 0%
Mg	37	-16.8%	+/- 0%
Ca	150	-5.2%	+/- 0%
S	62.737	-34.8%	+/- 0%
Fe	2.5	0%	+/- 0.1%
Zn	0.191	-4.4%	+/- 0.1%
B	0.584	-89.4%	+/- 0%
Cu	0.191	-4.4%	+/- 0.1%
Mo	0.013	-74.5%	+/- 0%
Na	9.11	0%	+/- 0%
Si	0	0%	+/- 0%
Cl	0	0%	+/- 0%
Mn	0.51	1.9%	+/- 0.1%
N (NH ₄ +))	420.288	0%	+/- 0%

EC=4.4 mS/cm

Anexo 3. Legislación Rusa sobre contenidos máximos de nitratos

Producto	Limite (mg/Kg)
Patatas	250
Repollo (antes de 1 de Septiembre)	900
Repollo tardío	500
Zanahoria (antes de 1 de Septiembre)	400
Zanahoria tardía	250
Tomate	150
Tomate de invernadero	300
Pepino	150
Pepino de invernadero	400
Remolacha de mesa	1400
Cebolla bulbo	80
Cebolla verde	600
Cebolla verde de invernadero	800
Hortalizas de hoja	2000
Pimiento dulce	200
Pimiento dulce de invernadero	400
Calabaza	400
Sandía	60
Melón	90
http://plaguicidas.comercio.es/Nitratos.pdf	

Anexo 4. Fotos de trabajo de investigación

Instalación de Unidades Experimentales



Medición de la altura de planta



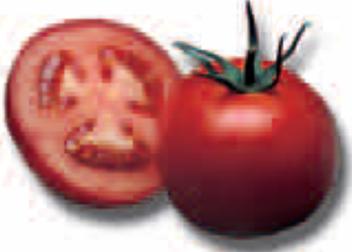
Tutoraje de los Tomates



Fructificación del Tomate de la variedad pionera INIAF



Anexo 5. Consumo de agua l/m² día



CONSUMOS MEDIOS DEL CULTIVO DE TOMATE (litros /m² día)

MES	SEMANA	FECHAS DE TRANSPLANTE					
		2ª quincena Agosto	1ª quincena Septiembre	2ª quincena Septiembre	1ª quincena Octubre	2ª quincena Diciembre	2ª quincena Enero
AGOSTO	del 16 al 23	0,7					
	del 24 al 31	0,7					
SEPTIEMBRE	del 1 al 7	1,6	0,7				
	del 8 al 15	2,3	0,7				
	del 16 al 22	2,8	1,2	0,6			
	del 23 al 30	3,2	1,7	0,5			
OCTUBRE	del 1 al 7	3,2	2,0	0,8	0,5		
	del 8 al 15	2,7	2,1	1,1	0,4		
	del 16 al 23	2,5	2,3	1,4	0,5		
	del 24 al 31	2,1	2,1	1,5	0,7		
NOVIEMBRE	del 1 al 7	1,9	1,9	1,6	0,9		
	del 8 al 15	1,6	1,6	1,5	0,9		
	del 16 al 22	1,5	1,5	1,5	1,0		
	del 23 al 30	1,3	1,3	1,3	0,9		
DICIEMBRE	del 1 al 7	1,0	1,0	1,0	0,9		
	del 8 al 15	1,0	1,0	1,0	0,9		
	del 16 al 23	0,9	0,9	0,9	0,9	0,1	
	del 24 al 31	0,9	0,9	0,9	0,9	0,1	
ENERO	del 1 al 7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,1	
	del 8 al 15	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	
	del 16 al 23	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2
	del 24 al 31	1,1	1,1	1,1	1,1	0,2	0,2
FEBRERO	del 1 al 7	1,3	1,3	1,3	1,3	0,3	0,2
	del 8 al 14	1,3	1,3	1,3	1,3	0,4	0,2
	del 15 al 21	1,4	1,4	1,4	1,4	0,6	0,3
	del 22 al 28	1,4	1,4	1,4	1,4	0,8	0,3
MARZO	del 1 al 7	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,5
	del 8 al 15	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	0,7
	del 16 al 23	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,2
	del 24 al 31	2,1	2,1	2,1	2,1	2,3	1,6
ABRIL	del 1 al 7	2,5	2,5	2,5	2,5	3,1	2,2
	del 8 al 15	2,6	2,6	2,6	2,6	3,6	2,8
	del 16 al 22	2,9	2,9	2,9	2,9	4,1	3,5
	del 23 al 30	3,1	3,1	3,1	3,1	4,4	4,3
MAYO	del 1 al 7	3,0	3,0	3,0	3,0	4,2	4,2
	del 8 al 15	3,2	3,2	3,2	3,2	4,5	4,5
	del 16 al 23	3,3	3,3	3,3	3,3	4,7	4,7
	del 24 al 31	3,3	3,3	3,3	3,3	4,6	4,6

TOMATE

Fuente: (PALMERILLAS, 2005)