

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE NIVELES DE NUTRIENTES BAJO SISTEMA DE
FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicum
esculentum* Miller), EN AMBIENTE PROTEGIDO DE LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL DE KALLUTACA - UPEA**

Por:

Juan Carlos Perez Huarachi

EL ALTO – BOLIVIA

Octubre, 2024

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE NIVELES DE NUTRIENTES BAJO SISTEMA DE FERTIRRIEGO EN
EL CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicum esculentum* Miller), EN AMBIENTE
PROTEGIDO DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA - UPEA**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

Juan Carlos Perez Huarachi

Asesor:

M. Sc. Lic. Ing. Pedro Mamani Mamani

Tribunal Revisor:

Dr. Lic. Ing. Francisco Mamani Pati

M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi

Lic. Ing. Pastor Condori Mamani

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

La presente investigación va dedicada a Dios que cuida y guía mi camino. A mis padres y a mi hija Athannae quien es la luz que ilumina mis días

A mis hermanos por su constante apoyo incondicional para la conclusión de mis estudios. Quienes me apoyaron incansablemente en todo momento, tanto en momentos buenos y malos ellos estuvieron junto a mí para guiarme, apoyarme y alentarme, con todo amor, cariño y eterna gratitud por el esfuerzo y sacrificio realizado para mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro amado ser supremo por permitirme concluir esta tarea con satisfacción en el alma y seguir el camino que me toca transitar.

A mi querida Bolivia, a la prestigiosa casa de estudios Universidad Pública de El Alto, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, Docentes y Administrativos, quienes contribuyeron en mi formación profesional.

Al CNPSH-INIAF, por el apoyo brindado en la etapa de ejecución del presente trabajo, en especial al Ing. Ramiro Mamani, por haberme brindado su apoyo desinteresado durante la etapa de laboratorio.

Agradezco a mi asesor Ing. M. Sc. Pedro Mamani Mamani por su aceptación y colaboración en la ejecución del presente trabajo de investigación.

Así mismo agradezco de todo corazón a mi tutor a Ing. M. Sc. Víctor Paye Huaranca por su apoyo incondicional y de manera desinteresada en cada etapa del presente trabajo de investigación.

Al tribunal revisor Ing. Ph.D. Francisco Mamani Pati, Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi e Ing. Pastor Condori Mamani por el tiempo dedicado en la revisión y corrección del presente trabajo de investigación.

A todos los docentes de la Carrera de Agronomía por su apoyo y orientación en mi formación profesional.

A todos mis compañeros y amigos de la carrera de Ingeniería Agronómica, por el apoyo fraternal recibida en los años de estudio.

A mis tíos (as) y primos (as) quienes me apoyaron en forma incondicional durante la formación profesional, para que cumpliera con mi gran sueño de culminar con mis estudios.

Finalmente, a todos aquellos compañeros (as) de estudio y demás personas, que de una u otra forma dieron su apoyo en la culminación de mi carrera profesional.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ABREVIATURAS	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii

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
1.5. Hipótesis	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Origen y distribución.....	5
2.2. Cultivo en Bolivia.....	5
2.3. Importancia de la producción del cultivo de tomate	6
2.4. Descripción botánica	6
2.4.1. Clasificación Taxonómica	6
2.4.2. Características botánicas del cultivo de tomate	7
2.4.3. Características morfológicas	8

2.5.	Tipos y habito de Crecimiento del cultivo de tomate.....		9
2.5.1.	Crecimiento determinado.....		10
2.5.2.	Crecimiento indeterminado.....		10
2.6.	Valor nutricional y composición química.....		11
2.7.	Fenología del cultivo de tomate.....		13
2.7.1.	Patrón de fructificación		14
2.8.	Calidad del fruto		14
2.8.1.	El sabor del tomate y el grado de maduración.....		14
2.8.2.	Calidad organoléptica del tomate		15
2.9.	Atributos físicos.....		15
2.9.1.	Fuerza de abscisión:.....		15
2.9.2.	Textura		15
2.9.3.	Color.....		16
2.9.4.	Firmeza:		16
2.9.5.	Forma.....		17
2.9.6.	Sabor.....		17
2.10.	Calidad interna del fruto		18
2.10.1.	Químicos		19
2.10.1.1.	Sólidos solubles totales (SST)		19
2.10.1.2.	pH.....		20
2.11.	Nutrientes en las plantas.....		20
2.11.1.	Elemento esencial o nutriente.....		20
2.11.2.	Nitrógeno (N)		21
2.11.3.	Fósforo (P).....		22
2.11.4.	Potasio (K).....		23
2.11.5.	Calcio (Ca).....		24

2.11.6.	Magnesio (Mg).....	25
2.11.7.	Azufre (S)	25
2.11.8.	Hierro (Fe).....	26
2.11.9.	Manganeso (Mn)	26
2.11.10.	Zinc (Zn)	27
2.11.11.	Cobre (Cu).....	27
2.11.12.	Molibdeno (Mo).....	27
2.11.13.	Boro (B)	28
2.11.14.	Cloro (Cl)	29
2.11.15.	Níquel (Ni)	29
2.12.	Riego en el cultivo de tomate	30
2.12.1.	Riego	30
2.12.2.	Riego por goteo en el cultivo de tomate.....	30
2.12.3.	Componentes de un riego por goteo	31
2.12.3.1.	Cabezal de Riego Goteo.....	31
2.12.3.2.	Sistema de filtrado en riego localizado.....	32
2.13.	Fertirriego	32
2.13.1.	Ventajas y desventajas del fertirriego	33
2.13.2.	Sistema de fertirriego.....	34
2.13.2.1.	Inyectores de tipo Venturi	34
2.13.2.1.1.	Ventajas	35
2.13.2.1.2.	Desventajas.....	35
2.13.3.	Fertirriego y sus técnicas.....	35
2.13.4.	Técnicas de fertilización por fertirriego	35
2.13.4.1.	Fertilización basada en las curvas de extracción	35
2.13.4.2.	Fertilización a base de un análisis de savia	35

2.13.4.3.	Fertilización en base al análisis de la solución del suelo.....	36
2.13.4.4.	Fertilización en base a metas de rendimiento	36
2.13.5.	Fertilizantes para fertirriego	37
2.13.5.1.	Definición de fertilizante	37
2.13.5.2.	Características generales de los fertilizantes para fertirriego.....	37
2.13.5.3.	Solubilidad y compatibilidad.....	38
2.13.5.4.	Efecto de los fertilizantes sobre el pH	39
2.13.5.5.	Efecto de los fertilizantes sobre la conductividad eléctrica (CE)	39
2.13.5.6.	Fertilizantes comúnmente empleados en fertirrigación	39
2.14.	Soluciones nutritivas	41
2.14.1.	Conductivas eléctrica (CE)	41
2.14.2.	pH (potencial de hidrogeno)	41
2.14.3.	Oxígeno	41
2.15.	Requerimientos Edafoclimáticos del cultivo del tomate	41
2.15.1.	Temperatura.....	41
2.15.2.	Humedad.....	42
2.15.3.	Fotoperiodo	42
2.15.4.	Suelo y Fertilización.....	43
2.15.5.	Ventilación.....	43
2.15.6.	El pH.....	43
2.16.	Labores culturales	44
2.16.1.	Preparación del terreno	44
2.16.2.	Fertilización	44
2.16.3.	Plantación.....	45
2.16.4.	Aporcado	46
2.16.5.	Poda de formación	46

2.16.6.	Tutorado	47
2.16.7.	Deshojado	47
2.16.8.	Destallado	48
2.16.9.	Riego	48
2.16.10.	Cosecha	48
2.17.	Plagas y enfermedades	48
2.17.1.	Plagas	48
2.17.2.	Enfermedades	51
2.18.	Ambientes atemperados	54
2.18.1.	Ventajas de la producción en ambientes atemperados	54
2.18.2.	Desventajas de la producción en ambientes atemperados	55
2.19.	Importancia de la producción de hortalizas en ambientes atemperados en el Altiplano	55
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	56
3.1.	Localización	56
3.1.1.	Ubicación Geográfica	56
3.1.2.	Características Edafoclimaticas	56
3.1.2.1.	Clima	56
3.1.2.1.1.	Temperatura Máxima y Mínima	56
3.1.2.1.2.	Precipitación pluvial	56
3.1.2.2.	Suelo	56
3.1.3.	Vegetación	57
3.1.4.	Fauna	57
3.2.	Materiales	58
3.2.1.	Ambiente protegido (Invernadero)	58
3.2.2.	Material genético	58
3.2.3.	Materiales de laboratorio	58

3.2.4.	Material de campo	59
3.2.5.	Materiales de insumos (fertilizantes hidrosolubles).....	59
3.3.	Metodología.....	60
3.3.1.	Tipo de estudio experimental.....	60
3.3.2.	Acondicionamiento de la infraestructura	60
3.3.2.1.	Preparación del suelo	60
3.3.2.2.	Trasplante.....	60
3.3.2.3.	Refalle	61
3.3.3.	Labores culturales	61
3.3.3.1.	Aporque y control de malezas	61
3.3.3.2.	Tutoraje	61
3.3.3.3.	Poda	61
3.3.3.4.	El destallado	61
3.3.3.5.	Riego	62
3.3.3.6.	Tratamientos fitosanitarios.....	65
3.3.3.7.	Cosecha	65
3.3.4.	Análisis físico-químico del agua.....	62
3.3.5.	Aplicación de fertilizantes hidrosoluble	63
3.3.6.	Preparación de soluciones nutritivas	63
3.3.7.	Toma de datos.....	65
3.3.8.	Tipo de muestreo.....	66
3.4.	Diseño experimental.....	66
3.4.1.	Variables evaluadas	67
3.4.1.1.	Variables agronómicas	68
3.4.1.1.1.	Altura de planta	68
3.4.1.1.2.	Numero de racimos	68

3.4.1.1.3. Numero de frutos por racimo	68
3.4.1.1.4. Diámetro del fruto	68
3.4.1.1.5. Longitud del fruto.....	68
3.4.1.1.6. Rendimiento por tratamiento	68
3.4.1.1.7. Peso del fruto	69
3.4.1.2. Variables de calidad de fruto	69
3.4.1.2.1. Índice de acidez o pH.....	69
3.4.1.2.2. Solidos solubles totales o °Brix	69
3.4.1.2.3. Firmeza	69
3.4.2. Análisis económico	69
3.4.2.1. Beneficio Bruto (BB)	70
3.4.2.2. Costos Variables (CV)	70
3.4.2.3. Beneficio Neto (BN)	70
3.4.2.4. Relación Beneficio/Costo en (B/C).....	71
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
4.1. Condiciones ambientales dentro de la carpa solar	71
4.1.1. Temperatura (°C).....	71
4.1.2. Humedad relativa (%)	73
4.2. Evaluación de las Variables Agronómicas.....	74
4.2.1. Altura de planta	75
4.2.1.1. Análisis de varianza.....	75
4.2.1.2. Comparación de promedios para la altura de planta.....	76
4.2.2. Número de racimos por planta.....	78
4.2.2.1. Análisis de varianza.....	78
4.2.2.2. Comparación de promedios para el número de racimos por planta.....	78
4.2.3. Numero de frutos por racimo	80

4.2.3.1.	Análisis de varianza	80
4.2.3.2.	Comparación de promedios para el número de frutos por racimo	81
4.2.4.	Peso del fruto	83
4.2.4.1.	Análisis de varianza	83
4.2.4.2.	Comparación de promedios para el peso del fruto	84
4.2.5.	Rendimiento en t/ha	86
4.2.5.1.	Análisis de varianza	86
4.2.5.2.	Comparación de promedios para el rendimiento	87
4.3.	Evaluación de los parámetros de calidad	89
4.3.1.	Índice de acidez o pH	89
4.3.1.1.	Análisis de varianza	90
4.3.1.2.	Comparación de promedios para el pH	90
4.3.2.	Sólidos solubles totales o °Brix.....	92
4.3.2.1.	Análisis de varianza	92
4.3.2.2.	Comparación de promedios para °Brix	93
4.3.3.	Firmeza del fruto.....	95
4.3.3.1.	Análisis de varianza	95
4.3.3.2.	Comparación de promedios para la firmeza del fruto.....	96
4.4.	Variable económica	98
4.4.1.	Análisis económico	98
4.4.1.1.	Rendimiento ajustado	98
4.4.1.2.	Beneficio bruto.....	98
4.4.1.3.	Costos variables	99
4.4.1.4.	Beneficio neto	100
4.4.1.5.	Relación Beneficio/Costo.....	100
5.	CONCLUSIONES	102

6.	RECOMENDACIONES	103
7.	BIBLIOGRAFÍA	104
8.	ANEXOS	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Diferencia del tomate determinado e indeterminado.....	11
Cuadro 2.	Contenido nutricional del tomate (Composición química media/100g).....	12
Cuadro 3.	Firmeza de frutos de tomate basado en pruebas subjetivas y objetivas	16
Cuadro 4.	Relación entre acidez y azúcares para la descripción del sabor.....	18
Cuadro 5.	Macronutrientes formulas, solubilidad en agua, composición nutricional y peso de producto a disolver para preparación de soluciones nutritivas.....	39
Cuadro 6.	Ejemplo de disociación iónica de algunos fertilizantes de uso común	40
Cuadro 7.	Requerimientos nutricionales del tomate	45
Cuadro 8.	Fertilizantes que se usó en la investigación.....	63
Cuadro 9.	Solución madre de fertilizantes en 3 litros.	64
Cuadro 10.	Valores considerados normales de un análisis de aguas para riego comparado con los resultados obtenidos en la investigación	74
Cuadro 11.	Análisis de varianza para altura de planta (m).....	75
Cuadro 12.	Análisis comparativo Duncan de altura de planta	76
Cuadro 13.	Análisis de varianza para el numero de racimos por planta.....	78
Cuadro 14.	Análisis comparativo Duncan para el número de racimos por planta.....	79
Cuadro 15.	Análisis de varianza para el numero de frutos por racimo	81
Cuadro 16.	Análisis comparativo Duncan para el número de frutos por racimo	81
Cuadro 17.	Análisis de varianza para el peso el fruto	84
Cuadro 18.	Análisis comparativo Duncan para el peso de fruto	84
Cuadro 19.	Análisis de varianza para el rendimiento por tratamiento	87
Cuadro 20.	Análisis comparativo Duncan para el rendimiento	87
Cuadro 21.	Análisis de varianza para el pH	90
Cuadro 22.	Análisis comparativo Duncan para el pH	91
Cuadro 23.	Análisis de varianza para Solidos solubles totales.....	92

Cuadro 24.	Análisis comparativo Duncan para °Brix	93
Cuadro 25.	Análisis de varianza para la firmeza del fruto	95
Cuadro 26.	Análisis comparativo Duncan para la firmeza del fruto	96
Cuadro 27.	Beneficio bruto en (Bs/ha).	99
Cuadro 28.	Costos variables (Bs/ha).....	99
Cuadro 29.	Beneficio neto (Bs/ha).	100
Cuadro 30.	Relación Beneficio Costo (B/C) de tratamientos	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Tomate de crecimiento Indeterminado	9
Figura 2.	Tomate de crecimiento determinado	10
Figura 3.	Etapas fenológicas del cultivo de tomate.....	13
Figura 4.	Riego localizado y sus componentes.....	32
Figura 5.	Compatibilidad de los fertilizantes.	38
Figura 6.	La Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	50
Figura 7.	La polilla del tomate (<i>Tuta absoluta</i> Meyrick).....	50
Figura 8.	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>).....	51
Figura 9.	Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>).....	52
Figura 10.	Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>).....	52
Figura 11.	Fusarium (<i>Fusarium oxysporum</i>)	53
Figura 12.	Ubicación geográfica del lugar donde se llevó la investigación	57
Figura 13.	Distribución de los tratamientos	67
Figura 14.	Registro de la temperatura durante el periodo de investigación	72
Figura 15.	Registro de la humedad relativa durante la investigación	73
Figura 16.	Altura de plantas de tratamientos expresada en (cm).....	77
Figura 17.	Numero de racimos por planta de los tratamientos.....	79
Figura 18.	Numero de frutos por racimo de los tratamientos evaluados	82
Figura 19.	Peso de los frutos de tomate (g).....	85
Figura 20.	Rendimiento de los tratamientos de tomate.....	88
Figura 21.	Índice de acidez o pH del fruto de tomate.....	91
Figura 22.	Contenido de solidos solubles totales o °Brix del fruto de tomate.....	94
Figura 23.	Firmeza del fruto de tomate	97
Figura 24.	Relación Beneficio Costo (B/C)	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Deficiencia de nitrógeno.	115
Anexo 2.	Deficiencia de fósforo	115
Anexo 3.	Deficiencia de potasio.....	115
Anexo 4.	Deficiencia de calcio	116
Anexo 5.	Manifestaciones de deficiencia de magnesio.....	116
Anexo 6.	Deficiencia de hierro.....	116
Anexo 7.	Deficiencia de manganeso	117
Anexo 8.	Deficiencia de zinc	117
Anexo 9.	Deficiencia de cobre	117
Anexo 10.	Deficiencia de molibdato.....	118
Anexo 11.	Croquis del experimento.....	118
Anexo 12.	Establecimiento del cultivo e instalación de sistema de fertirriego.....	119
Anexo 13.	Tutorado del cultivo de tomate.....	119
Anexo 14.	Preparación de soluciones nutritivas	120
Anexo 15.	Calibración de p H y CE	120
Anexo 16.	Fructificación del cultivo de tomate.....	120
Anexo 17.	Floración del cultivo de tomate	121
Anexo 18.	Análisis de suelo.....	122
Anexo 19.	Análisis de agua	123

ABREVIATURAS

cm	Centímetro
mm	Milímetro
ha	Hectárea
GPS	Global Positioning System
t	tonelada
km	Kilómetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m	Metro
S	Azufre
kg	Kilogramos
g	Gramos
N	Nitrógeno
P	Fosforo
K	Potasio
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
S	Azufre
Fe	Hierro
Mn	Manganeso

RESUMEN

Evaluación de niveles de nutrientes bajo sistema de fertirriego en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller), en ambiente protegido de la estación experimental de Kallutaca – Upea

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca, perteneciente a la Universidad Pública de El Alto, el cual se encuentra ubicada en la Provincia Los Andes, segunda sección municipal de Laja del Departamento de La Paz, aproximadamente a 20 kilómetros de la sede de gobierno, a una altitud de 3901 msnm, con una longitud Oeste 16°31'28" y de latitud Sur 68°18'30". La investigación tiene como objetivos, determinar el nivel de nutriente con mayor efecto sobre el comportamiento productivo y calidad de fruto, evaluar el comportamiento agronómico y determinar la relación (B/C) del cultivo de tomate.

El material biológico estuvo establecido por la variedad de tomate Rio Grande que se adquirió del Centro Nacional de Producción de Semillas de Hortalizas (CNPSH-INIAF). También los materiales no biológicos, fertilizantes como: Nitrato de calcio, Ácido fosfórico, Nitrato de potasio, Sulfato de magnesio, Fosfato mono amónico, Cloruro de potasio y micronutrientes. En el estudio se utilizó, un diseño Completamente al Azar con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos de niveles de fertilizantes: nivel 1 (50 t/ha), nivel 2 (100 t/ha), nivel 3 (200 t/ha), nivel 4 (300 t/ha), en un área de 75 m². En la evaluación del comportamiento agronómico el nivel 3 (200 t/ha) tuvo mejor comportamiento en las variables de, racimos por planta 12.68, frutos por racimo 5.95, peso de frutos 123.13 g, en cuanto a la variable altura de plantas el nivel 4 (300 t/ha) tuvo mejor comportamiento con 1.55 m, respecto al nivel 3 (200 t/ha) con 1.53 m respectivamente. Así también tenemos a la variable rendimiento al nivel 3 (200 t/ha) con 90.48 t/ha, nivel 4 (300 t/ha) con 78.45 t/ha, nivel 2 (100 t/ha) con 70.60 t/ha y el nivel 1 (50 t/ha) que alcanzo un rendimiento de 39.95 t/ha. En cuanto a las variables calidad de fruto el nivel 3 (200 t/ha) obtuvo el mejor resultado en cuanto a acidez 5.83, firmeza de fruto 1,73 N y contenido de solidos solubles totales o grados °Brix con 6,10. Se realizó el análisis de (B/C), donde nos permite observar la mejor opción al nivel 3 (200 t/ha) alcanzando un beneficio costo de 2.36. En base a estos datos se puede optar por adoptar alternativas tecnológicas que ayuden a mejorar la producción además de tener ahorro en el uso del agua y optimizar el uso de fertilizantes mediante el fertirriego.

ABSTRACT

Evaluation of nutrient levels under a fertigation system in tomato cultivation (*Lycopersicum esculentum* Miller), in a protected environment at the Kallutaca – Upea experimental station. The present research work was carried out at the Kallutaca Experimental Station, belonging to the Public University of El Alto, which is located in the Los Andes Province, second municipal section of Laja in the Department of La Paz, approximately 20 kilometers from the seat of government, at an altitude of 3901 meters above sea level, with a west longitude of 16°31'28" and a south latitude of 68°18'30".

The objectives of the research are to determine the level of nutrient with the greatest effect on productive behavior and fruit quality, evaluate agronomic behavior and determine the relationship (B/C) of the tomato crop.

The biological material was established by the Rio Grande tomato variety that was acquired from the National Center for Vegetable Seed Production (CNPSH-INIAF). Also non-biological materials, fertilizers such as: Calcium nitrate, Phosphoric acid, Potassium nitrate, Magnesium sulfate, Monoammonium phosphate, Potassium chloride and micronutrients. In the study, a Completely Randomized design was used with four repetitions and four treatments of fertilizer levels: level 1 (50 t/ha), level 2 (100 t/ha), level 3 (200 t/ha), level 4 (300 t/ha), in an area of 75 m². In the evaluation of agronomic performance, level 3 (200 t/ha) had better performance in the variables of, bunches per plant 12.68, fruits per bunch 5.95, fruit weight 123.13 g, as for the plant height variable, level 4 (300 t/ha) had better performance with 1.55 m, compared to level 3 (200 t/ha) with 1.53 m respectively. Thus we also have the performance variable at level 3 (200 t/ha) with 90.48 t/ha, level 4 (300 t/ha) with 78.45 t/ha, level 2 (100 t/ha) with 70.60 t/ha and level 1 (50 t/ha) that achieved a yield of 39.95 t/ha. Regarding the fruit quality variables, level 3 (200 t/ha) obtained the best result in terms of acidity 5.83, fruit firmness 1.73 N and total soluble solids content or °Brix degrees with 6.10. The analysis of (B/C) was carried out, where it allows us to observe the best option at level 3 (200 t/ha) reaching a cost benefit of 2.36. Based on this data, you can choose to adopt technological alternatives that help improve production in addition to saving water use and optimizing the use of fertilizers through fertigation.

1. INTRODUCCIÓN

Según estimaciones de la FAO, nos indican que el tomate es la hortaliza más cultivada e importante en el mundo, siendo el consumo fresco e industrial como los dos principales destinos de producción, alcanzando en el año 2013 los 4,7 millones de hectáreas cultivadas y una producción de 164 millones de toneladas (FAO, 2013)

El tomate es una de las hortalizas de mayor importancia en numerosos países y su popularidad aumenta constantemente. En la actualidad esta hortaliza ha adquirido importancia económica en todo el mundo (Nuez, 1995).

Es por esta razón que cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller), por la gran demanda de consumo que tiene tanto en el mercado nacional e internacional, es una hortaliza con mayor rentabilidad, porque se usa en todas las cocinas del mundo. Sin embargo, la producción de tomate a campo abierto se hace cada vez más difícil, debido a las condiciones ambientales adversas y a la incidencia de plagas y enfermedades que afectan la productividad de este cultivo (Ruiz y Aquino, 2010).

Para el consumidor la calidad del tomate viene determinada por los atributos como la apariencia externa, el sabor y características nutritivas; en cambio para la agroindustria la calidad del fruto puede considerar características externas como la forma, color, tamaño y también otros caracteres relativos a la calidad interna como acidez, contenido en azúcares y materia seca (Choque, 2014).

En Bolivia la necesidad de generar productos agrícolas con mejores características tanto en contenido y calidad de nutrientes como en textura externa, ha hecho de que los agricultores demanden nuevas técnicas, como la fertirrigación para obtener mayores rendimientos y un producto de gran calidad que le permita competir en el mercado nacional e internacional.

En cuanto a la producción y rendimiento del cultivo de tomate, a nivel de ambiente protegido depende naturalmente, de muchos factores y entre los factores más predominantes son la nutrición y fertilización de las plantas. Estos requerimientos pueden ser definidos en términos de lo que una planta necesita para completar su ciclo de vida y producir una determinada cosecha que sea altamente rentable.

Un buen manejo de la nutrición mineral es fundamental pues determina en gran medida la capacidad productiva del cultivo de tomate (Snyder 2006). Por lo general el cultivo de

tomate es muy exigente de nutrientes, por lo que un buen nivel y ajuste de la fertilización en tomate es fundamental (Vallejo, 1999).

El fertirriego garantiza un suministro de nutrimentos directamente en la planta, sitio donde se encuentra el mayor volumen de raíces absorbentes (Imas, 2009). Esto favorece la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes, lo que mejora su distribución y localización. Si se emplea este recurso en forma adecuada, con el aporte de los nutrientes que la planta demanda en el tiempo y la cantidad precisa para cada etapa fenológica, la mejora en el rendimiento alcanzado y en parámetros de calidad de la fruta (tamaño, firmeza, sanidad, sólidos solubles) es notable (Alcántar *et al.*, 1999).

El agua destinada al riego puede contener sales disueltas que pueden servir de punto de partida, para añadir a las soluciones de fertilizantes la diferencia que requiera el cultivo. Un contenido excesivo de sales afecta el crecimiento de las plantas, porque pueden estar presentes cationes como sodio, calcio, magnesio, potasio, y aniones como sulfato y carbonato (Vidal, 2019).

Los países de primer mundo se 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 a través del fertirriego.

1.1. Antecedentes

El tomate es la hortaliza más importante en varios países y en nuestro país el cultivo ocupa uno de los primeros lugares de importancia para la alimentación humana, principalmente en ensaladas y también procesados, en mucha menor escala se utiliza como encurtido sin embargo la producción tiende a bajar debido a diversos factores entre los cuales podemos mencionar: uso de semillas de mala calidad, inadecuada fertilización, uso de técnicas tradicionales, plagas. Por las cuales, los rendimientos muestran índices muy bajos y pérdidas económicas para el productor.

A su vez la creciente escasez de los recursos hídricos destinados para la agricultura y el alto costo de los insumos agrícolas, resulta indispensable buscar alternativas tecnológicas que reduzcan los costos de producción y que, al mismo tiempo, se obtengan altos rendimientos con la mayor calidad posible sin deterioro de los recursos naturales (Bugarín *et al.*, 2002).

Una fertilización balanceada brinda los nutrientes suficientes y en las proporciones adecuadas para un desarrollo, diferenciación y maduración óptima del cultivo. Además, junto con un buen clima y manejo del cultivo permitirá la explotación del máximo potencial genético de esa planta en particular (Lazcano, 2006).

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los mayores problemas que se atraviesa la agricultura en Bolivia; es que no se cuenta técnicas adecuadas de fertirrigación; en su gran mayoría los productores fertilizan dosis inadecuadas de fertilizantes a sus cultivos, lo que implica, costos muy elevados, incluso deteriorando los suelos por la variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y pérdida de microorganismos.

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

En cuanto a la investigación planteada se destaca que en Bolivia no cuenta con estudios avanzados sobre fertirrigación en tomate, lo que implica bajos rendimientos para el productor. Porque no solo es fertilizar sino, buscar niveles adecuados de nutrientes para determinado cultivo

1.3. Justificación

La investigación planteada, busca generar información que conlleve a mejorar la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller). En condiciones de ambiente protegido, en el Centro Experimental de Kallutaca y comunidades vecinas es necesario desarrollar el cultivo de hortalizas, en particular el tomate. Enfocándonos en la parte nutricional proporcionando los diecisiete nutrientes que requiere el cultivo para un óptimo desarrollo y altos rendimientos.

En la actualidad los consumidores de tomate y diversas hortalizas tienden a demandar mejor calidad entre los productos de consumo masivo. Por tal motivo, se hace importante conocer la correcta dosis de fertilización con medio de fertirrigación y mejores variedades que se adapten a esta situación.

El conocimiento nulo acerca del beneficio costo del cultivo de tomate hace que la producción no sea masiva en Bolivia, es por eso de la importancia de un análisis económico para poder dar un mejor panorama al productor y también a futuros productores de tomate

Por todo lo mencionado anteriormente, el presente trabajo de investigación busca de alguna manera elevar los bajos rendimientos con niveles óptimos de fertirrigación, buscando generar mayores ingresos para los productores

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar niveles de nutrientes bajo sistema de fertirriego en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller), en ambiente protegido de la Estación Experimental de Kallutaca – UPEA.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento agronómico del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller), bajo diferentes niveles crecientes de nutrientes
- Comparar la producción en términos de rendimiento y calidad de fruto producido del cultivo de tomate en estudio.
- Realizar una evaluación económica del estudio en términos de beneficio/costo.

1.5. Hipótesis

- **Ho:** No existen diferencias significativas en cuanto a niveles de nutrientes, bajo sistema de fertirriego en el cultivo de tomate en ambiente protegido.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen y distribución

El tomate es originario de Sudamérica, concretamente en la región andina, aunque posteriormente fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente (Flores, 2009).

Por su parte Valdez (1989), sostiene que es un cultivo nativo de América tropical, cuyo origen se localiza en la región de los andes (Colombia, Ecuador, Chile, Bolivia y Perú) y donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres.

En ese contexto el año 1800 empieza su cultivo como planta agrícola y a partir de ese momento se inicia un proceso de difusión de sus cualidades y usos, convirtiéndose años más tarde en la planta hortícola más ampliamente cultivada en un gran número de países del mundo.

Según, Infoagro.com (2005), el tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada.

El tomate, se manifiesta que su distribución como cultivo se extiende a zonas tropicales, sub tropicales, valles templados-fríos, llanos templados, y en climas fríos se puede cultivar en invernáculos al igual que en las cordilleras. No obstante, a ello, en Bolivia el tomate es cultivado con intensidad en los valles mesotérmicos de los departamentos de Santa Cruz, Cochabamba, La Paz y en menor proporción en zonas templadas como Tarija, Chuquisaca y otras regiones (Salazar, 2020).

2.2. Cultivo en Bolivia

En Bolivia el cultivo de tomate se siembra mayormente a campo abierto, este método llamado cultivo expuesto, es muy usado en huertas por los pequeños productores comerciales y por los agricultores en gran escala. El cultivo protegido tiene muchas formas, entre ellas; una simple cobertura contra la lluvia a control completo de los factores ambientales.

El cultivo protegido, nos permite la producción de tomates en países templados durante el invierno debido a que el crecimiento y desarrollo de las plantas puede controlarse en forma precisa mediante la regulación de la humedad y fertilidad del suelo, la luz, la temperatura, la humedad relativa y la concentración de dióxido de carbono (Villareal, 1982).

2.3. Importancia de la producción del cultivo de tomate

Entre la gran diversidad de hortalizas de hoja y fruto, el tomate es el más importante porque genera una alta entrada de divisas, emplea gran cantidad de mano de obra, actividad económica por el monto de consumos, horas/hombre dedicadas a su producción, mercadeo y agroindustria, tiene considerable valor nutricional para la población y es una fuente importante de vitaminas y minerales (CATIE, 2012).

A su vez el cultivo de tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico su demanda aumenta continuamente y consecuentemente aumenta su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada. El tomate en fresco se consume principalmente en ensaladas, cocido o frito, en mucha menor escala se utiliza como encurtido. El tomate es usado como ingrediente principal en jugos pastas bebidas y otros concentrados.

La producción de tomate en Bolivia ha aumentado año tras año, principalmente de siembra de nuevas áreas por los avances tecnológicos de la mejora genética de variedades mejoradas que son cultivables en la actualidad y, en segundo lugar, por rendimiento por hectáreas más altos en trópicos y valles mesotérmicos que son ambientes más favorables para la producción de hortalizas.

Los rendimientos del cultivo de tomate en Bolivia varían entre 7 a 24 t/ha, (Programa de Desarrollo Alternativo Regional PDAR, 2006).

2.4. Descripción botánica

2.4.1. Clasificación Taxonómica

Según Rojas (2001), la clasificación taxonómica del tomate es la siguiente:

El tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia Solanácea y al género *Lycopersicon esculentum*, es la especie más cultivada y posee un gran número de especies silvestres relacionadas.

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteria
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>esculentum</i>
Nombre binomial	<i>Lycopersicon esculentum</i>

2.4.2. Características botánicas del cultivo de tomate

El tomate como cultivo comercialmente hablando es una planta anual, potencialmente perenne y muy sensible a las heladas.

Para Nuez (2001), las características botánicas que es necesario tomar en cuenta en el cultivo de tomate son las siguientes:

- Sistema radicular, puede llegar a una profundidad mayor a los 40 centímetros y tiene como funciones la absorción y el transporte de nutrientes, así como la sujeción o anclaje de la planta al suelo.
- Tallo, el tallo principal tiene 2 a 4 cm. de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares que salen de la epidermis, sobre él, van desarrollando las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Éste tiene la propiedad de emitir raíces cuando se pone en contacto con el suelo, característica importante que se aprovecha en las operaciones culturales de aporque dándole mayor anclaje a la planta.
- Hoja, son compuestas imparipinada con siete a nueve folíolos, los cuales generalmente son peciolados, lobulados y con borde dentado, y recubiertos de pelos glandulares.
- Flor, es perfecta o hermafrodita, regular e hipógina y consta de cinco o más sépalos y de seis o más pétalos, tiene un pistilo con cinco estambres, unidos en sus anteras y formando un tubo que encierra el pistilo. Esta conformación favorece la auto polinización. Las flores se agrupan en racimos simples ramificados que se desarrollan en el tallo y en las ramas del lado opuesto a las hojas. Un racimo puede reunir de 4 a 20 flores dependiendo de la variedad cultivada y las condiciones de desarrollo de la planta. Las flores son amarillas y normalmente pequeñas llegando a medir de uno a dos centímetros de diámetro.

- Floración, constituye una etapa previa a la fructificación, en consecuencia, todos los factores que afectan a la floración pueden influir sobre la precocidad, rendimiento y calidad de los frutos. La floración es un proceso complejo afectado por numerosos factores como son; la variedad, la temperatura, iluminación, competencia con otros órganos de la planta, nutrición mineral y los tratamientos con reguladores de crecimiento (Nuez, 2001).
- Fruto, es una baya que presenta diferente tamaño, forma, color, consistencia y composición, según el cultivo que se trate, Está constituido por la epidermis o piel, la pulpa, el tejido placentario y las semillas. Internamente los frutos están divididos en lóculos, que pueden ser bi, tri, tetra o pluriloculares. Frutos inoculares son escasos y los frutos maduros pueden ser rojos, rosados o amarillos. En los lóculos se forma las semillas.
- La semilla del tomate es pequeña, con dimensiones aproximadas de 5 x 2 mm, éstas pueden ser de forma globular, ovalada, achatada, casi redonda, ligeramente alongada, plana, arriñonada, triangular con la base puntiaguda. La semilla está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal, la cual está recubierta de pelos.

2.4.3. Características morfológicas

El tomate es una planta herbácea de tallo semi leñoso. Las hojas a su vez están compuestas por otras más pequeñas llamadas foliolos. Existen dos tipos de hábito de crecimiento: plantas de crecimiento determinado que alcanza una altura máxima de dos metros, y plantas de crecimiento indeterminado las cuales alcanzan longitudes hasta de diez metros (Maroto, 2015)

Según Callao y Sergio Gabriel (2012), sostienen que es una planta perenne, sensible a las heladas, la cual se cultiva como anual. El tallo primario es herbáceo, frágil, redondo y erecto, luego se torna decumbente semileñoso, con pelos glandulares que confieren el olor característico. A partir de la primera inflorescencia, la ramificación se hace sinpodial.

El cáliz es persistente, el fruto es una baya bi o plurilocular de color rojo o amarillo. La raíz es profunda, alcanzando 1.5 m de profundidad, la mayor parte se encuentra en los primeros 50 cm comienza con una raíz pivotante que en general se destruyeron en el trasplante, dando lugar a un sistema radical fibroso con numeras raíces adventicias cuyo desarrollo se

ve favorecido por el aporque. Actualmente, el tomate se divide en dos grupos: de crecimiento indeterminado y determinado.

2.5. Tipos y habito de Crecimiento del cultivo de tomate

Moreno (2005), menciona que el hábito de crecimiento de los cultivares de tomate, puede ser determinado e indeterminado. Las variedades de hábito determinado son de tipo arbustivo, de porte bajo, compactas, poseen inflorescencias apicales y su producción de fruto se concentra en un periodo relativamente corto. Las plantas crecen, florecen y fructifican en etapas bien definidas.

Las variedades de hábito indeterminado tienen inflorescencias laterales y su crecimiento vegetativo es continuo; la floración, fructificación y cosecha se extienden por períodos muy largos. Las variedades de tomate para mesa y tipos chonto y cherry tienen por lo general hábito indeterminado, y las plantas necesitan de tutores que conduzcan su crecimiento.



Figura 1. Tomate de crecimiento Indeterminado



Figura 2. Tomate de crecimiento determinado

En el crecimiento indeterminado cada inflorescencia, se alterna con tres hojas, creciendo indefinidamente. En el determinado, el crecimiento finaliza, en una inflorescencia, al faltar el brote que lo prolongue.

2.5.1. Crecimiento determinado

Los cultivos de tomate de crecimiento determinado son plantas de tipo arbustivas, de porte bajo, pequeño y de producción precoz dependiendo al cultivar. Se caracteriza por la formación de las inflorescencias en el extremo del ápice. Para la producción mecanizada a gran escala se prefieren las variedades de tipo determinado, que son bajos o arbustivos (Von Haeff, 1983).

2.5.2. Crecimiento indeterminado

Es un crecimiento vegetativo continuo, pudiendo llegar su tallo principal hasta más de 12 m. de largo si es manejado a un solo eje de crecimiento, las inflorescencias aparecen lateralmente en el tallo florecen y cuajan uniformemente, se eliminan los brotes laterales y el tallo generalmente se enreda en torno a un hilo de soporte, y este tipo de cultivar es apto para producción en invernadero.

Cuadro 1. Diferencia del tomate determinado e indeterminado

Indeterminado	Determinado
• Ramificación débil • 3 a 4 hojas por simpodio • Floración y maduración distribuida en un largo tiempo • Habito rastrero • Siempre se podan y deben ralearse los frutos • Producción a campo abierto o ambiente controlado (invernadero), siempre se conducen y cosechan manualmente	• Fuerte tendencia a la ramificación • 1 o 2 hojas por simpodio • Floración y Maduración concentrada • Habito arbustivo • No se realiza poda ni roleos de frutos • Producción a campo de estación, sin conducción con posibilidades de cosecha mecánica. • Tomate industria o doble propósito

Fuente: Moreno, (2005) citado por Salazar, (2020)

2.6. Valor nutricional y composición química

El valor nutritivo del tomate se basa principalmente en contenido de nutrientes y vitaminas, elementos indispensables para el desarrollo y correcto funcionamiento de los diferentes órganos humanos. A su vez el tomate es considerado como activador de la secreción gástrica, aumenta la secreción de la saliva y hace más agradable los alimentos insípidos (Huerres,1991).

El tomate contiene vitaminas, A, B1, B2, B6, C y E, y de minerales como fósforo, potasio, magnesio, manganeso, zinc, cobre, sodio, hierro y calcio. Tiene un importante valor nutricional ya que incluye proteínas, hidratos de carbono, fibra, ácido fólico, ácido tartárico, ácido succínico y ácido salicílico (Jaramillo *et al*, 2007).

En general, el tomate es un alimento cuyo componente mayoritario es el agua, seguido de los hidratos de carbono. Se considera una hortaliza cercana a las frutas, ya que su aporte en azúcares simples es superior al de otras verduras lo que le confiere un sabor dulce. Es una fuente importante de vitaminas entre las que destacan la vitamina C, la vitamina E, la provitamina A (principalmente, el beta caroteno), vitaminas del grupo B (B1 y B3), y de minerales como el fósforo y el potasio. Además, presenta un alto contenido en licopeno, un pigmento que le proporciona su característico color rojo, y que se considera el más potente

de los antioxidantes (Beecher, 1998). Se ha demostrado que esta sustancia puede prevenir e incluso combatir el cáncer, porque protege las células de los efectos de la oxidación (Yassla, 2008).

El valor nutricional del tomate es el grado de utilidad que poseen los alimentos para satisfacer los requerimientos de sustancias necesarias para garantizar el buen funcionamiento del organismo humano o animal. La calidad nutritiva, aunque es imperceptible para los consumidores, es de gran importancia. Algunas sustancias presentes en los alimentos proporcionan adicionalmente beneficios médicos y saludables, incluyendo la prevención y el tratamiento de enfermedades (Jack, 1995).

En el Cuadro 2, se muestra la composición nutricional media del tomate, como se observa, los componentes nutricionales del tomate son azúcares, ácidos, proteínas, lípidos, minerales, componentes fenólicos, pigmentos y vitaminas. Estos tres últimos se han identificado como compuestos nutraceuticos, por lo que el tomate se ha identificado como un alimento funcional y nutraceutico.

Cuadro 2. Contenido nutricional del tomate (Composición química media/100g).

Composición	Cantidad	Unidad	Composición	Cantidad	Unidad
Agua	94,0	g	Vitamina B1	0,06	mg
Calcio	14,0	mg	Vitamina B2	0,04	mg
Hierro	0,5	mg	Vitamina E	0,70	mg
Fósforo	23,0	mg	Vitamina C	13,7	mg
Potasio	204,0	mg	Vitamina A	13,6	µg
Sodio	13,0	mg	Licopeno	10,63	mg
Magnesio	20,0	mg	Ácidos fenólicos	5,36	mg
Yodo	1,7	µg	Flavonoides	5,02	mg
Zinc	0,24	mg	Fibra	1,04	g
Carbohidratos	4,3	g	Proteínas	0,9	g
Grasa	0,2	g	Energía	17,0	Kcal

Fuente: CORPOICA, 2006.

El tomate es una fuente muy importante de vitaminas para nuestro organismo, principalmente la vitamina C. Las vitaminas son moléculas orgánicas esenciales para el normal crecimiento, desarrollo y reproducción de humanos y animales. Se considera también fuente de vitamina A, pero no porque contenga este componente, sino porque

aporta al organismo importantes cantidades de β carotenos, que actúa como vitamina A, por lo que se conoce como provitamina A.

2.7. Fenología del cultivo de tomate

La fenología del cultivo de tomate corresponde a las etapas que comprenden su ciclo de vida, dependiendo de la etapa fenológica de la planta, así son sus demandas nutricionales, necesidades hídricas, susceptibilidad a insectos y enfermedades.

En el cultivo de tomate según Nuez (2001) comprende dos fases: una vegetativa y otra reproductiva.

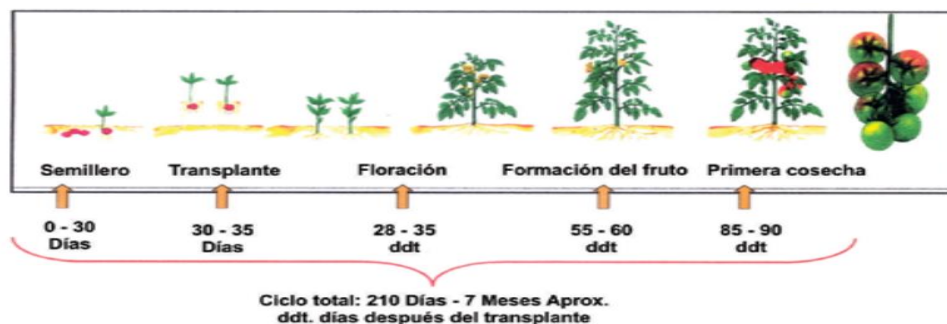
- **Fase Vegetativa**

En esta fase se inicia desde la siembra en almácigo, seguida de la germinación, la emergencia y el trasplante a suelo definitivo, el cual se realiza con un promedio de tres a cuatro hojas verdaderas, entre 30 a 35 días después de la siembra y a partir del trasplante hasta el inicio o aparición del primer racimo floral.

- **Fase Reproductiva**

se inicia desde la formación del primer botón floral, que ocurre entre los 30 y los 40 días después de realizado el trasplante.

El llenado de los frutos, que dura aproximadamente 60 días para el primer racimo, iniciándose la cosecha a los 90 días, con una duración de tres meses para una cosecha de 8 a 10 racimos dependiendo la variedad de tomate. En total la fase reproductiva tiene una duración de 180 días aproximadamente. Esto va depender principalmente por la variedad y cultivar de tomate.



Fuente: Nuez, (2001)

Figura 3. Etapas fenológicas del cultivo de tomate

2.7.1. Patrón de fructificación

El inicio de la fructificación ocurre entre los 60 a 65 días después de la siembra y la primera cosecha puede realizarse entre los 75 a 80 días, si la variedad es de crecimiento determinado. Si es indeterminada, la fructificación inicia a los 70 a 80 días y la primera cosecha se realiza a los 85 a 90 días después de la siembra. El número de cortes en el cultivo de tomate dependerá del manejo, de las condiciones climáticas imperantes, durante su ciclo de cultivo y de su hábito de crecimiento. Sin embargo, puede realizarse en promedio de 7 a 8 cortes en variedades de crecimiento determinado y 12 a 15 cortes en variedades de crecimiento indeterminado (Corpeño, 2004).

2.8. Calidad del fruto

La calidad de un tomate depende fundamentalmente de su aroma, su consistencia y su sabor. El tomate en sus rojas carnes todos los nutrientes esenciales. Es también un auténtico fármaco de huerta carente de efectos secundarios y riesgo de sobredosis que ayuda al organismo en muchas de sus funciones vitales. Es rico en vitamina C, A, carotenoides, lo que convierte en un protector de lujo. Además, contiene vitaminas del grupo B, K y PP. El tomate también atesora una buena colección de minerales, en especial hierro, fósforo, calcio, manganeso, potasio, zinc y sodio (Ciruelos, 2007).

El mismo autor indica, en el tomate destinado para procesado, las características de calidad externa como forma, color y tamaño son importantes al igual que en el consumo en fresco. Sin embargo, son más importantes otros caracteres relativos a la calidad interna, como acidez, contenido de azúcares y materia seca.

2.8.1. El sabor del tomate y el grado de maduración.

Mikkelsen (2005), menciona el cuidar el sabor del tomate no es tarea fácil. La intensidad de las propiedades del sabor del fruto de tomate está determinada en su gran mayoría por la cantidad de azúcar (principalmente fructuosa y glucosa), por el contenido de ácido orgánico (principalmente cítrico, málico y la acidez total) y la composición de los compuestos volátiles.

El mismo autor indica las diferencias de sabores entre variedades, y el sabor más débil de los tomates cultivados en invernaderos o madurados artificialmente, se explican por las proporciones cuantitativas de las sustancias volátiles. De los factores ambientales, la luz

tiene el efecto más drástico en la concentración de azúcar en la fruta. Generalmente, mientras más luz solar llegue a la fruta mayor será su contenido de azúcar. En consecuencia, los tomates cultivados en invernaderos durante épocas de poca luz tienen mucho menos azúcar que los tomates cultivados en invernadero o en campo abierto con mejores condiciones de luz.

2.8.2. Calidad organoléptica del tomate

La calidad sensorial del tomate depende de numerosos factores, incluyendo el color, la textura, aroma, composición de metabolitos primarios como azúcares, ácidos orgánicos y aminoácidos, y secundarios, como los compuestos fenólicos o los carotenoides (Aguayo, 2004). Así, la calidad organoléptica de los tomates frescos está condicionada principalmente por el incremento en ácidos orgánicos e hidratos de carbono.

2.9. Atributos físicos

Bosquez (2009), indica una amplia cantidad de características físicas de los productos vegetales se emplean para evaluar su madurez. Algunas de las más importantes son: la forma, el tamaño, el color y las características de la superficie (rugosidad, brillo, serosidad).

2.9.1. Fuerza de abscisión:

Durante los últimos estados del sazónamiento y comienzo de la maduración en muchas frutas, se desarrolla una banda especial de células (la zona de abscisión) en el pedicelo que une a la fruta con la planta. El desarrollo de esta capa tiene como propósito permitir la separación natural de la fruta, y medir su formación es posiblemente uno de los índices de madurez más antiguos, sin embargo, no se emplea como un índice de madurez formal (Bosquez, 2009).

2.9.2. Textura

Con frecuencia, el sazónamiento en los frutos va acompañado de un ablandamiento. Los vegetales sobre maduros se tornan fibrosos o correosos, estas propiedades pueden emplearse para medir la madurez y se determina con instrumentos que permiten medir la fuerza requerida para empujar un punzón de diámetro conocido a través de la pulpa de la fruta o vegetal (Bosquez, 2009).

2.9.3. Color

El color de un fruto es una característica estrechamente relacionada con el grado de madurez. La conversión de un tomate desde su estado verde maduro al estado pleno de madurez abarca cambios dramáticos de color, composición, aroma, sabor y textura. Se pensaba en la maduración como un simple resultado de una serie de procesos degradativos, probablemente porque la mayoría de cambios requieren de la acción de enzimas hidrolíticas: Sin embargo, ahora está claro que este fenómeno depende de un amplio rango de reacciones separadas de síntesis como de degradación (Cardona, 2006).

Existen numerosas técnicas para adelantar y uniformizar la coloración del fruto, induciendo a su vez la precocidad de recolección (Nuez, 1995).

2.9.4. Firmeza:

La firmeza de frutos de tomate es un parámetro que mide la resistencia de penetración de los tejidos del fruto. Este es un factor importante ya que la firmeza generalmente está relacionada con la sanidad del fruto, la concentración de azúcares, el pH, el sabor y el aroma del fruto, sobre todo al alcanzar la coloración de consumo. Este carácter se puede evaluar por métodos objetivos, aplicando procedimientos destructivos que miden la resistencia que ofrecen a la penetración de la pulpa, corte o compresión, pero se prefieren técnicas no destructivas que evalúan la firmeza de los frutos a la compresión (Cuadro 3) (Gonzales, 2002).

Cuadro 3. Firmeza de frutos de tomate basado en pruebas subjetivas y objetivas

Clase	Descripción basada sobre la presión con los dedos de la mano	Newtons-fuerza
Muy firme	Frutos que toleran presión alta	>25
Firme	Frutos que toleran una presión regular	15 a 25
Moderadamente firme	Frutos que toleran una presión regular con menor esfuerzo	15 a 18
Moderadamente Suave	Frutos que toleran una presión regular	12 a 15
Suave	Frutos que toleran una presión ligera	8 a 12
Muy suave	Frutos que toleran una presión muy ligera	<8

Fuente: Gonzales, 2002

La firmeza de los frutos de tomate es uno de los componentes importantes para el procesamiento y empaqueo de frutos frescos. Es afectada de manera importante por diversos factores ambientales como la nutrición y exceso de nitratos, la interacción entre la cantidad de agua y el contenido de calcio en el fruto menciona (Taylor *et al.*, 2002).

Flores *et al.* (2003). Sostienen que la firmeza es muy variable entre cultivares, siendo más blandos, en general los multiloculares que los biloculares. Un buen manejo de riego y una buena relación (N/K) en el abonado permiten conseguir un fruto más firme, las temperaturas elevadas inciden negativamente influida por el estado de madurez y, también, por las condiciones del cultivo.

2.9.5. Forma

La forma es muy variable según cultivares (esférica, achatada, forma de pera) y el tamaño es uno de los factores empleados en tipificación del tomate para consumo en fresco (según su diámetro ecuatorial) (Nuez, 1995).

Los cultivares de tomate difieren mucho en la forma del fruto, pueden ser ovalados, esféricos, alargados, tipo pera, etc., los defectos en la forma se asocian con una pobre polinización y el desarrollo irregular de algunos lóculos, que pueden afectar la apariencia, firmeza, susceptibilidad a la pudrición, disminuir el contenido de sólidos solubles, etc. (Flores *et al.*, 2003).

2.9.6. Sabor

El contenido de azúcares, ácidos y sus interacciones determinan el sabor del tomate (Kader, 1986). Valores de pH inferiores a 4,4 y contenidos de azúcares superiores a 4 a 4,5% son necesarios para un buen sabor (Niesen *et al.*, 1990), aunque varía según cultivares. En condiciones de baja radiación y temperatura, como ocurre en cultivo protegido en invierno, donde los contenidos en materia seca del fruto pueden ser inferiores al 3,5%, resulta difícil alcanzar esos mínimos de azúcares requeridos para un buen sabor. Con alta temperatura la acidez del fruto es menor, por lo que desmerece su sabor (Nuez, 1995).

El sabor del fruto es la mayor demanda del consumidor. Son numerosas las causas que determinan el sabor del tomate, entre las que se pueden destacar el contenido en azúcares, el grado de maduración, la nutrición vegetal, el genotipo y el manejo post cosecha. La intensidad del sabor del fruto está determinada principalmente por el contenido en azúcares

fundamentalmente fructosa y glucosa, de ácidos orgánicos cítrico, málico y acidez total y la presencia de compuestos volátiles.

El tomate es un fruto que está compuesto principalmente por agua, con un contenido en sólidos entre el 5 a 7%, de los cuáles cerca de la mitad son azúcares y una octava parte son ácidos. El contenido de azúcares, ácidos y sus interacciones determinan el sabor del tomate (Ramírez *et al.*, 2004), describió el sabor del tomate, basado en la acidez y en el contenido en azúcares, tal y como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Relación entre acidez y azúcares para la descripción del sabor

Sabor	Acidez	Contenido en azúcares
Bueno	Alta	Alto
Agrio	Alta	Bajo
Suave	Baja	Alto
Insípido	Baja	Bajo

Ramírez *et al.*, 2004

2.10. Calidad interna del fruto

La calidad del tomate se la ha evaluado por el contenido de sus compuestos químicos tales como la materia seca, grados brix, acidez, azúcares simples, ácido cítrico y otros ácidos orgánicos y compuestos volátiles. La característica del gusto ácido o dulce del tomate y sobretodo la intensidad del sabor se deben a componentes como azúcares reductores (fructosa y glucosa), ácidos libres (principalmente cítrico) así como sustancias volátiles que derivan de los ácidos grasos y amino ácidos aproximadamente 400 compuestos volátiles han sido encontrados en la maduración del fruto, sin embargo las rutas biosintéticas por las cuales muchos son producidos nos son completamente comprendidas aún. De todos estos compuestos volátiles hasta ahora identificados, se ha encontrado que varios que tienen un rol de mayor importancia en el sabor del tomate fresco como son el cis-3-hexenal, trans-2-hexenal, 2-isobutylthiazole. La maduración del tomate se caracteriza por el reblandecimiento del fruto, la degradación de la clorofila, y un incremento en la tasa respiratoria, producción de etileno, así como síntesis de ácidos, azúcares y licopeno (Cardona, 2006).

2.10.1. Químicos

La madurez fisiológica (sazonamiento) de los frutos frecuentemente está asociada a muchos cambios en su composición química, y algunos de ellos pueden emplearse como indicadores de madurez satisfactorios.

Entre los más utilizados se encuentran: Grados *Brix*. Representan el % de sacarosa determinado en el jugo del fruto. Se mide utilizando un brixómetro o un refractómetro para grados *brix*, las lecturas registradas están dadas a la temperatura indicada por estos instrumentos.

2.10.1.1. Sólidos solubles totales (SST)

Las frutas y hortalizas contienen otros sólidos solubles diferentes de la sacarosa, esto es, otros tipos de azúcares y también ácidos orgánicos, por lo que es más frecuente determinar el contenido total de éstos en por ciento. Para ello se emplean instrumentos como el refractómetro de Abbe. Frecuentemente se consideran a los grados *Brix* como equivalentes de los SST porque el mayor contenido de sólidos solubles en el jugo de las frutas son azúcares, sin embargo, es más preciso realizar las correcciones pertinentes a las lecturas registradas con los brixómetros para obtener datos reales en términos de SST. También deben hacerse correcciones por la temperatura a la cual se realice la determinación.

El sabor está directamente relacionado con dos compuestos principales: sólidos solubles y aroma, se han identificado más de 400 compuestos volátiles que representa el 0,1% de la materia seca en el fruto maduro, de estos son aproximadamente 30 los responsables del aroma, mismo que resulta de la combinación desconocida de estos compuestos, muchos de los cuales aún no se ha identificado (Fernández *et al.*, 2004).

El papel del contenido de sólidos solubles totales, acidez y azúcares en la intensidad del sabor, la dulzura tiene alta asociación con el contenido de sólidos solubles, pH y la conversión de almidones en azúcares reductores. No obstante, estas relaciones son ambiguas ya que el perfil y contenido de estas sustancias contribuyen a que exista variación entre cultivares (Fernández *et al.*, 2004).

Uno de los atributos químicos que determina de una forma inequívoca la calidad gustativa de los productos hortofrutícolas es el contenido de azúcares, estimado generalmente a través del contenido en sólidos solubles. La concentración de sólidos solubles se mide en

grados *Brix*. Este parámetro muestra la densidad de azúcares, ácidos, etc. que tiene el suero del tomate a una determinada temperatura. Para que los tomates tengan un aroma y sabor óptimo deben tener un contenido en sólidos solubles de entre 4 y 6 grados *Brix* (Aguayo y Artes, 2004). El nivel de azúcares de un fruto de tomate es un parámetro importante de calidad, ya que muestra la dulzura de los frutos (Zapata *et al.*, 2007).

2.10.1.2. pH

El concepto pH se refiere a la medida de la concentración de iones H^+ en solución acuosa, y por tanto el carácter básico o ácido se expresa en concentración de iones H^+ afirmando que el pH es neutro, 6 (ácido) u 8 (básico) (Flores *et al.*, 2003). En los frutos de tomate es una característica sensorial relacionada con los cambios que sufren las frutas durante la maduración y la senescencia.

Arana *et al.* (2007), consideran que los tomates que presentan características óptimas en cuanto a sabor y aroma, poseen un pH entre 4 y 5, al estudiar el comportamiento del pH de tomates almacenados a 28°C y 65% de humedad relativa, apreció fluctuaciones en el pH del producto, con una tendencia hacia el aumento del valor medio de este parámetro a lo largo del almacenamiento.

2.11. Nutrientes en las plantas

Son más de 100 los elementos que forman parte de la composición de nuestro planeta, pero solo algunos de estos elementos en función a sus características constituyen la materia viva participando en la formación de complejas moléculas biológicas y en su funcionamiento. Los nutrientes minerales tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de la planta. Excluyendo el hidrógeno, el oxígeno y el carbono que son elementos aportados por el agua, dióxido de carbono y la propia planta. Los elementos de fertilidad se definen de acuerdo a que tan grande sea la cantidad requerida para el crecimiento en: elementos principales: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K); en elementos secundarios: calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); microelementos: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (Bo), molibdeno (Mo) y cobre (Cu) (Arteaga, 2015).

2.11.1. Elemento esencial o nutriente

Son elementos esenciales, aquellos elementos que sin ellos la planta no llegaría a completar su ciclo de vida. Para saber si un elemento es esencial se establecieron los

criterios de esencialidad. Un elemento es esencial cuando satisface los criterios directo e indirecto, en forma conjunta o no. Por criterio directo, corresponde a que el elemento debe ser parte de un compuesto o de una reacción relevante (enzimática o no enzimática) para el metabolismo y por consiguiente, para la vida del vegetal. Si el criterio directo es satisfecho, el elemento es considerado esencial o nutriente. El criterio indirecto se cumple, cuando con la ausencia del elemento en la planta, ésta muere antes de completar su ciclo de vida; el elemento no puede ser sustituido por ningún otro y finalmente, los efectos no deben estar relacionado con el mejoramiento de condiciones físicas, químicas o biológicas desfavorables del medio. La lista de nutrientes que satisface el criterio directo y/o indirecto, es la siguiente: Macronutrientes, N, P, K, Ca, Mg, S, micronutrientes, B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn (Vidal, 2019).

Es así que los elementos esenciales para la planta, son 17 elementos, (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S,), (Fe, Cu, Mn, Mo, Cl, B, Zn y Ni) macro y micro elementos, respectivamente.

El níquel (Ni), satisface el criterio directo de esencialidad porque es un componente de la ureasa. En ausencia de Ni, la planta manifiesta síntomas de toxicidad de urea (Vidal, 2019)

2.11.2. Nitrógeno (N)

El nitrógeno, cuyas formas de asimilación son el ion nitrato (NO_3) y el ion amonio (NH_4) es el mayor elemento para el crecimiento de la planta. En el interior de la planta se combina con diferentes compuestos generados por el metabolismo de los carbohidratos para así formar los aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos (Moreno, 2007).

También el Nitrógeno está involucrado en numerosas funciones en la planta como la formación de aminoácido, síntesis de proteínas, en procesos de ácidos nucleicos, amidas, aminas y varias coenzimas. Debido a que el nitrógeno forma parte de la molécula de clorofila, una deficiencia del mismo origina un color amarillento en las hojas (clorosis), debido a la falta de clorofila. El nitrógeno es también un constituyente de las paredes celulares (Urrestarazu, 2004).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

Una deficiencia de nitrógeno, en el cultivo del tomate, produce un lento crecimiento vegetativo, a su vez las hojas adquieren tonos de un verde pálido hasta el amarillamiento, los folíolos se tornan pequeños con tonalidades purpuras (Siviero, 1996). A mismo la

deficiencia de nitrógeno en la planta provoca una maduración acelerada del fruto y una disminución en el rendimiento (ver anexo 1)

Las cantidades excesivas de nitrógeno originan plantas muy succulentas, disminución pronunciada en el desarrollo de las raíces y con un mayor desarrollo vegetal aéreo.

Matamoros (1990) y Subbiah (1994), indican que el exceso de nitrógeno provoca distintas alteraciones en la planta como ser: vegetación excesiva, retraso y prolongación de la floración, escaso cuajado de frutos, frutos blandos con pobre coloración, frágiles y con menos riqueza de azúcares. Las hojas toman un color verde oscuro y retraso en la maduración. El crecimiento vigoroso por aplicación excesiva de nitrógeno, provoca también la rápida utilización de otros elementos, que, si no se encuentran en cantidades suficientes en forma asimilable, pueden ocasionar deficiencias.

2.11.3. Fósforo (P)

El fósforo que existe en el suelo en igual cantidad promedio tanto en forma orgánica e inorgánica. H_2PO_4 y HPO_2 son las dos formas de aniones del fósforo que dependen del pH del suelo.

A su vez el fósforo es un componente fundamental de compuestos importantes de las células vegetales, como los intermediarios azúcar-fosfato de la respiración y la fotosíntesis y de los fosfolípidos que forman parte de las membranas vegetales. También es un componente de los nucleótidos utilizados en el metabolismo energético vegetal como el ATP (Adenosin trifosfato) y en las moléculas ADN y ARN (Taiz y Zeiger, 2006).

Únicamente puede ser asimilado por las plantas bajo las formas de iones ortofosfatos H_2PO_4 (monovalente) y en menor proporción HPO_4 (bivalente) presentes en la solución del suelo. La solubilidad de estos dos iones depende fundamentalmente del pH (Olivera *et al.*, 2006).

Alteraciones por deficiencia y exceso

Los síntomas por falta de fósforo están asociados a un desarrollo anormalmente débil de la planta, tanto en la parte aérea como en el sistema radicular. Las características más específicas cuando existe deficiencia aparecen en las hojas que se hacen más delgadas,

erectas, de menos tamaño que las normales y con las nerviaciones poco pronunciadas, los síntomas aparecen primeramente en las hojas viejas (Urrestarazu, 2004) (ver anexo 2).

La insuficiencia de fósforo son la maduración tardía, el retraso de la floración y la caída de flores y frutos. El síntoma más común que aparece en las hojas viejas es un verde negruzco o azulado que puede estar acompañado con tintes bronceados o purpuras. Las alteraciones por exceso son frecuentes clorosis férricas por la insolubilización que sufre el hierro ante dichos excesos (Wilcox, 1996).

2.11.4. Potasio (K)

El potasio tiene como función principal la asociación con las relaciones hídricas y absorción de agua por la planta. Mantiene el potencial osmótico de las células. Descrito como el elemento de la calidad, debido a que las frutas y vegetales que se producen con adecuados niveles de potasio presentan mayor calidad poscosecha y mayores niveles de azúcares (Alcantar, 2007).

El elemento potasio es absorbido como ion potásico, que se encuentra en los suelos en cantidades muy variables, el fertilizante es añadido en los suelos en formas de sales solubles tales como sulfato potásico, nitrato potásico, yoduro potásico y sulfato potásico magnésico (Tisdale y Nelson, 1982).

A presencia de potasio favorece la formación de carbohidratos (azúcar, almidón, féculas, etc.). Aumenta la consistencia y dureza de los tejidos de las plantas, lo que da lugar a:

- Resistencia mucho mayor a ciertas enfermedades.
- Mayor resistencia al encamado de los cereales.
- Considerado como un factor de calidad de los productos; aumenta el peso, la coloración y el sabor de los frutos, favorece la conservación de los productos.
- Disminución en el riesgo de heladas. Al aumentar la cantidad de las sales disueltas en la savia disminuye el punto de congelación del agua.
- Favorece la resistencia a la sequía, puesto que regula el mecanismo de apertura y cierre de los estomas, que es por donde las plantas transpiran el agua a la atmósfera (Flórez, 2009).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

La deficiencia de potasio da lugar a un retraso general del crecimiento de la planta, que se puede observar en la reserva de semillas, frutos. Tallos más delgados ya que todo el elemento es utilizado en el ápice vegetativo. Si la deficiencia se agudiza, en las hojas se inicia un moteado de manchas cloróticas y prosigue por el desarrollo de amplias necrosis en la punta y en los bordes, en muchos casos las hojas tienden a curvarse hacia arriba (Urrestarazu, 2004), (ver anexo 3).

La absorción excesiva de potasio hace disminuir la presencia de otros elementos, por ello, el exceso origina situaciones a deficiencias de magnesio, hierro y zinc (Urrestarazu, 2004).

2.11.5. Calcio (Ca)

En las plantas este elemento oscila entre 0.5 – 3.5% de calcio en su estructura, el cual mantiene las células juntas y también mantiene las paredes de las células vegetales rígidas y firmes. El calcio reduce el ablandamiento de frutos y su deterioro de calcio en los tejidos inhibe la acción de enzimas poligalacturonasas que causan el rompimiento de la membrana y senescencia de los tejidos.

Es absorbida bajo la forma de Ca^{2+} , después del K, el elemento básico más abundante que existe en las plantas. En proporciones mucho menores, absorbido también mediante un intercambio directo entre los pelos radiculares y el complejo coloidal al que se encuentra adsorbido (Navarro y Navarro, 2003).

Su disponibilidad está asociada al pH de la solución nutritiva (5.5 -6.2 en el cultivo del tomate). Ante una caída severa del pH, el primer nutriente que se afecta es el calcio (Urrestarazu, 2004).

Funciones del Calcio:

El calcio no tiene gran importancia como activador enzimático a diferencia de otros nutrientes. Es un elemento de muy baja movilidad interna. Sus principales funciones son:

- Favorece a la turgencia del plasma coloidal, en forma similar al potasio.
- Activador de los meristemos de la raíz para su crecimiento radicular.
- Ayuda a la formación de nódulos de leguminosas.

- Contribuye a la germinación de los granos de polen y para que se desarrolle el tubo polínico.

Alteraciones por deficiencia y exceso.

Una deficiencia de calcio causa clorosis y detiene el desarrollo radicular, originando raíces cortas, gruesas y con una coloración parda. Una planta con excesivo de calcio puede reflejar en un desbalance de cationes, tales como una deficiencia de magnesio o de potasio (Castellanos, 2009)

2.11.6. Magnesio (Mg)

El magnesio es absorbido por la planta como Mg^{+2} es un constituyente metálico de excepción en la molécula de clorofila, pigmento este esencial para que las plantas verdes puedan llevar a cabo el proceso de la fotosíntesis (Casas *et al.*, 1999).

La molécula de la clorofila contiene un ion Mg en el núcleo de su estructura. Consecuentemente, el magnesio es vital para la producción de clorofila y realización de la fotosíntesis. La mayor parte del magnesio presente en las plantas se encuentra en la clorofila y en las semillas, una cantidad mucho menor está distribuida en las restantes estructuras vegetales. Una parte de ese magnesio distribuido, funciona en el sistema enzimático involucrado en el metabolismo de los carbohidratos (Thompson y Troeh, 1982).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

Las hojas viejas se tornan amarillas, con clorosis intervenal y cuyas nervaduras permanecen verdes por deficiencias (Anexo 4). El exceso de magnesio provoca un desbalance de cationes y por lo tanto en un déficit de potasio y calcio (Castellanos, 2009).

2.11.7. Azufre (S)

Los contenidos de azufre en las plantas oscilan en un 0.03 – 0.08% en su estructura. La función más importante está relacionada con su participación en la síntesis de las proteínas. A su vez el azufre forma parte de los aminoácidos cisteína, cistina, tiamina y metionina, también de compuestos como la coenzima A vitamina B1 y algunos glucósidos, los cuales dan el olor y sabor característico a algunas plantas como las crucíferas y liliáceas.

Alteraciones por deficiencia y exceso.

Al ser el azufre un elemento inmóvil un síntoma característico es la clorosis sobre todo en las hojas jóvenes con las venas con frecuencia más pálida que el tejido intervenal. Son similar con el nitrógeno (maduras por deficiencia de nitrógeno y jóvenes por deficiencia de azufre). Frutos pequeños, crecimiento raquítico, si la deficiencia es severa se extiende a las hojas maduras, las cuales se arrugan.

Un exceso provoca principalmente la deficiencia de nitrógeno. Una planta más pequeña y un desarrollo uniformemente menor, a su vez las hojas toman un color verde oscuro. Si el exceso es alto las puntas y bordes de las hojas se pueden decolorar y quemar.

b.) Oligoelementos o micronutrientes**2.11.8. Hierro (Fe)**

Un síntoma característico por deficiencia de hierro es la clorosis férrica (hojas verdes pálido a amarillamiento), clorosis intervenal (o entre las nervaduras) en las hojas más jóvenes. Cuando la severidad de la deficiencia se incrementa, la clorosis se difunde a las hojas más viejas y provocan la defoliación.

El hierro puede acumularse en varios cientos de ppm sin causar síntomas de toxicidad. La toxicidad produce un bronceado en las hojas (Rodríguez *et al.*, 2002). (Anexo 5).

2.11.9. Manganeseo (Mn)

Es un por elemento inmóvil, muy importante en la fotosíntesis, clorofila, síntesis de la proteína y activador enzimático. Este micronutriente es absorbido preferentemente por la planta como ion manganeso (Mn^{+2}).

El manganeso como el hierro cataliza la formación de la clorofila y las reacciones de óxido-reducción en los tejidos (metabolismo de las auxinas) (Piaggese, 2004).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

Una deficiencia de manganeso se refleja en una clorosis intervenal con las nervaduras prominentemente verdes en las hojas maduras medias, permaneciendo el resto de la planta con hojas verde oscuro. Un exceso de este elemento se refleja en un reducido crecimiento

y una necrosis a lo largo de la vena principal, rodeada de un amarillamiento (Castellanos, 2009) (ver anexo 6).

2.11.10. Zinc (Zn)

El zinc forma parte de la composición de las enzimas y es muy importante en la síntesis de las hormonas de crecimiento.

Este nutrimento es parte de la auxina, una de las hormonas mejor conocidas como reguladoras de crecimiento (Piaggese, 2004).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

La deficiencia por zinc se observa como aparición de clorosis en las áreas intervenales de las hojas nuevas, en forma de bandas. Si la deficiencia es severa el crecimiento de la hoja y de la planta se ve afectado y las hojas mueren y caen de la planta (ver anexo 7). El exceso de zinc en las plantas particularmente sensibles al hierro se manifiesta en una clorosis.

2.11.11. Cobre (Cu)

Este nutrimento favorece en la síntesis de la clorofila, forma parte de la composición de distintas enzimas. Componente de algunas enzimas metabólicas. El cobre está relacionado en la formación de la pared celular y como otros micronutrientes en el transporte electrónico y reacciones de oxidación (Urrestarazu, 2004).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

Una deficiencia de este elemento se refleja en un crecimiento muy lento mientras que un exceso puede provocar una deficiencia de Fe (Castellanos, 2009).

Así mismo los síntomas por deficiencia, son un crecimiento reducido con hojas jóvenes distorsionadas y necrosis del meristemo apical. El exceso de cobre puede provocar la deficiencia de hierro y clorosis. El crecimiento radicular se suprimirá, lo que inhibirá la elongación y la formación de raíces laterales (Castellanos, 2009) (ver anexo 8).

2.11.12. Molibdeno (Mo)

El Molibdeno puede ser absorbido en cantidades altas sin tener efecto tóxico en las plantas. El parámetro normal varía de 0.34 a 1.5 ppm de molibdato. Favorece la fijación simbiótica

del nitrógeno atmosférico. Además, es un elemento esencial para la síntesis de la clorofila (Piaggese, 2004).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

La deficiencia de este nutrimento induce síntomas de deficiencia de nitrógeno. Las hojas más viejas y de la parte media se vuelven cloróticas y en algunos casos los márgenes de las hojas se enrollan y el crecimiento y la formación de flores es restringido. La deficiencia de molibdeno se manifiesta por lo general bajo forma de clorosis en las hojas basales más viejas. Aquellas más jóvenes resultan pálidas y menos desarrolladas de lo normal (ver anexo 9). Se presenta una disminución del crecimiento de la planta y una reducción de la floración, el tomate es medianamente sensible (Piaggese, 2004).

El exceso de molibdeno en la planta no les causa problemas, pero estas son tóxicas para rumiantes que consumen plantas que contienen 5 o más ppm de Mo.

2.11.13. Boro (B)

El boro es relativamente poco móvil en el interior de las plantas y los contenidos son superiores en las partes basales respecto a las partes más altas de las plantas, especialmente si el boro está en exceso. El ritmo de transpiración ejerce una influencia decisiva sobre el transporte de este elemento hasta las partes más altas de la planta. El boro es absorbido por las plantas bajo la forma de ácido bórico H_3BO_3 no disociado, aunque alguna extensión se absorbe en forma activa como anión borato $B(BO)_4$.

El boro juega un papel importante en la fertilización de las plantas, los crecimientos en peso de las hojas son más altos. El boro tiene un importante efecto en el cuajado de frutos y el proceso de formación de semillas. También el boro está involucrado en la producción de ácidos nucleicos y hormonas vegetales, el movimiento de azúcares en las plantas y en el metabolismo de carbohidratos y su translocación (Alarcón, 2001).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

La deficiencia de este elemento restringe el crecimiento radicular e interrumpe las membranas celulares teniendo un efecto directo en los mecanismos de absorción de la planta. Una deficiencia de boro reduce la absorción de otros nutrientes, tales como el nitrógeno, potasio y calcio. En caso de una deficiencia severa los puntos de los tallos

principal y lateral mueren y se pierde la producción. Las hojas pequeñas se mantienen pequeñas, se enrollan hacia dentro y terminan deformes (Alarcón, 2001).

Por otro lado, un exceso de boro puede bloquear el transporte de calcio

2.11.14. Cloro (Cl)

El micronutriente del boro tiene una actividad ligada a la fotosíntesis y participa en el mantenimiento de la turgencia celular. También el cloro tiene una función importante como soluto osmóticamente activo de gran importancia. Implicado en el mecanismo de apertura y cierre de estomas junto con el potasio y en diversos movimientos. Forma parte de la fotólisis del agua con la emisión de oxígeno en el fotosistema II. El cloro tiene gran movilidad dentro la planta moviéndose hacia las partes con gran actividad fisiológica.

Alteraciones por deficiencia y exceso.

Por lo general una deficiencia de cloro en los cultivos se presenta como un marchitamiento, donde la transpiración se ve afectada y claramente esto termina en clorosis. Por el contrario, una toxicidad por cloro se manifiesta por quemaduras en los márgenes de las hojas, amarillamiento prematuro, bronceado, incluso caída de hojas (Fertilab, 2022).

2.11.15. Níquel (Ni)

Un elemento será esencial cuando cumpla con al menos uno de los siguientes criterios:

- **Directo:** el elemento es parte de un compuesto vital o de una reacción coyuntural en el ciclo de vida de la planta.
- **Indirecto:** a falta de este elemento, la planta no podrá cumplir con su ciclo de vida, por tanto, se evidenciará sistema de ausencia, debido a que no habrá otro elemento que pueda sustituirlo.

De esta manera se tiene certeza que el Níquel cumple con los dos criterios de esencialidad citados al principio, de las funciones que se alteran a falta de Níquel están: la hidrólisis de la molécula de la urea dentro de la planta, la perturbación del metabolismo de algunos ureidos. Pero el claro ejemplo a falta de este elemento es que las hojas jóvenes muestran manchas oscuras al centro. La ureasa es una enzima que tiene mucha importancia en la nutrición vegetal, al fertilizar con urea esta enzima es la responsable de hidrolizar la urea en amoníaco y así poder ser aprovechado por las plantas (Fertilab, 2022).

Alteraciones por deficiencia y exceso.

Una deficiencia menor de Níquel no mostrara síntomas visuales, pero puede reducir el crecimiento y producción de las plantas. Una deficiencia mayor de níquel mostrara síntomas visuales normalmente en hojas viejas de las plantas, ya que el níquel es un elemento móvil. En algunas ocasiones los síntomas de deficiencia son similares a la del nitrógeno (causadas por la acumulación de niveles tóxicos de urea). Es imposible que ocurra una toxicidad por níquel en cultivos de invernadero.

2.12. Riego en el cultivo de tomate

2.12.1. Riego

A nivel mundial el área de riego abarca cerca de 250 millones de hectáreas, equivalentes al 18% de la tierra cultivada, y produce cerca del 50% de los alimentos. Para el año 2030 la producción de alimentos tendrá que duplicarse, según informes de la FAO, y es claro, que la agricultura de regadío deberá proveer el alimento adicional que demandará el planeta en las próximas décadas (Vidal, 2019).

2.12.2. Riego por goteo en el cultivo de tomate

El riego por goteo prácticamente se aplica el agua gota a gota mediante orificios denominado emisores (goteros), muy próximo a la zona radicular de los cultivos para así pueda ser utilizada eficientemente. Cuando hablamos de riego por goteo, se hace referencia al riego localizado, que se caracteriza por el uso de; tubos, microtubos, mangueras, cintas de exudación, goteo, etc. (Serrano, 2009).

En el cultivo de tomate el riego por goteo, es el sistema de riego localizado más popular, según el cual el agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los emisores o goteros, en los que pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota.

Estos sistemas son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio (olivar, frutales, hortalizas, etc.), aunque también se usan en cultivos en línea, los goteros suelen trabajar a una presión próxima a 1 kg/cm², y suministran caudales entre 2 y 16 L/h. Lo más frecuente es que las tuberías laterales y los goteros estén situados sobre la superficie del suelo, y el agua se infiltre y distribuya en el subsuelo.

2.12.3. Componentes de un riego por goteo

Según Chipana (2009), los componentes del sistema de riego localizado varían según las características de cada tipo, pero básicamente son similares, la composición de un sistema de riego por goteo puede ser considerado como un modelo básico.

Así mismo Fernández (2010), menciona que una instalación de riego localizado consta básicamente de tres tipos de componentes: el cabezal de riego, la red de distribución de agua y los emisores.

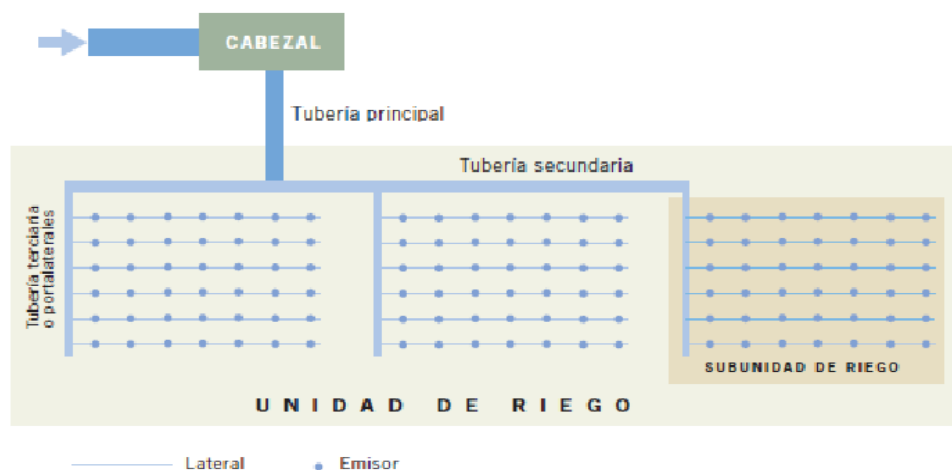
2.12.3.1. Cabezal de Riego Goteo

Fernández (2010), define por cabezal de riego al conjunto de elementos destinados a filtrar, tratar, medir y suministrar el agua a la red de distribución.

El sistema de riego localizado tiene la particularidad de contar con un sistema de bombeo, que bombea el agua a una presión necesaria para poder alcanzar el punto más lejano de la red de riego. El sistema de filtrado es el componente principal del cabezal de riego, compuesto por diferentes tipos de filtros los cuales pretende eliminar del agua partículas y elementos en suspensión, que puedan causar taponamientos en cualquier parte del sistema de riego, principalmente en los goteros.

En algunos sistemas el cabezal de riego también cuenta con un equipo de fertirriego para poder añadir el fertilizante al agua, en ocasiones, el equipo de fertilización se utiliza para introducir al agua de riego algún elemento fitosanitario, herbicida, plaguicida, etc.

Los componentes del cabezal de riego según Chipana (2009), incluye los siguientes elementos: válvulas, manómetros, filtros, inyector venturi, tanque de fertilizante y un sistema de control, estos componentes van de acuerdo a la necesidad del sistema de riego a implementarse en determinado cultivo.



Fuente: Manual Riego Goteo (2010)

Figura 4. Riego localizado y sus componentes

2.12.3.2. Sistema de filtrado en riego localizado

Fernández (2010), menciona que la obstrucción de los emisores o goteros es uno de los problemas más importantes de los sistemas de riego, que se producen a causa de partículas minerales (arena, limo y arcilla), partículas orgánicas (algas, bacterias, restos de plantas o animales), y sales que provienen de los fertilizantes añadidos, o las que están presentes en el agua.

Los filtros en un equipo de filtrado son:

Filtros de malla: son filtros que retienen todo tipo de sólidos en suspensión, las impurezas se retienen en la superficie de unas mallas dotadas de orificios de pequeño tamaño, fabricadas en material no corrosivo (acero o plástico).

Filtros de arena: estos filtros se usan principalmente para retener las partículas orgánicas en suspensión; son depósitos llenos de arena o grava por la que circula el agua quedando ésta parcialmente limpia, tienen gran capacidad de acumulación de suciedad.

2.13. Fertirriego

La fertirrigación es básicamente una técnica muy efectiva para ahorrar agua y mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes. Existe un uso muy creciente de esta técnica, por sus grandes ventajas (Usón *et al.*, 2010).

La fertirrigación significa literalmente aplicación simultánea de agua y los fertilizantes, generalmente de manera localizada y de alta frecuencia (Duarte, 2003)

Así mismo la importancia de la fertirrigación radica en obtener mayores rendimientos y mejor calidad de los cultivos, ya que el abastecimiento de nutrientes a estos se aplica a cada etapa fenológica, considerando las características climáticas y del suelo; resulta en alto rendimiento y excelente calidad de los cultivos. Esta técnica incrementa la eficiencia de los nutrientes al aplicarlos en forma exacta y uniforme solamente al volumen radicular humedecido, donde están concentradas las raíces, ésta dosificación exacta optimiza la fertilización, reduciendo el potencial de contaminación del agua subterránea causado por el lixiviado de los fertilizantes. Y mucho más importante es el adecuado uso del recurso económico.

El fertirriego es muy determinante para el desarrollo y producción del cultivo, dada la baja riqueza nutrimental del suelo (Duarte *et al.*, 2010).

2.13.1. Ventajas y desventajas del fertirriego

Según Vidal (2019), la fertirrigación al aire libre o en invernadero brinda un importante mejoramiento de los cultivos. Las principales ventajas de la fertirrigación se pueden resumir en lo siguiente:

- Reducida fluctuación de la concentración de nutrientes en el suelo a través de la estación de crecimiento.
- Facilidad de adaptar la cantidad y concentración de un nutriente específico respecto a los requerimientos del cultivo.
- Posibilidad de empleo de aguas y suelos de baja calidad: aguas y suelos salinos, suelos pedregosos, excesivamente permeables, etc.
- Posibilidad de aplicación de otros productos utilizando la infraestructura, como correctores, desinfectantes del suelo, herbicidas, nematicidas, fungicidas, reguladores del crecimiento, etc.
- Adecuado uso de mezclas de fertilizantes y/o fertilizantes líquidos balanceados con microelementos que son difíciles de distribuir en el terreno.
- Aplicación precisa de nutrientes de acuerdo a la demanda del cultivo por lo que se evita la concentración excesiva de fertilizante en el suelo y lixiviación fuera de la zona de humedecimiento.

- Aplicación de agua y fertilizantes solamente a un volumen determinado de suelo, donde las raíces están más activas, incrementándose la eficiencia del uso del fertilizante y reduciendo su impacto ambiental.
- Reducción en el tráfico de maquinaria agrícola en el campo.
- Fabricación de fertilizantes concentrados adaptados a un cultivo, agua de riego y condiciones climáticas durante todos y cada uno de los días del ciclo del cultivo.
- Fácil automatización de la fertilización

Entre las posibles desventajas y/o inconvenientes del sistema podemos citar:

- Costo inicial de la infraestructura. Sistema de inyección de fertilizantes, tanques, agitadores e inyectores.
- Obstrucción de goteros y manejos inadecuados de otros elementos de la red de riego.
- Necesidad de manejo del sistema por personal especializado. Un mal manejo de la fertirrigación puede provocar daños como: acidificación, lavado de nutrientes y/o salinización del suelo.

2.13.2. Sistema de fertirriego

La fertirrigación es una práctica inmejorable cuando se riega de manera localizada, la cual consiste en la distribución del fertilizante a través del agua de riego, es una práctica sencilla y común en el riego localizado para brindar al cultivo los nutrientes necesarios para un desarrollo óptimo (Fernández, 2010).

Los equipos de fertirrigación más usados son:

- **Tanques de fertilización:** son tanques conectados en paralelo a la red de distribución. Donde el fertilizante se integra al agua por diferencia de presión entre la salida y la entrada.
- **Inyectores tipo Venturi:** consisten en un tubo conectado en paralelo a la tubería principal con un estrechamiento donde se produce una succión que hace que el fertilizante pase a la red.

2.13.2.1. Inyectores de tipo Venturi

Su funcionamiento se basa en el efecto Venturi, que consiste en producir un estrechamiento en el flujo principal del agua para causar una depresión. Ésta resulta suficiente para

succionar la solución de nutrientes desde un depósito abierto hasta dicho flujo. (Vidal, 2019).

2.13.2.1.1. Ventajas

- Es un sistema simple y de fácil manejo.
- Es fácil de instalar, no tiene partes móviles y es particularmente conveniente para parcelas pequeñas o en caso de no disponer de energía eléctrica.

2.13.2.1.2. Desventajas

- Para que funcione el sistema se ha de producir una pérdida de carga (presión).
- Aunque se puede modificar el flujo en el Venturi por medio de válvulas, el caudal inyectado es muy sensible a la variación de presión en el sistema.

2.13.3. Fertirriego y sus técnicas

Son varias las ventajas comparativas de distintos métodos de aplicación de fertilizantes dependen del tipo de cultivo y suelo, fuente de fertilizante, nivel de nutrientes del suelo, los costos comparativos de aplicación, de los conceptos en los cuales se basa el manejo de la fertilización y la producción de cultivos, entre otros factores (Mallarino, 2005).

2.13.4. Técnicas de fertilización por fertirriego

El termino fertirrigación engloba la nutrición mineral e hídrica de los cultivos y sobre su concepto se concentra los avances técnicos que sustentan el desarrollo de la agricultura intensiva. (Usón *et al.*, 2010).

2.13.4.1. Fertilización basada en las curvas de extracción

Los nutrientes absorbidos por las plantas de tomate, varían la cantidad según la fase fenológica en la que se encuentren. La información proporcionada nos sirve para planificar el momento exacto en aplicar los fertilizantes y que dicha aplicación concuerde con la época de mayor demanda (Bolaños, 2001).

2.13.4.2. Fertilización a base de un análisis de savia

Los análisis extraídos de tejidos conductores nos permiten conocer el avance de la fertilización con la posibilidad de corregir los problemas de nutrición detectados en el

seguimiento del cultivo. Aspectos como incidencia de salinidad y excesos o deficiencias de N, P, K, Ca y Mg, pueden ser controlados con el análisis (Sarro *et al.*, 1985).

2.13.4.3. Fertilización en base al análisis de la solución del suelo

En la solución del suelo, el agua en el suelo contiene los nutrientes en una forma disponible para las plantas. La raíz de la planta puede adsorber los nutrientes solo en forma disuelta. De ahí que dichos nutrientes deben ser liberados del complejo de adsorción de la solución del suelo para ser eficientemente disponible para la planta (FAO, 2002).

La solución nutritiva contiene sales que se hallan disociadas en aniones: nitratos, fosfatos, carbonatos, etc. y cationes: calcio, potasio, zinc, etc. Los abonos son sales que cuando se incorporan al suelo, en contacto con el agua, se disocian en aniones y cationes. Por ejemplo, el cloruro potásico, (K Cl), se disocia en dos iones K y Cl y el nitrato magnésico, $Mg(NO_3)_2$, se disocia en un catión Mg^{2+} y dos aniones NO_3 (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2009).

La gran ventaja de realizar un análisis antes de la siembra es que nos brindara información simple para ver la cantidad de reserva de nutrientes en el suelo en relación con las necesidades de consumo del cultivo. El análisis se toma como referencia para una recomendación de la cantidad de fertilizantes a aplicar. por lo tanto, estas recomendaciones se elaboran para corregir la fertilidad del suelo y así poder alcanzar el máximo rendimiento intentando al mismo tiempo evitar un impacto negativo sobre el ambiente y permitiendo al productor ahorrar dinero (Fontanetto y Bianchini 2010).

Basado en el balance nutrimental, se estudia la oferta (del suelo) y la demanda de cada nutriente del cultivo a fin de recomendar una aplicación adecuada de los fertilizantes (Fontanetto y Bianchini 2010).

2.13.4.4. Fertilización en base a metas de rendimiento

El poder contar con una composición nutrimental de referencia, asociada a rendimientos, facilita los procesos para diagnosticar correctamente el estado nutrimental y recomendar la aplicación adecuada de fertilizantes para no sobre fertilizar en cultivo (Blanco *et al.*, 2006).

La dosis de fertilización se define, primeramente, es necesario definir la meta de rendimiento que deseamos alcanzar por el producto. A partir de ahí se define la demanda

meta de nutrientes. En la definición de la meta de rendimiento entra en consideración la experiencia del productor y el historial del rendimiento del cultivo en el terreno, las condiciones físicas y químicas del suelo (compactación, conductividad, la presencia de sales y/o sodio) o físico. Esto es lo que permite definir una meta realista de rendimiento y con ello una demanda exacta del nutrimento (Castellanos *et al.*, 2000).

2.13.5. Fertilizantes para fertirriego

Vidal (2019), menciona que los fertilizantes minerales aplicados adecuadamente y de manera equilibrada permite obtener rendimientos mayores y de mejor calidad. Una de las formas de lograr un equilibrio nutritivo en el suelo, es la aplicación de los fertilizantes minerales a través de los sistemas de fertirrigación. Al considerar las características químicas del suelo y el agua de riego y el comportamiento de los fertilizantes al incorporarlos al sistema, se está haciendo un uso óptimo, y equilibrado de los fertilizantes.

Un aspecto a considerar es la compatibilidad entre los productos que se incorporan en la solución madre, los cuales pueden reaccionar entre sí o con los elementos contenidos en el agua de riego y formar compuestos insolubles precipitados. Otro de los aspectos a considerar es el carácter ácido o alcalino (básico) del fertilizante a disolver, ya que esta reacción tendrá influencia en la solubilización o insolubilización de los precipitados. Finalmente, tomar en cuenta que al disolver los fertilizantes en el agua se incrementa la conductividad eléctrica de la solución del suelo pudiendo sobrepasar los límites de tolerancia de las plantas (Vidal, 2019).

2.13.5.1. Definición de fertilizante

El fertilizante se define como un producto químico, en este caso inorgánico, que aporta elementos nutritivos para las plantas, y que como producto químico es una sal inerte sin carga, que al mezclarse con el agua (ya sea del suelo o de una solución nutritiva) se disocia en cationes y aniones (Vidal, 2019).

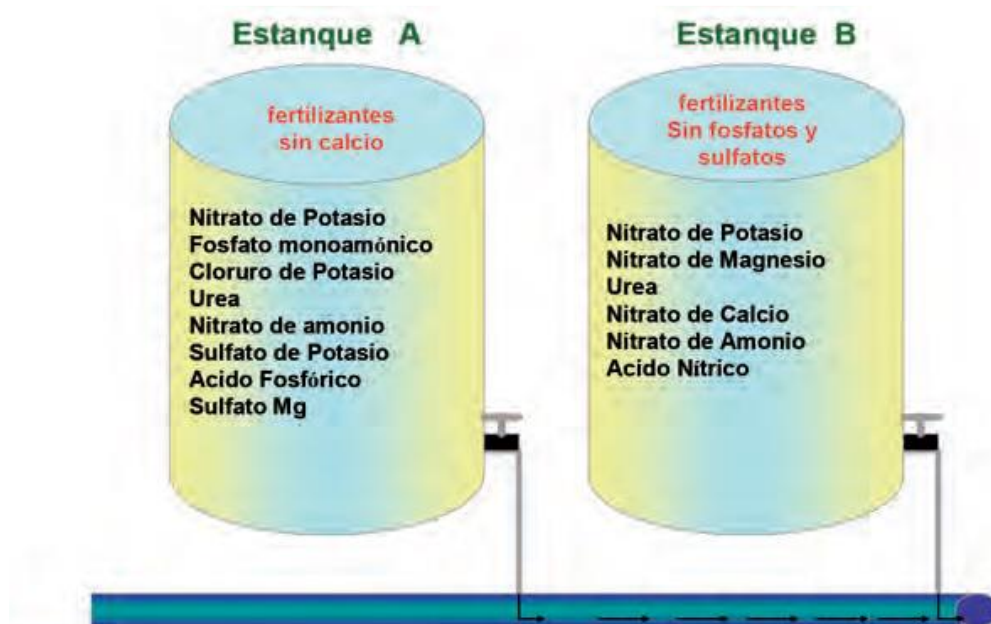
2.13.5.2. Características generales de los fertilizantes para fertirriego

Se mencionan, tres importantes características de los fertilizantes, que influyen en un adecuado manejo del fertirriego: La composición química, la pureza, la solubilidad, y el pH.

2.13.5.3. Solubilidad y compatibilidad

Según Vidal (2019), la fertirrigación exige que los fertilizantes sean solubles, con una solubilidad superior a 100 g/L, dejando un mínimo de impurezas inferior a 0,5%; que sean compatibles entre ellos, para que no reaccionen formando precipitados que pudiesen obstruir los emisores, y que sean compatibles con los iones contenidos en el agua de riego y con su pH. Como norma general, el ión sulfato es incompatible con el calcio, al igual que los fosfatos.

Para evitar precipitaciones en la preparación de las soluciones madres, se debe disponer a lo menos de dos estanques y seguir la siguiente recomendación: En estanque A disolver los fertilizantes sin calcio y en estanque B, disolver aquellos fertilizantes sin fosfatos y sulfatos (Figura 5).



Fuente: Vidal, 2019

Figura 5. Compatibilidad de los fertilizantes.

La solubilidad, es la cantidad máxima del fertilizante que puede ser completamente disuelta en un volumen determinado de agua. La solubilidad de la mayoría de los fertilizantes aumenta con la temperatura del agua. Por ejemplo, el nitrato de potasio en el agua a 5°C permite disolver 133 gramos por litro, en tanto, si el agua tiene 20°C su disolución se incrementa a 209 gramos por litro.

2.13.5.4. Efecto de los fertilizantes sobre el pH

Una vez disueltos los fertilizantes pueden alterar el pH de la solución en los estanques. Este efecto ocurre como consecuencia de la reacción del ión con el agua o debido a la presencia de ácidos en el proceso de fabricación del fertilizante.

2.13.5.5. Efecto de los fertilizantes sobre la conductividad eléctrica (CE)

Vidal (2019), menciona que después de conocer el programa de fertirriego a aplicar y los fertilizantes a emplear, resulta necesario el conocimiento de la CE generada con esa mezcla de fertilizantes y agua de riego. Lógicamente, lo más preciso es medir directamente la CE generada. Aunque esto raramente se realiza en el campo por la premura de tiempo y, en algunos casos, por no contar con el instrumento necesario.

2.13.5.6. Fertilizantes comúnmente empleados en fertirrigación

Cuadro 5. Macronutrientes formulas, solubilidad en agua, composición nutricional y peso de producto a disolver para preparación de soluciones nutritivas.

Fertilización	Concentración de nutrientes (%)	Cantidad máxima a disolver en un estanque de 1000 Litros de capacidad
Ácido fosfórico (85%)	61% P_2O_5	100 litros
Ácido nítrico (15.5% N)	15,5% N	100 litros
Cloruro de potasio	60% K_2O	250 kilos
Fosfato de urea	18% N - 44 P_2O_5	200 kilos
Fosfato monoamónico	12% N – 61 P_2O_5	200 kilos
Fosfato monopotásico	52% P_2O_5 – 34% K_2O	200 kilos
Nitrato de amonio	33% N	350 kilos
Nitrato de calcio	15.5% N – 26% CaO	200 kilos
Nitrato de magnesio	11% N – 16% MgO	250 kilos
Nitrato de potasio	13,5% N – 46% K_2O	120 kilos
Sulfato de amonio	21% N – 22% S	120 kilos
Sulfato de magnesio	16% MgO – 13% S	100 kilos
Sulfato de Potasio	50% K_2O – 18% S	100 kilos
Urea	46% N	350 kilos

Fuente: Vidal (2019)

Según Vidal (2019), define como un producto químico, en este caso inorgánico, que aporta elementos nutritivos para las plantas, y que como producto químico es una sal inerte sin carga, que al mezclarse con el agua (ya sea del suelo o de una solución) se disocia dejando nutrientes en forma iónica, es decir elementos con carga negativa (aniones) o con carga positiva (cationes), en el Cuadro 6 tenemos algunos ejemplos:

Cuadro 6. Ejemplo de disociación iónica de algunos fertilizantes de uso común

Fertilizante	Iones cargados después de la hidrólisis	
NH ₄ NO ₃ (Nitrato de amonio)	NH ₄ ⁺ (Cación Amonio)	NO ₃ ⁻ (Anión Nitrato)
KH ₂ PO ₄ (Fosfato monopotásico)	K ⁺ (Cación Potasio)	H ₂ PO ₄ ⁻ (Anión Fosfato)
NH ₄ H ₂ PO ₄ (Fosfato monoamónico)	NH ₄ ⁺ (Cación Amonio)	H ₂ PO ₄ ⁻ (Anión Fosfato)
H ₃ PO ₄ (Ácido Fosfórico)	H ⁺ (Cación Hidrógeno)	H ₂ PO ₄ ⁻ (Anión Fosfato)
KCl (Cloruro de Potasio)	K ⁺ (Cación Potasio)	Cl ⁻ (anión cloruro)
KNO ₃ (Nitrato de Potasio)	K ⁺ (Cación Potasio)	NO ₃ ⁻ (Anión Nitrato)
K ₂ SO ₄ (Sulfato de Potasio)	K ⁺ (Cación Potasio)	SO ₄ ⁻² (Anión Sulfato)

Fuente: Vidal (2019).

Vidal (2019), confirma que producir alimentos es la más importante actividad humana y los fertilizantes son responsables del 40% de la producción mundial de alimentos. Es decir, para disponer de la cantidad de alimentos que actualmente se produce, sin fertilizantes, sería necesario el doble del área de suelos cultivados en la actualidad. Conjuntamente informa que, en los últimos 50 años, la utilización de fertilizantes se ha incrementado casi 10 veces, llegando actualmente a más de 180 millones de toneladas. La disyuntiva que se presenta para los próximos 20 años es: ¿Que hacer para reponer los requerimientos de los cultivos y mantener un balance de nutrientes?; ¿Cómo aprovechar el potencial genético de nuevas variedades?; ¿Cómo maximizar la utilidad y minimizar costos por tonelada producida? La respuesta no es la utilización de más fertilizantes, sino que el empleo de fertilizantes más eficientes e incorporación de nuevas tecnologías que permitan la optimización de la nutrición de los cultivos tales como la fertirrigación.

2.14. 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 (Paye, 2010).

De esta manera la solución nutritiva contiene elementos esenciales para la planta que son 17 elementos de, macro elementos (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S) y micro elementos (Fe, Cu, Mn, Mo, Cl, B, Zn y Ni).

2.14.1. Conductivas eléctrica (CE)

La CE para el desarrollo de los cultivos oscila en un rango óptimo de 1.5 – 2.5 μ mhos/cm. o mS/cm (Paye, 2015).

2.14.2. pH (potencial de hidrogeno)

Para un adecuado desarrollo de los cultivos el pH oscila en un rango entre 5.5 - 6.8, en la cual los nutrientes están disponibles para la planta.

2.14.3. Oxígeno

La falta de oxigenación produce fermentación y como resultado la pudrición de las raíces originada por la aparición de microorganismos (Paye, 2015).

2.15. Requerimientos Edafoclimáticos del cultivo del tomate

El manejo adecuado de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el desarrollo fisiológico del cultivo.

2.15.1. Temperatura

El principal componente del ambiente es la temperatura del aire que interviene en el crecimiento vegetativo, desarrollo de racimos florales, el cuaje de frutos, desarrollo de frutos, maduración de los frutos y la calidad de los frutos (CENTA, 2002).

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

Los rangos de temperatura óptimos para un desarrollo adecuado del cultivo oscilan entre los 28 – 30°C durante el día y 15 – 18°C durante la noche. Temperaturas de más de 35°C y menos de 10°C durante la floración provocan caída de flor y limitan el cuajado del fruto. Temperaturas inferiores a 15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta (Disagro, 2001).

Jano (2006), a su vez menciona que las temperaturas son importantes, para el crecimiento y desarrollo del cultivo ya que temperaturas inferiores a 12 - 15 °C pueden perjudicar la producción de manera drástica, además que, a temperaturas superiores a 25°C pueden perjudicar en la fecundación cuando el cultivo está en floración.

La temperatura biológica del tomate es de 21 °C, soportando temperaturas mínimas y máximas que generalmente oscila de 10 a 35 °C (Paye, 2015).

2.15.2. Humedad

La humedad óptima oscila en un 60 y 80%, humedades relativas muy elevadas favorecen en 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, también una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Jano, 2006).

La humedad atmosférica dentro de un invernadero (carpa solar) interviene en la transpiración, crecimiento de tejidos, fecundación de las flores y desarrollo de enfermedades criptogámicas. En su mayoría 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 proliferación de enfermedades se constituye en un serio problema (Paye, 2015).

2.15.3. Fotoperiodo

El cultivo de tomate se comporta como una planta indiferente al fotoperiodo en relación a la fructificación, un fotoperiodo de 16 horas afecta favorablemente el crecimiento con respecto a otros más cortos (Vigliola, 1992).

Menezes (1992), menciona que el tomate es indiferente al fotoperiodo, desarrollándose tanto en épocas de días cortos como en días largos la importancia de la luz como factor de producción está asociada con su duración intensidad y longitud de onda.

Cultivos sometidos a altas intensidades de luminosidad generalmente presentan plantas con enrollamiento fisiológico de las hojas inferiores, a su vez la luz, promueven el tenor de vitamina C de los frutos, una suplementación de la iluminación durante la propagación de los trasplantes anticipa la floración y aumenta el número de flores y frutos.

Los valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma sobre los procesos de floración, fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta, en los momentos críticos durante el periodo vegetativo, resulta crucial la interrelación entre la temperatura diurna, nocturna y la luminosidad (CENTA, 2002),

2.15.4. Suelo

El tomate se puede cultivar sin problemas en una amplia gama de suelos logrando precocidad, en los suelos francos o franco arenoso, en los suelos pesados para mejorar su estructura se debe abonar, el tomate responde al agregado de materia orgánica, aplicándose en lugares cuya disponibilidad y costo lo permitan. (Disagro, 2001).

2.15.5. Ventilación en ambiente atemperado

En el interior del invernadero el intercambio del aire con la atmósfera, es fundamental para incorporar CO₂, 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.*, (1994) a su vez indica que la ventilación es el procedimiento de renovar el aire dentro del invernadero y así mismo afecta simultáneamente sobre la temperatura, la humedad relativa y el porcentaje de dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂), la ventilación puede ser de manera natural o mecanizada.

2.15.6. El pH

El **pH** (potencial de hidrogeno) optimo fluctúa entre **5,5 y 6,8** es tolerante a la acidez, decrece la producción con salinidad y alcalinidad elevadas responde al agregado de soluciones ricas en Fosforo (18-46-0) en siembra directa o trasplante (Disagro, 2001)

2.16. Labores culturales

2.16.1. Preparación del terreno

Rodríguez (1989), menciona que un suelo bien preparado es un factor muy importante para obtener buena producción, ya que un suelo bien preparado favorece el desarrollo de la planta, debiendo realizar una labor profunda de arado e incorporar abono que estará en función previo al análisis de suelo.

La adición de mulch ayuda a conservar la temperatura y humedad del suelo, cuando se presentan variaciones y además favorece a la conservación y el movimiento del agua hacia la zona de las raíces (Dogliotti, 2003),

2.16.2. Fertirrigación

SEMTA (1984), menciona que la aplicación de fertilizantes debe hacerse en base a resultados de análisis de suelos, los requerimientos del cultivo de tomate son:

El nitrógeno (N) es utilizado por las plantas, para sintetizar aminoácidos formación de clorofila, proteínas, desarrolla follaje y tallos. El exceso provoca plantas muy frondosas con grandes hojas de color verde. El fosforo lo contienen las semillas, frutos y tejido meristemático, es soluble y relativamente móvil.

Está presente en los ácidos nucleicos e interviene en la transferencia de energía química, La deficiencia provoca plantas pequeñas, leñosas, sus hojas se amarillan en los márgenes y toman una coloración morada. El exceso induce a un crecimiento vigoroso y elevada formación de flores y frutos.

El Potasio (K) es un agente catalizador se localiza en los tejidos meristemáticos y en el mesófilo de las hojas, es sumamente móvil, incrementa la calidad de los frutos, promueve mayor resistencia a heladas y enfermedades.

La falta de K es amarilla miento y quemado de los márgenes de hojas enrollamiento de las hojas hacia arriba, menos floración y frutos con cáscara muy acida y dura. La abundancia provoca entrenudos largos y hojas de color verde pálido.

El Calcio (Ca), es un componente esencial en la formación de la pared celular, influye en la síntesis de proteínas. El exceso generalmente no produce efectos tóxicos directos, así

mismo el Magnesio (Mg) actúa como transportador del fósforo dentro de la planta, el Mg abunda en hojas y semillas.

La carencia de Mg provoca un moteado amarillento entre las nervaduras de hojas jóvenes, afecta el rendimiento de los frutos. Un exceso muy marcado es un menor desarrollo y rendimiento de flores, hojas de color verde oscuro con menor tamaño.

Azufre (S), el azufre funciona como material formador de varias proteínas, favorece el crecimiento radical y mejora el suministro de clorofila.

La manifestación de deficiencia se presenta en la parte superior de la planta, las nervaduras de hojas se tornan amarillas mientras que el resto de la hoja permanece verde.

Cuadro 7. Requerimientos nutricionales del tomate

Elemento	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre
kg/ha	170	25	275	150	25	22

Fuente: SEMTA, 2002.

Meneces (1992) , el tomate exige niveles de nutrición mineral apropiadas, las deficiencias de fosforo atrasan el desarrollo de los trasplantes y retardan la diferenciación de las yemas florales resultando en una disminución del número de frutos por planta una carencia de nitrógeno reduce el crecimiento de la parte aérea de la planta y limita la producción de frutos, el potasio es esencial para un buen desarrollo de cultivo , este elemento tiene importancia preponderadamente en la firmeza y la calidad del fruto, e influye en la uniformidad de la maduración , las plantas deficientes de potasio son menos rojos y firmes.

Cuando maduran presentan paredes más delgadas, y lóculos no totalmente llenos por el tejido placentario, el calcio magnesio, azufre, y boro son igualmente importantes para el cultivo y exigen niveles suficientes para mantener un buen desarrollo de la planta y de los frutos.

2.16.3. Plantación

Disagro (2001), el marco de plantación se establece en función del porte de la planta a su vez dependerá de la variedad comercial cultivada. El más frecuentemente empleado es de 1.5 m entre líneas y 0.5 m entre plantas, aunque cuando se trata de plantas de porte medio

es común, aumentar la densidad de plantación a 2 plantas por metro cuadrado con marcos de 1m x 0,5m.

CNPSH (2005), indica que la selección de plántulas extraídas del almacigo de tejido consistente capaces de resistir el estrés del trasplante, cuando tienen entre 3 a 4 hojas verdaderas y/o una altura de 20 cm aproximadamente a los 45 días, la densidad de plantación es variable, desde 10.00 a 180.m y 0.25 a 0.50 m entre plantas, según la variedad iluminación, vientos.

2.16.4. Aporcado

Disagro (2001), práctica que se realiza en suelos enarenados tras la poda de formación, con el fin de favorecer la formación de un mayor número de raíces, y que consiste en cubrir la parte inferior de la planta con arena. El rehundido es una variante del aporcado que se lleva a cabo doblando la planta, tras haber sido ligeramente rascada, hasta que entre en contacto con la tierra, cubriéndola ligeramente con arena, dejando fuera la yema terminal y un par de hojas

2.16.5. Poda de formación

Disagro (2001), es una práctica común en cultivares de mesa de crecimiento indeterminado y consiste en la eliminación de los brotes de crecimiento nuevos, para manejar solo los brotes seleccionados, dejando 2 o 3 ejes principales; en algunos casos se acostumbra podar flores y frutos con el objetivo de uniformizar el tamaño de los frutos y que éstos ganen peso. También la poda puede, realizarse para eliminar hojas dañadas por enfermedades, a esta poda se le llama poda sanitaria.

CNPSH (2005), es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realiza a los 15-20 días del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación del cuello y facilitando la realización del aporcado. Así mismo se determinará el número de brazos (tallos) a dejar por planta. Son frecuentes las podas a 1 o 2 brazos, aunque en tomates de tipo Cherry suelen dejarse 3 y hasta 4 tallos

2.16.6. Tutorado

CNPSH (2005), esta actividad consiste en ponerle un sostén a las plantas para el mejor manejo del cultivo y mayor aprovechamiento de los frutos. El apoyo y colocación de los tutores se realiza inmediatamente después del trasplante una vez que la planta alcanza una altura de 35 a 50 cm, los tutores deben medir 2.5 metros o más dependiendo de la altura de la variedad y deben colocarse con un distanciamiento de 3 metros entre cada uno.

Las plantas se sostienen con hileras de alambre galvanizado o pita de nylon las cuales deben colocarse según el crecimiento de la planta cada 30 centímetros, es importante que las guías se vayan ordenando para evitar su caída.

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallado, recolección, etc.).

Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

La sujeción suele realizarse con hilo de polipropileno (rafia) sujeto de un extremo a la zona basal de la planta (liado, anudado o sujeto mediante anillas) y de otro a un alambre situado a determinada altura por encima de la planta (1,8-2,4 m sobre el suelo). Conforme la planta va creciendo se va liando o sujetando al hilo tutor mediante anillas, hasta que la planta alcance el alambre. A partir de este momento existen tres opciones.

2.16.7. Deshojado

Disagro (2001), es la eliminación de hojas enfermas y senescentes esto para la facilitación de la aireación y mejorar el color de los frutos, evitando así la fuente de inóculo. A esta práctica se añade el despunte de inflorescencias y aclareo de frutos con el fin de homogeneizar, y aumentar el tamaño y calidad de los frutos restantes. Es recomendable tanto en las hojas senescentes, con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, eliminando así la fuente de inóculo. Infoagro.com (2005),

2.16.8. Destallado

Consiste en la eliminación de brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal. Debe realizarse con la mayor frecuencia posible (semanalmente en verano-otoño y cada 10-15 días en invierno) para evitar la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa y la realización de heridas. Los cortes deben ser limpios para evitar la posible entrada de enfermedades. En épocas de riesgo es aconsejable realizar un tratamiento fitosanitario con algún fungicida-bactericida cicatrizante, como pueden ser los derivados del cobre (CNPSH, 2005).

Jano (2006), consiste en la eliminación de brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal. Debe realizarse a primeras horas del día, con la mayor frecuencia posible variando entre 7 a 15 días.

2.16.9. Riego por goteo

Disagro (2001), es importante la buena distribución del riego durante todo el ciclo del cultivo, principalmente antes de la formación de frutos. El consumo diario de agua por planta adulta de tomate es de aproximadamente 1.5 a 2 l./día, la cual varía dependiendo de la zona, las condiciones climáticas del lugar el riego por goteo se aplica para no tener pérdida de agua.

Para la FAO (2013), El consumo de agua en esta etapa es de 1 litro por día por planta, pudiendo regar de una vez 2 a 3 litros de agua por planta cada 2 o 3 días.

2.16.10. Cosecha

CENTA (2002), al momento de la cosecha se debe considerar el grado o índice de madurez. Se distinguen dos tipos de madurez: la fisiológica y la comercial. La primera se refiere cuando el fruto ha alcanzado el máximo crecimiento y maduración. La segunda es aquella que cumple con las condiciones que requiere el mercado

2.17. Plagas y enfermedades

2.17.1. Plagas

El tomate es una especie muy sensible al ataque de plagas y enfermedades, la incidencia y severidad del ataque depende del tipo de patógeno o plaga ocurrente, las condiciones del clima, suelo y principalmente de la susceptibilidad del cultivar utilizado, entre las principales

plagas tenemos. Entre las plagas más comunes se encuentran. La mosca blanca, la polilla del tomate, Trips, Arañuelas (Villarreal; David, 1997)

a) La Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

Es el mayor problema dentro de los invernaderos, su ciclo biológico se conforma de jebecillo, ninfa. Los daños directos (amarillamientos y debilitamiento de las plantas) son ocasionados por larvas y adultos al alimentarse, absorbiendo la savia de las hojas. Control químico se aplica productos piretroides como Cipermetrin, sistémicos como Confidor y Endosulfan para control de adultos.

b) Polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick)

Esta plaga es muy prolífica y los daños se presentan principalmente en las hojas donde hace unas galerías observables a simple vista. Además de las hojas, la polilla afecta también al fruto ya sea verde o maduro produciendo perforaciones y "galerías" en su interior:

La hembra pone los huevos en el anverso de las hojas de forma aislada, pero también se pueden encontrar en otros órganos de la planta. Una hembra pone entre 40-50 huevos durante su vida, llegando en algunas ocasiones hasta los 260 huevos. Las larvas penetran en los frutos, en las hojas o en los tallos de los que se alimentan, creando perforaciones y galerías.

Los frutos pueden ser atacados desde su formación, pudiendo dar lugar a que se pudran posteriormente por la acción de patógenos secundarios, lo que permite una rápida observación de los síntomas, sobre las hojas las larvas se alimentan únicamente del tejido del mesófilo. Utilizar trampas de color amarillo, para atrapar a los adultos, destruir los restos de plantas al finalizar el ciclo de producción utilizar productos químicos como emulsionables (spinosad, alfacipetmetrina)

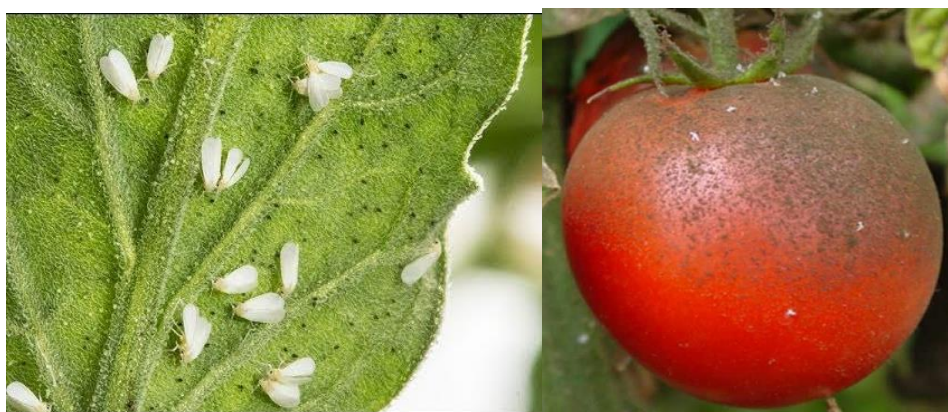
c) Pulgón (*Aphisgossypii* Sulzer)

Son las especies de pulgón más comunes y abundantes en los invernaderos, forman colonias y se alimentan chupando la savia de los tejidos, se distribuyen en focos que se dispersan, principalmente en primavera y otoño, mediante las hembras aladas. Los síntomas son deformaciones y abolladuras en las hojas de la zona de crecimiento, la forma

de control y eliminación de malas hierbas y restos del cultivo anterior. Eliminar malezas hospederas dentro y fuera de la plantación adecuada fertilización, plantas bien desarrolladas son capaces de soportar el ataque de esta plaga.

d) Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Los daños directos se producen por la alimentación de larvas y adultos, sobre todo en el envés de las hojas, dejando un aspecto plateado en los órganos afectados que luego se necrosan. El daño indirecto es el que acusa mayor importancia y se debe a la transmisión del Virus del bronceado del tomate.



Fuente: Inia (2018)

Figura 6. La Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)



Fuente: Wiquipedia (2018)

Figura 7. La polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick)



Figura 8. Trips (*Frankliniella occidentalis*)

2.17.2. Enfermedades

Según Villarroel y David (1997), en Bolivia las enfermedades más comunes del tomate son el Mosaico del tomate ocasionado por el virus del tabaco y virus del mosaico del pepino, podredumbre del fruto y mancha negra (*Glomerella cingulata*), el Mildiu del tomate (*Cladosporium fulvum*). Antracnosis del tomate (*Colletotrichum gloesporioides*), Pudrición del fruto (*Aspergillus sp.*), podredumbre de los brotes florales, hojas tallos y frutos Mancha foliar (*Septoria lycopersici*) Tizón Temprano (*Alternaria solani*) y Tizón tardío (*Phytophthora infestans*).

a) Tizón temprano (*Alternaria solani*)

En el cultivo las lesiones aparecen tanto en hojas como tallos, frutos y peciolo se producen manchas pequeñas circulares o angulares, con marcados anillos concéntricos, en tallo y peciolo se producen lesiones negras alargadas en la que se pueden observar a veces anillos concéntricos.

Los frutos son atacados a partir de las cicatrices del cáliz, provocando lesiones pardo-oscuros ligeramente deprimidas y recubiertas de numerosas esporas del hongo. La forma de control es eliminación de malas hierbas, plantas y frutos enfermos., manejo adecuado de la ventilación y el riego, utilizar semillas sanas o desinfectadas y plántulas sanas, usar variedades resistentes, rotación de cultivos, eliminar residuos de cosecha.

b) Tizón tardío (*Phytophthora infestans*).

Las esporas (como polvo) se transportan a largas distancias por el viento y las lluvias. Las condiciones de humedad y frío favorecen su desarrollo, el cual puede incrementarse al

utilizar riego por aspersión. Usualmente el primer síntoma es el doblamiento hacia abajo del pecíolo de las hojas enfermas. Aparecen manchas verdes-marrones y acuosas en hojas, pecíolos, tallos, causando la muerte de la planta, en los frutos presentan lesiones de aspecto grasoso.

Es necesario emplear variedades más resistentes, realizar podas sanitarias y eliminación de las hojas enfermas, realizar rotación de cultivos eliminación de plantas y frutos enfermos, manejo adecuado de la ventilación y el riego, utilizar plántulas sanas.



Fuente: Infoagro (2015)

Figura 9. Tizón temprano (*Alternaria solani*)



Fuente: Maydana R. (2007)

Figura 10. Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

c) Viruela del tomate (*Septoria lycopersi*)

Los síntomas más típicos, aparecen manchas redondas, oscuras con el centro más claro. Las manchas son rodeadas poniendo amarillo a toda la planta. La humedad y las temperaturas altas de 20 a 25 °C son los factores ideales para el desarrollo de la

enfermedad, la forma de control. Las semillas tienen que estar libres de patógenos desinfectados, la rotación de cultivos, eliminación de restos de la cosecha en lugares que mostraron incidencias. El control adecuado del sistema de riego y buena densidad de siembra, y la aplicación del fungicida como método preventivo.

d) Oidio, Ceniza u Oidiopsis (*Leveillula taurica*)

Manchas amarillas en el haz que se necrosan por el centro, observándose un polvillo blanquecino por el envés. En caso de fuerte ataque la hoja se seca y se desprende pudiendo llegar a provocar importantes defoliaciones para el mejor control de esta enfermedad, eliminar malas hierbas y restos de cultivo porque es reservorio de esporas. Control químico, por ejemplo, con azufre

e) Fusarium (*Fusarium oxysporum*)

Esta es la enfermedad más distribuida en el país, suele ser muy destructiva sobre todo cuando no se practica la rotación de cultivos, el primer indicio de esta enfermedad, aparece durante la floración o formación de los primeros frutos como un amarillamiento en las hojas inferiores, las cuales se van marchitando permaneciendo adheridas. la forma de control más efectiva es el uso de variedades resistentes a esta enfermedad, eliminar las plantas enfermas y restos de cultivo.



Fuente: Infoagro (2015)

Figura 11. Fusarium (*Fusarium oxysporum*)

2.18. Ambientes atemperados (Invernadero)

Un ambiente atemperado o invernadero, es una estructura o construcción cubierta y abrigada artificialmente con plástico u otros materiales, en cuyo interior es posible regular manual o automáticamente las condiciones medio ambientales para garantizar el desarrollo óptimo de una o varias especies cultivadas (Riaño, 1992).

Bernat *et al.* (1994), considera que un invernadero es una edificación arquitectónica cuyo objetivo principal es proteger y prolongar el período de cultivo y cosecha de hortalizas débiles, frutales y plantas ornamentales, de condiciones ambientales adversas (fuertes lluvias, vientos, temperaturas extremas, plagas y enfermedades).

Los cultivos bajo invernaderos son considerados un sistema de producción intensiva que requiere en forma permanente de habilidades del productor para controlar y manejar los diferentes ciclos, la cosecha y la manipulación de la planta (Bernat *et al.*, 1994).

2.18.1. Ventajas de la producción en ambientes atemperados

La producción de cultivos hortícolas bajo ambiente atemperado presenta las siguientes ventajas:

- Los cultivos son más precoces, lo cual permite adelantar el inicio de la producción o también alargar el período de cosecha. Al aumentar la temperatura del suelo el cultivo se desarrolla y produce con mayor rapidez (Balcaza y Fernández, 1992).
- Los invernaderos funcionan como un tanque almacenador de temperatura, el cual durante el día acumula energía calórica que es utilizada por la planta para los procesos fisiológicos (Bernat *et al.*, 1994).
- Al disminuir la evaporación se reducen las pérdidas de humedad del suelo dentro del invernadero. El agua que se evapora del suelo se condensa en el techo y cae nuevamente cerrando así el ciclo, lo que permite mayor uniformidad de la humedad y se logra con esto distanciar la frecuencia de riego. El agua que se pierde es la absorbida por la planta a través de sus raíces (Serrano, 1997).
- En un invernadero se busca de forma sustancial reducir costos fijos (mano de obra), aumentando los rendimientos por área con un número limitado de empleados que manejen de forma adecuada el área en producción.

- Los productos obtenidos son de mayor calidad y tamaño; este parámetro es determinante en los mercados al momento de comercializarlos (Balcaza y Fernández, 1992).

2.18.2. Desventajas de la producción en ambientes atemperados

Entre las desventajas que presentan los invernaderos o ambientes atemperados, se destacan las siguientes:

- Los cultivos manejados bajo condiciones de invernadero presentan problemas de resistencia de plagas, las cuales se adaptan a las condiciones ambientales y no responden a los productos que se utilizan para su control (Larraín, 1992).
- Aumento en los costos de producción por el uso inadecuado de plaguicidas y fertilizantes, debido al desconocimiento de los problemas fitosanitarios más importantes (Salazar y Castro, 1994).
- Altos costos de inversión del establecimiento de la infraestructura, mantenimiento y operación; lo que limita la implementación de este tipo de tecnología (Bernat *et al.* 1994).

2.19. Importancia de la producción de hortalizas en ambientes atemperados en el Altiplano

El clima del altiplano boliviano es frío debido a su ubicación geográfica, su elevación promedio de 3800 m.s.n.m. y su temperatura promedio de 6.5° C. Después del factor agua, las heladas constituyen en el altiplano la mayor limitante para la agricultura (Montes de Oca, 1982). En el altiplano son frecuentes los fenómenos climáticos que ponen en riesgo y provocan pérdidas de cultivos (Avilés, 1992).

Los ambientes atemperados constituyen una alternativa al problema de la producción en el altiplano y a la excesiva presión sobre la tierra. También constituyen una tecnología apropiada por sus características de uso de mano de obra intensiva, de uso fácil y de costos relativamente bajos, puesto que se busca el uso de materiales locales (Avilés, 1992).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Estación Experimental de Kallutaca, dependiente de la Universidad Pública y Autónoma de El Alto (UPEA), ubicada en la provincia Los Andes, segunda sección municipal de Laja del departamento de La Paz, a 20 km de la Sede de Gobierno (Figura, 12). Geográficamente se encuentra situada a longitud Oeste 16° 26' 19.00" y 16° 46' 15.11" latitud Sur: 68° 19' 49.18" y 68° 29' 49.81 y 3800 msnm (IGM, 2006).

3.1.2. Características Edafoclimáticas

3.1.2.1. Clima

El clima por el sector de Laja es un factor determinante dentro de la actividad agropecuaria, no es posible realizar actividades agrícolas durante la época seca y fría, inclusive puede afectar a los cultivos protegidos (invernaderos) por las temperaturas extremadamente mínimas.

3.1.2.1.1. Temperatura Máxima y Mínima

Para el área de kallutaca la temperatura promedio anual alcanza los 8.4 °C., con un promedio de máximas de 15.7°C. y un promedio de mínimas de -2.8 °C (SENAMHI, 2016).

3.1.2.1.2. Precipitación pluvial

En el municipio de Laja, la precipitación promedio anual llega a los 667 mm., en los meses de lluvia que comprenden entre noviembre a marzo, si bien las primeras lluvias se registran en septiembre y pueden extenderse hasta abril. El promedio de precipitación máxima anual llega a los 911 mm y mientras que el promedio mínimo es de 404 mm (SENAMHI, 2016).

3.1.2.2. Suelo

PTDI-LAJA (2016-2020), El uso del suelo se da principalmente para fines agropecuarios; ya sea para el pastoreo de ganado y cultivos agrícolas. El espacio de los suelos es

destinado de acuerdo a las tradiciones y costumbres de las familias, siendo estos suelos para cultivo, para pastoreo de los animales y/o viviendas; esta ocupación se puede apreciar en toda la sección municipal.

En sectores bajos o planos susceptibles a inundaciones en la temporada de lluvias, se da preferencia para cultivar las tierras, mientras que, en los sectores elevados prefieren los pastizales naturales; sin embargo, estas preferencias no son absolutas, ya que en ambos espacios son usados tanto para cultivos agrícolas como para las pasturas naturales.

3.1.3. Vegetación

PTDI-LAJA (2016-2020), en el municipio de Laja la vegetación nativa en su gran mayoría es arbustiva y más que un aprovechamiento en términos de volúmenes, se tiene una extracción selectiva con fines de uso doméstico (leña). La vegetación existente es rala y se concentra en las zonas de piedemonte y serranía, existiendo especies introducidas principalmente arbóreas adaptadas a los factores geomorfológicos y climatológicos de la región.

3.1.4. Fauna

Entre los mamíferos más importantes, está el zorro (*Lycalopex culpaeus*), zorrino (*Conepatus chinga*), liebre (*Orytalagus cuniculus*), de reciente aparición y que se ha convertido en una plaga principalmente de los granos y hortalizas.

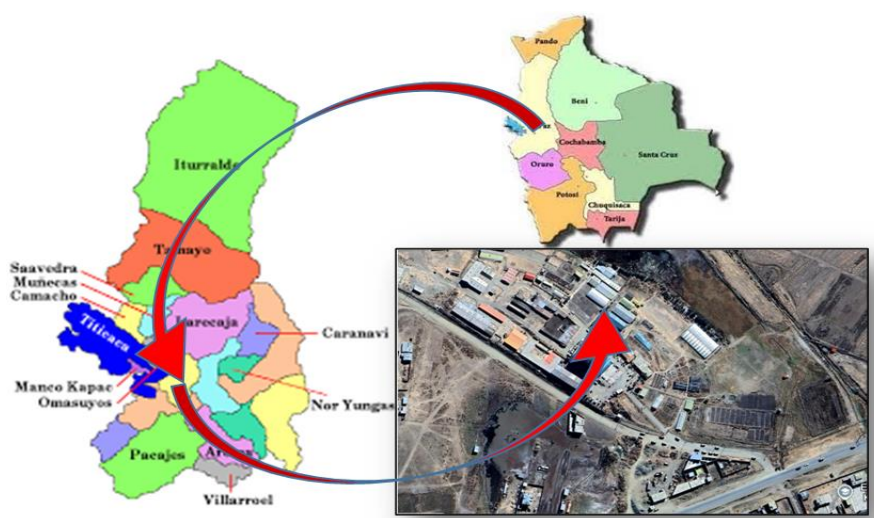


Figura 12. Ubicación geográfica del lugar donde se llevó la investigación (Earth, 2023)

3.2. Materiales

3.2.1. Ambiente protegido (Invernadero)

El ambiente protegido o invernadero, es de tipo túnel, con una medida de 25 m de largo y 14 m de ancho, el alto en la parte media es de 5,5 m y la parte lateral tiene una altura de 1.8 m, el cual fue construido con puntales de acero galvanizado, los cuales fueron cubierto con Agro film blanco de 280 micrones.

La infraestructura ocupa una superficie de 350 m², conformada por puerta frontal para el acceso de los obreros o investigadores.

3.2.2. Material genético

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

- Tomate variedad Rio Grande

Características:

- Tipo: Indeterminado
- Ciclo: 100 días después del trasplante (DDT)
- Forma de fruto: Perita cuadrado
- Cantidad de semilla: 200 g/ha
- Color del fruto: Rojo
- Distancia entre surcos: 1 m
- Tamaño: 8 a 10 cm
- Distancia entre plantas: 40 cm
- Peso de fruto: 150 a 170 g
- Rendimiento: 60 a 70 t/ha

3.2.3. Materiales de laboratorio

- Libro de campo
- Balanza analítica
- Balanza digital
- Calculadora
- Impresora
- Hojas bond tamaño carta (21,6*28,9 cm)
- Cámara fotografica
- Lápices
- Equipo de computación

3.2.4. Material de campo

Los materiales que se usaron para la preparación del terreno y para las labores culturales respectivas fueron:

- Peachímetro
- Conductivímetro
- Refractómetro
- Calibrador vernier
- Carretilla
- Medidor de CO₂
- Hilo de tutoraje
- Termómetros
- Luxómetro
- Envases de polietileno
- Balanza
- Cintas de goteo
- Material de jardinería
- Fumigadora
- Cinta métrica
- Tijera
- Callapos
- Alambre galvanizado
- Letreros de identificación

3.2.5. Materiales de insumos (fertilizantes hidrosolubles)

Para la preparación de las soluciones nutritivas se emplearon los siguientes fertilizantes hidrosolubles:

Fertilización	Formula	% de pureza
Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄	H ₃ PO ₄ (85%)
Cloruro de potasio	KCl	K ₂ O (63%) - Cl (47%)
Nitrato de calcio	Ca (NO ₃) ₂	N (17%)-CaO (33%) - Ca (23.5%)
Nitrato de potasio	KNO ₃	N-NO ₃ (13%)-K ₂ O (45%)
Sulfato de magnesio 25.5	Mg SO ₄	Mg O (14.9 %) - S (11 %)
MAP	NH ₄ H ₂ PO ₄	12 N – 61 P ₂ O ₅
Micronutrientes	Fetrilon Combi 2	

Fuente: Elaboración propia (2022)

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo de estudio experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental de Kallutaca UPEA para ver el rendimiento del tomate a diferentes niveles de tratamiento y poder evaluar el desarrollo vegetativo y rendimiento final.

El ensayo se realizó en un invernadero ocupando un área de 15 x 5 m. Observando todo el ciclo vegetativo del cultivo. En el seguimiento se realizó en todas las etapas fenológicas de la planta, pero en cuanto a la evaluación de rendimiento, los frutos han sido los más importantes.

3.3.2. Acondicionamiento de la infraestructura

Inicialmente se procedió al acondicionamiento de la carpa solar.

3.3.2.1. Preparación del suelo

Inicialmente se removió el suelo de fondo a una profundidad de 30 a 40 cm. La preparación del sustrato se realizó utilizando: el suelo removido. Los volúmenes de las macetas fueron de 30x40cm, posteriormente se realizó las perforaciones para el drenaje.

La preparación del sustrato se realizó utilizando: el suelo removido y arena. Los volúmenes de las macetas fueron de 30x40cm, posteriormente se realizó las perforaciones de drenaje. El sistema que se ha trabajado fue sistema de fertirriego.

3.3.2.2. Trasplante

Las plántulas adquiridas del Centro Nacional de Producción de Semillas de Hortalizas fueron uniformes y con buen sistema radicular, el tamaño de las mismas fue entre 15 a 20 cm de altura.

El trasplante fue de manera manual, se realizó hoyos (huecos) de aproximadamente 7 cm de profundidad, la distancia de planta y planta fue de 0.50 m. y entre hileras fue de 1.20 m. Esta práctica, seguido del riego para la recuperación de las plántulas.

3.3.2.3. Refalle

Se realizó el refalle de plantas, (nuevos plantines) que murieron en el área del cultivo, esta actividad se enmarco en un periodo corto de tiempo, entre 10 a 15 días de realizado el trabajo, esto con el fin de que no exista mucha diferencia en el desarrollo entre las plantas del área experimental.

3.3.3. Labores culturales

3.3.3.1. Aporque y control de malezas

El aporque se realizó a los 25 días después del trasplante con el fin de oxigenar el suelo y exista un mejor desarrollo de las raíces, el segundo aporque se lo realizo a los 45 días después del primer aporque.

3.3.3.2. Tutoraje

El tutoraje o sujeción de las plantas, se lo realizó cuando las plantas alcanzaron una altura de 40 a 50 cm en las cuales las plantas ya presentan follaje, la sujeción de la planta se los hizo con hilo rafia, sujetas de un extremo a la zona basal de la planta y de otro a un alambre galvanizado situado a una altura de 2.5 m del suelo.

A medida que fue creciendo la planta, se fue sujetando al hilo tutor, hasta que la planta este firme sobre todo cuando la planta ya presentaba frutos.

3.3.3.3. Poda

La poda se lo realizo de forma manual utilizando una tijera de podar eliminando así las hojas enfermas los tallos laterales (chupones) esto se lo realizo cuando la planta tenía una altura de 50 cm esto con el fin de mejorar la aireación y para evitar la propagación de enfermedades y plagas. La poda se lo hizo cada 15 días esto con el propósito de que no exista mucho follaje.

3.3.3.4. El destallado

La eliminación de las yemas axilares se realizó en forma paulatina, conforme se recolectaban los frutos, utilizando como instrumento solo los dedos de la mano.

3.3.3.5. Riego por goteo

Una vez realizado el trasplante, los riegos fueron diarios durante una semana, para garantizar el porcentaje de prendimiento, posteriormente el riego estuvo en función al requerimiento del cultivo. El riego más frecuente se lo realizó cuando la planta ya presentaba frutos en este periodo es cuando la planta necesita más agua para un buen desarrollo.

3.3.4. Fertirriego

Para un óptimo fertirriego, se realizaron diferentes cálculos para nutrir conforme a los requerimientos nutricionales del cultivo, por el cual se realizó lo siguiente:

- Análisis de Suelo y Agua (pozo de agua) el cual se realizó llevando una muestra al laboratorio de la Universidad Mayor De San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Instituto de Ecología, Laboratorio de Calidad Ambiental.
- Una vez que se obtuvo los resultados de los análisis de laboratorios (agua y suelo) se realizó los cálculos pertinentes, usando el programa de hidrobudy de fertilización, para así obtener una dosis exacta de fertilizantes para los niveles 1 (50 t/ha), 2 (100 t/ha), 3 (200 t/ha) y 4 (300 t/ha) para el cultivo de tomate en estudio.
- El cultivo de tomate al ser un cultivo altamente exigente en fertilizantes responde favorablemente al fertirriego, donde con un buen programa de fertilización tomando en cuenta el análisis de suelo y agua se pueden alcanzar altos rendimientos. Se utilizaron fertilizantes hidrosolubles para la fertilización del cultivo de tomate. se utilizó el sistema de riego por goteo, por lo cual se aplicaron fertilizantes adecuados para este tipo de riego. La cantidad de fertilizantes que se aplicó conforme se indica en el Cuadro 9.

3.3.4.1.1. Análisis físico-químico del agua

Se tomó un recipiente con capacidad de 2 litros para su análisis físico-químico en el Laboratorio de la Universidad Mayor De San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Instituto de Ecología, Laboratorio de Calidad Ambiental, para poder obtener el pH y la CE, necesaria para su uso en las soluciones nutritivas, donde este análisis favoreció la formulación y preparación de la solución nutritiva (Cuadro 9).

3.3.4.1.2. Aplicación de fertilizantes hidrosoluble

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

3.3.4.1.3. Preparación de soluciones nutritivas

Una vez obtenido los resultados de los análisis tanto de suelo como agua, se procedieron a la formulación de las soluciones nutritivas tomando en cuenta el tipo de cultivo, utilizando el programa o software llamado Hydrobuddy. Donde los cálculos fueron para 1000 litros de solución nutritiva respectivamente para cada tratamiento.

Las soluciones nutritivas para el fertirriego, se tomó en cuenta el requerimiento nutricional de los 17 elementos minerales: NO_3 , NH_4^+ , P_2O_5 , K_2O , Mg, Ca, S, Fe, Zn, B, Mn, Cu, Mo, Cl y Ni (Paye, 2015), para su buen desarrollo; el cual se lo administró a través de fertirriego durante el ciclo del cultivo de acuerdo a los niveles propuestos en la investigación.

Cuadro 8. Fertilizantes que se usó en la investigación.

Fertilización	Formula	% de pureza
Ácido fosfórico	H_3PO_4	H_3PO_4 (85%)
Cloruro de potasio	KCl	K_2O (63%) - Cl (47%)
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	N (17%)-CaO (33%) - Ca (23.5%)
Nitrato de potasio	KNO_3	N- NO_3 (13%)- K_2O (45%)
Sulfato de magnesio 25.5	Mg SO_4	Mg O (14.9 %) - S (11 %)
MAP	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	12 N – 61 P_2O_5
Micronutrientes	Fetrilon Combi 2	

Fuente: Elaboración propia (2022)

Estos fertilizantes fueron utilizados para satisfacer las necesidades nutricionales o compensar el déficit de nutrientes en el suelo durante el periodo de crecimiento vegetativo del cultivo de tomate (Cuadro 8).

Una vez obtenidos los resultados correspondientes se preparó soluciones madre, (100 veces concentrada), donde se prepararon soluciones madre de 3 litros, el cual abastece cada 50 mililitros para 20 litros de agua para su respectivo fertirriego mediante el sistema de riego por goteo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Solución madre de fertilizantes en 3 litros.

Fertilizantes (g)	Rendimiento (t/ha)			
	Nivel 1 (50 t/ha)	Nivel 2 (100 t/ha)	Nivel 3 (200 t/ha)	Nivel 4 (300 t/ha)
Ácido fosfórico	2,419	2,4197	2,4197	2,4197
Cloruro de potasio	42,4992	22,368	40,262	40,262
Fosfato monoamonico MAP	37,95	41,4	44,85	44,85
Nitrato de calcio	134,136	150,336	289,65	296,136
Nitrato de potasio	81,81	163,62	163,62	178,77
Sulfato de magnesio	81,18	140,22	140,22	177,22
Micronutrientes	0,22	0,22	0,24	0,24
CE	1,3751	1,7751	2,2951	2,4651
RAS	0,1603567	0,1406422	0,1159001	0,111035

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para la obtención y mezcla de las soluciones concentradas, se procedió a realizar tres soluciones concentradas (A, B y C) tomando en cuenta los cálculos para la solución madre (Cuadro 9), de esta manera evitamos la incompatibilidad de nutrientes.

Solución concentrada A: nitrato de calcio, nitrato de potasio. En un frasco se procedió a verter 1 litros de agua incorporando el nitrato de calcio, se agito vigorosamente hasta disolver por completo, en otro frasco se disolvió en un 1 litro de agua el nitrato de potasio posteriormente se mezclaron las soluciones en un recipiente de 3 litros al cual luego se adicionaron los 1 litros restantes de agua para completar a 3 litros de solución concentrada final.

Solución concentrada B: Cloruro de potasio, sulfato de magnesio, Fetrilon Combi 2. En un frasco se vertió 1 litro de agua y se disolvió el cloruro de potasio agitando vigorosamente, en otro recipiente con 1 litro de agua se procedió a disolver el sulfato de potasio agitando cuidadosamente hasta que quede completamente disuelto seguidamente se incorporó el Fetrilon Combi 2 (micronutrientes) y se agito hasta obtener una mezcla completa. Teniendo las disoluciones se juntó en un recipiente de 3 litros y se procedió a completar con agua la mezcla a 3 litros final.

Solución concentrada C: Fosfato mono amónico y ácido fosfórico. De la misma manera en un frasco se procedió a verter 1 litro de agua incorporando el fosfato monoamonico, se agito vigorosamente hasta disolver por completo, en otro frasco se disolvió en un 1 litro de agua el ácido fosfórico, finalmente se aumentó 1 litros a la solución total

La mezcla se lo realizo de la manera correcta, caso contrario se podían producir precipitaciones dando como resultado deficiencias de nutrientes en el cultivo al no estar disponibles en la solución nutritiva. Cada solución fue preparada de forma separada.

- Posterior a ello se realizó el fertirriego 2 veces por semana con una dosificación en t/ha, así como señala en el Cuadro 9, donde vemos los fertilizantes y las cantidades usadas en la investigación.

3.3.4.2. Tratamientos fitosanitarios

En el presente trabajo de investigación, la primera aplicación se lo realizo en el primer mes con el producto orgánico azufre en polvo a una dosis de 200 g por la parcela esto con objetivo de prevenir el ataque de plagas, posteriormente se realizaron fumigaciones con bactericidas y fungicidas

3.3.4.3. Cosecha

La cosecha se realizó cuando los frutos alcanzaron madurez fisiológica, o cambio de color de los frutos a su determinado color maduro cada tratamiento con sus respectivas repeticiones para posteriormente realizar las evaluaciones correspondientes a la investigación planteada.

De todas las recolecciones se llevó un registro, primero se anotaron los diámetros, pesos los frutos por planta y posteriormente los pesos de frutos por tratamiento, para esta labor se acudió a una balanza de precisión.

3.3.5. Toma de datos

Para la toma de datos fue desde el momento que se ubicaron las plántulas en las unidades experimentales hasta el concluido del proceso experimental, tomando datos de las características agronómicas del cultivo y posteriormente realizado la cosecha se evaluaron los rendimientos por tratamiento.

El análisis de datos se elaboró por medio de programa de Excel, mediante un análisis de la varianza, y prueba de rangos múltiples de Duncan al 5% de probabilidad para la comparación de medias, esto se aplicó en los casos donde existió diferencias significativas y altamente significativas. La presentación de datos se realizó a través de tablas de Duncan y figuras.

3.3.6. Tipo de muestreo

Para el presente estudio se usó el muestreo no probabilístico en la que la totalidad de la población del experimento reunía las características para su selección y representación del presente trabajo.

3.4. Diseño experimental

Con los datos fenológicos y los rendimientos obtenidos previamente estandarizados y datos del rendimiento por tratamiento se procedió a realizar el análisis estadístico de acuerdo al modelo lineal, las diferencias estadísticas entre medias representan a un nivel de probabilidad del 5% según la prueba de Duncan.

El diseño que se utilizó para la evaluación, fue de diseño completos al azar (DCA), en el mismo que se tuvieron cuatro tratamientos (niveles de solución nutritiva) con cuatro repeticiones, distribuidas en 16 unidades experimentales.

Para el análisis estadístico del experimento se utilizó el Diseño completos al azar (DCA), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones (Ochoa, 2016).

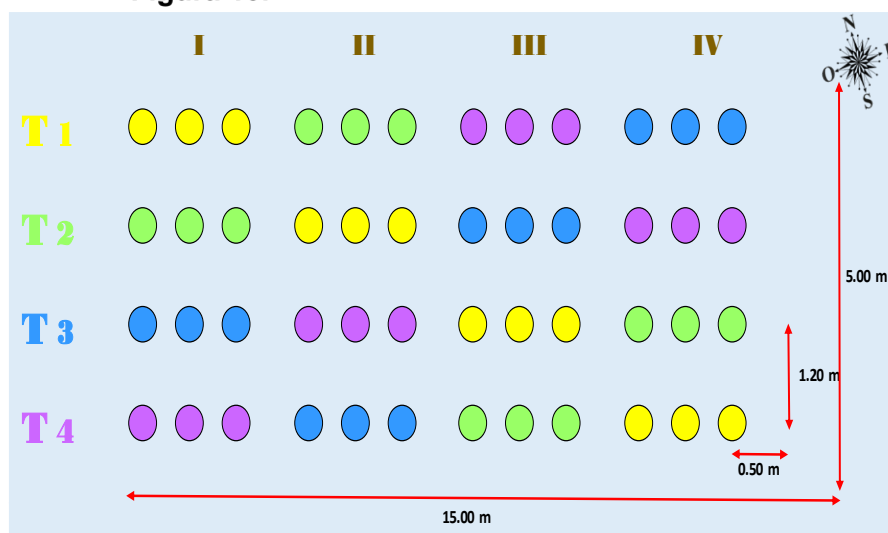
a) Formulación de los tratamientos

Los tratamientos fueron distribuidos en unidades experimentales (UE).

Para una mejor visión y tratar de reducir el error experimental se instalarán 48 macetas, con cuatro tratamientos y 4 repeticiones, las características de instalación se muestran en el croquis del experimento (Figura 13).

- T_1 = Nivel de nutrientes 1 (50 t/ha)
- T_2 = Nivel de nutrientes 2 (100 t/ha)
- T_3 = Nivel de nutrientes 3 (200 t/ha)
- T_4 = Nivel de nutrientes 4 (300 t/ha)

Figura 13. Distribución de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia (2022)

b) El modelo lineal aditivo

Según Ochoa (2016) el modelo lineal aditivo de un diseño completos al azar es el siguiente:

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

Dónde:

Y_{ij} = Una observación

μ = Media general

α_i = Efecto del i-ésimo efecto del nivel de solución nutritiva

ε_{ij} = Error experimental

Una vez realizado el respectivo análisis de varianza para las variables de respuesta, se realizaron comparaciones múltiples entre la media de los tratamientos siguiendo la metodología de DUNCAN a un nivel de probabilidad del 5%.

3.4.1. Variables evaluadas

Con el fin de obtener muestras representativas de cada unidad experimental y obtener conclusiones válidas se hizo un minucioso detalle en cuanto a la recolección de datos.

Es en ese sentido que se tomó las variables agronómicas propias del cultivo de tomate y los parámetros de rendimiento del fruto por tratamiento de los cuatro niveles crecientes de nutrientes en estudio del presente trabajo de investigación.

3.4.1.1. Variables agronómicas

3.4.1.1.1. Altura de planta

Se realizó la evaluación de la altura de la planta en m, desde la base del tallo hasta el ápice de la última hoja, con la ayuda de un flexómetro, de esta forma se tomó las muestras al azar de cada tratamiento previamente establecidas en las unidades experimentales, misma que se realizó durante la última cosecha.

3.4.1.1.2. Numero de racimos

Se contabilizo en número de racimos por planta, este conteo se realizó una vez realizado la última cosecha.

3.4.1.1.3. Numero de frutos por racimo

Se realizó el conteo del número de frutos por racimo cuando los frutos alcanzaron su madurez fisiológica o cambio de color de los frutos a su determinado color maduro.

3.4.1.1.4. Diámetro del fruto

Se efectuó a medir esta variable con frutos cosechados y escogidos al azar para cada unidad experimental, donde se midió el diámetro medio del fruto, para ello se recurrió a un calibrador Vernier.

3.4.1.1.5. Longitud del fruto

Se procedió a medir la longitud (altura) de fruto con ayuda del instrumento calibrador Vernier, tomando los frutos cosechados por unidad experimental.

3.4.1.1.6. Rendimiento por tratamiento

Se determinó el rendimiento en peso de frutos por planta y por tratamiento o unidad experimental, para luego tener el rendimiento total en tn/ha para cada nivel creciente de nutrientes (tratamientos) en estudio.

3.4.1.1.7. Peso del fruto

Se procedió a pesar todos los frutos maduros (cosechados) de cada unidad experimental esto se lo realizo por cada tratamiento (nivel creciente de nutriente), para el mismo se utilizó como instrumento de trabajo una balanza eléctrica.

3.4.1.2. Variables de calidad de fruto

3.4.1.2.1. Índice de acidez o pH

Para la evaluación del pH (Potencial de hidrogeniones), se realizó una extracción del jugo de un total de 3 frutos del mismo tratamiento vertiéndose en un matraz y homogeneizando la mezcla. Mediante un peachímetro se realizó la medida de *pH* de los cuatro tratamientos (niveles crecientes de nutrientes).

3.4.1.2.2. Solidos solubles totales o °Brix

Para los grados brix, se evaluaron mediante un refractómetro manual a través del cual vertiendo una pequeña cantidad del jugo de tomate se realizó la lectura de grados brix. El jugo para las mediciones realizadas se hizo de un total de 9 frutos. Se utilizaron tomates de una misma repetición del ensayo y con un estado de maduración similar.

3.4.1.2.3. Firmeza

La firmeza del fruto del tomate es un parámetro muy importante a tener en cuenta para evaluar en cuanto a pos cosecha. Para ello durante este estudio se ha realizado mediante un penetrómetro (modelo TA-XT plus, Textura analyser). La medición de la dureza con este aparato se basa en el siguiente principio: Un cuerpo penetrador es presionado continuamente en el material a medir con una fuerza determinada. Se mide la deformación en el punto de presión y de esta manera se obtiene el valor de la dureza del material.

El tamaño de la muestra fue 8 tomates de cada unidad experimental, seleccionando tomates que se encontrasen en un nivel de maduración similar.

3.4.2. Análisis económico

La evaluación de los costos parciales de producción se realizó según la metodología propuesta por CIMMYT (1998), que recomienda el análisis del beneficio neto y el cálculo

del retorno marginal de los tratamientos para determinar los beneficios y el costo marginal. Los rendimientos se ajustaron al menos en un 10% debido a la influencia del nivel de gestión, ya que el experimento estuvo sujeto a un cuidado y supervisión que normalmente no se encuentran en las condiciones de producción tradicionales.

3.4.2.1. Beneficio Bruto (BB)

Llamado también ingreso bruto, es el rendimiento ajustado multiplicado por el precio del producto (CIMMYT, 1998).

$$\text{BB} = \text{R} * \text{PP} \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

BB = Beneficio Bruto Bs

R = Rendimiento Ajustado Bs

PP = Precio del Producto Bs

3.4.2.2. Costos Variables (CV)

Es la suma que varía de una alternativa a otra, relacionados con los insumos, mano de obra, maquinaria, utilizados en cada tratamiento, fertilizantes, insecticidas, jornales y transporte.

3.4.2.3. Beneficio Neto (BN)

Es el valor de todos los beneficios brutos de la producción (BB), menos los costos de producción (CP).

$$\text{BN} = \text{BB} - \text{CP} \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

BN = Beneficio Neto Bs

BB = Beneficios Brutos Bs

CP = Costos de Producción Bs

3.4.2.4. Relación Beneficio/Costo en (B/C)

Es una relación que existe entre los beneficios brutos (BB), sobre los costos de producción (CP).

$$B/C = BB / CP \text{ (Ec. 3)}$$

Donde:

B/C = Beneficio Costo Bs

BB = Beneficios Brutos Bs

CP = Costos de Producción Bs

IBTA Y PROINPA (1997), mencionan que la regla básica del beneficio/costo (B/C), es que una inversión será rentable, si los beneficios son mayores que la unidad ($B/C > 1$), es aceptable cuando es igual a la unidad ($B/C = 1$), y no es rentable si es menor a la unidad ($B/C < 1$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos planteados y habiendo efectuado el trabajo de campo correspondiente, sobre las características agronómicas del cultivo de tomate y los parámetros de rendimiento, calidad del fruto mismo, dentro de la instalación de la Estación Experimental de Kallutaca, dependiente de la Universidad Pública y Autónoma de El Alto (UPEA), donde se prosiguió con el desarrollo de la respuesta obtenida por las variedades en estudio, con el respectivo análisis de varianza, comparación de promedios mediante prueba Duncan al 5%, análisis económico de la producción, el cual se detallan de acuerdo a cada variable en estudio.

4.1. Condiciones ambientales dentro de la carpa solar

4.1.1. Temperatura (°C)

Durante el periodo de la investigación, para el registro de la temperatura se utilizó termómetro digital que se ubicó en el centro del invernadero, de esta manera se levantó el registro de la temperatura interna del ambiente, se tomaron en cuenta las temperaturas máximas y mínimas registradas dentro del invernadero, realizando un registro diario de estas variaciones, de las cuales se obtuvieron datos promedio por mes (Figura 14), así nos

permiten evaluar las fluctuaciones de temperatura durante el tiempo de estudio, obteniéndose los siguientes resultados:

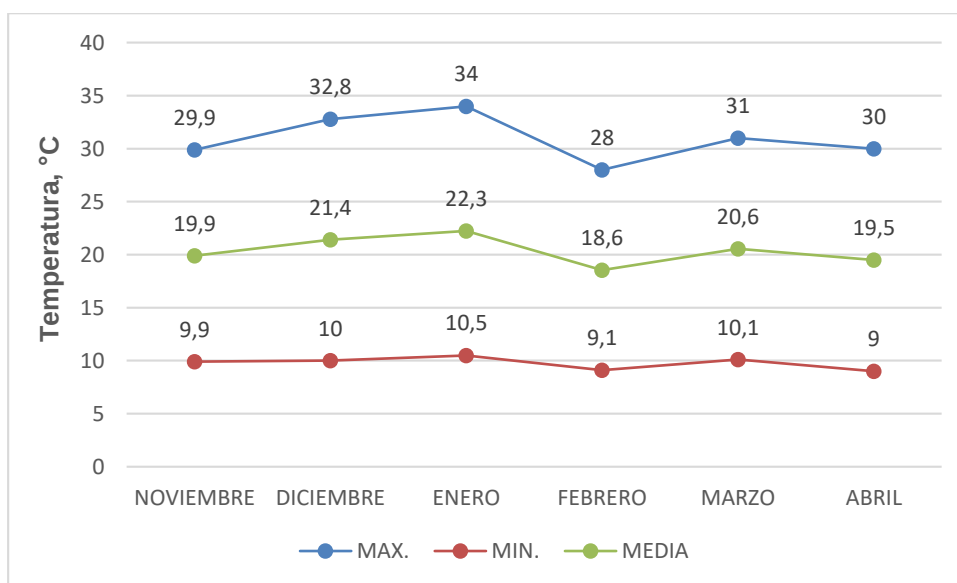


Figura 14. Registro de la temperatura durante el periodo de investigación

La Figura 14 muestra el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas que se presentó durante el periodo de realizar el estudio (noviembre 2022 a abril 2023), el cual muestra temperaturas máximas de 34°C en el mes de enero. Asimismo, la temperatura mínima se registró en el mes de abril con 9 °C, tomando en cuenta que el tomate tiene una mejor producción entre las temperaturas optimas de 24°C y 28°C.

Según Rodríguez et al. (2001), la temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta como la transpiración, fotosíntesis, germinación, entre otras. El tomate es clasificado dentro de las hortalizas tolerantes al calor, como aquellas que a temperaturas menores de 8°C detienen su crecimiento.

Según (Corpoica, 2012), dentro de un invernadero, el ambiente es cerrado y la circulación de aire es limitada. Esto hace que la temperatura sea más alta que en el exterior, alcanzando su punto máximo durante el día. Por la noche, la temperatura baja y la humedad relativa tiende a aumentar, especialmente en la madrugada, alcanzando niveles mínimos al medio día. Estos cambios extremos de temperatura y humedad son la principal causa de problemas en la productividad del cultivo, como enfermedades, baja polinización y deformación de los frutos. Es recomendable proporcionar una ventilación máxima durante el día abriendo las cortinas laterales y frontales, especialmente si las temperaturas superan

los 28 °C. Esto ayudará a controlar el ambiente dentro del invernadero y minimizar los problemas asociados con el exceso de calor y humedad.

4.1.2. Humedad relativa (%)

En la Figura 15, muestra los valores de la humedad relativa en (%) los cuales fueron registradas durante todo el ciclo fenológico, la humedad relativa dentro del ambiente influye en el desarrollo del cultivo de tomate.

Estos resultados varían en función a la fluctuación de temperatura de todo el día ya que habrá mayor humedad en la mañana por que la planta a través del proceso de respiración se encarga de eliminar agua de su sistema, lo que hace que el medio sea más húmedo, y de día esta función va reduciendo, dependiendo de la humedad del suelo.

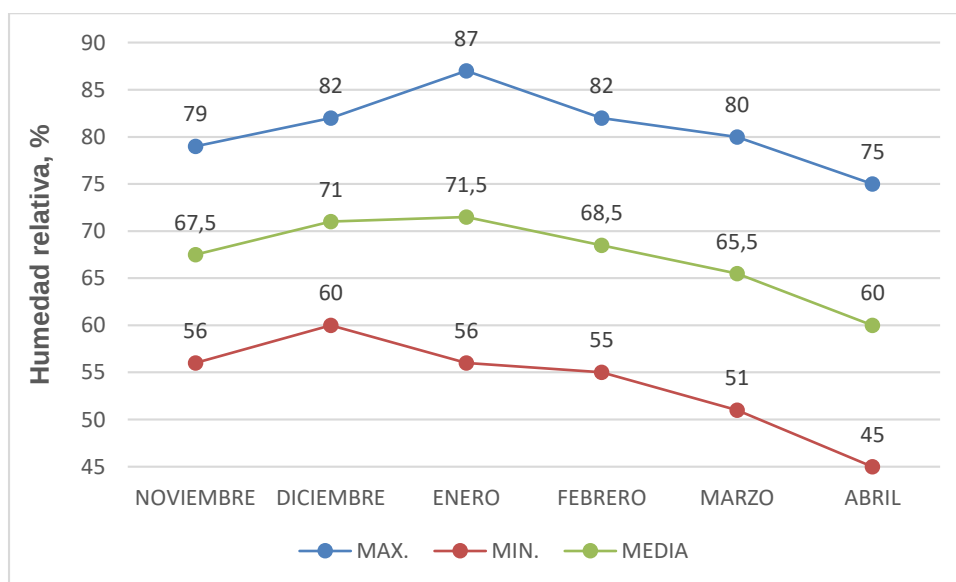


Figura 15. Registro de la humedad relativa durante la investigación

En la Figura anterior, se observa el comportamiento de la humedad relativa a lo largo del ciclo fenológico del cultivo del tomate, mismo que tuvo lugar en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril. Donde se muestra que las humedades relativas máximas oscilaron entre 75 y 87 %, mientras que las humedades mínimas registradas estuvieron por encima de 45%, respectivamente.

La humedad relativa óptima para el cultivo del tomate oscila entre el 60% y 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas en el follaje, agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se

apelmaza, abortando parte de las flores. La presencia de una humedad relativa baja en el invernadero también afecta la fecundación, ya que el polen se reseca demasiado, lo que dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (INIFAP, 2011).

Avilés (1992), indica que la variación de la humedad relativa en cualquier ambiente está directamente relacionada con la variación de la temperatura al constituir esta variable una medida de la cantidad de agua existente en una masa de aire, así se explica que la humedad relativa tenga una variación diaria inversa a la temperatura.

Tenemos en el Cuadro 10, los valores normales conjuntamente con los valores obtenidos en nuestro análisis de agua, donde se observa bastante las diferencias, como ser el Sulfato, donde su valor normal debería ser de hasta 20 meq/l, pero en nuestro análisis tenemos de 29 meq/l, por lo cual se realizan los cálculos para así neutralizar el agua para el fertirriego apropiado en el cultivo de tomate.

Cuadro 10. Valores considerados normales de un análisis de aguas para riego comparado con los resultados obtenidos en la investigación

Parámetros	Unidad	Unidad	Valores normales	Valores obtenidos
Calcio	Ca +2	meq/l	0 – 20	11
Magnesio	Mg +2	meq/l	0 – 5	<0.020
sodio	Na +	meq/l	0 – 40	12
Carbonatos	CO 32	meq/l	0 – 0,1	<3.0
Bicarbonatos	HCO3	meq/l	0 – 10	43
Cloro	Cl	meq/l	0 – 30	2.3
Sulfatos	SO42	meq/l	0 – 20	29
Fosforo	PO4-P	meq/l	0 – 2	<0.010
Potasio	K+	meq/l	0 - 2	2.8
Boro	B	meq/l	0 – 2	0.043
pH	pH	1-14	6 – 8.5	6.7

Fuente: iagua (2017)

4.2. Evaluación de las Variables Agronómicas

El trabajo fue realizado en ambiente controlado, mediante la evaluación de niveles de nutrientes bajo sistema de fertirriego en el cultivo de tomate, bajo cuatro tratamientos, donde a continuación se presentan los resultados obtenidos y su respectiva interpretación, mismos que se encuentran de acuerdo a los objetivos específicos y la metodología anteriormente descrita, que a continuación se detallan de acuerdo a cada variable agronómica.

4.2.1. Altura de planta

4.2.1.1. Análisis de varianza

Esta variable fue registrada durante la última cosecha (150 días), desde el trasplante hasta cuando las plantas mostraron su máximo desarrollo, se procedió medir cada planta con un flexómetro desde la base del cuello hasta la altura del ápice más alta de la planta. Los muestreos para la altura de planta se realizaron al azar en cada unidad experimental (Cuadro 11).

El análisis de varianza se efectuó basado en los promedios de crecimiento y su desarrollo por unidad experimental, que alcanzo la altura de la planta de los diferentes tratamientos, para una mejor evaluación de los tratamientos en estudio del cultivo de tomate, se realizó el análisis de varianza como se muestra a continuación.

Cuadro 11. Análisis de varianza para altura de planta (m).

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft (5%)</i>
Tratamientos	1,41	3	0,47	156,79	3,49 *
Error	0,04	12	0,003		
Total	1,44	15			

*: Significativo NS: No significativo

CV = 4,21%

PROMEDIO (m) 1,30

La tabla de análisis de varianza para la variable altura de planta al 5% de probabilidad (Cuadro 11), menciona que la variedad de tomate en estudio mediante la aplicación de los cuatro niveles de tratamientos, existe diferencias estadísticamente significativas, siendo que las alturas son diferenciadas por cada tratamiento, evaluados bajo condiciones de ambiente protegido, es decir que la aplicación de los niveles de soluciones nutritivas afectó a la variable y tienen diferente comportamiento en cuanto a la altura de planta.

El coeficiente de variación presento un valor de 4,21% para el estudio realizado, el cual indican que los valores obtenidos durante el periodo del estudio son suficientemente confiables, por establecerse por debajo del valor permitido 10% (Arteaga, 2003) que viene a ser el margen de aceptabilidad para investigaciones en ambiente protegido, como

consecuencia de realizar un manejo homogéneo de las unidades experimentales durante el estudio.

La media de altura de planta para la variedad Rio Grande, mediante la aplicación de los cuatro niveles de tratamiento fue de 1,30 m, el cual fueron registradas de 48 observaciones.

La solución nutritiva es el componente esencial de los cultivos bajo invernaderos; constituye el único vector de la alimentación hidromineral de los vegetales y debe satisfacer de forma no limitante las necesidades de los sistemas radicales de las plantas. La solución nutritiva es la disolución en agua de los nutrientes necesarios para la nutrición de la planta, que deben estar en forma asimilable y en concentración y proporción adecuada. Además de los nutrientes minerales es necesaria también la presencia de oxígeno en la solución (Burgueño, 2022).

4.2.1.2. Comparación de promedios para la altura de planta

De acuerdo con las comparaciones de prueba Duncan al 5% (Cuadro 12) y (Figura 16), se aprecia que los mejores resultados se obtuvieron con T_4 y T_3 (300 t/ha y 200 t/ha), alcanzando una altura de planta de 1,55 y 1,53 metros aproximadamente, lo que estadísticamente son diferentes respecto a T_2 y T_1 .

Cuadro 12. Análisis comparativo Duncan de altura de planta

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>MEDIA (m)</i>	<i>DUNCAN ($\alpha = 5\%$)</i>
4	1,55	A
3	1,53	A
2	1,31	C
1	0,81	B
T ₁ : 50 t/ha T ₂ : 100 t/ha T ₃ : 200 t/ha T ₄ : 300 t/ha		

Consecuentemente T_1 y T_2 para rendimientos de (50 t/ha y 100 t/ha) obtuvieron promedios de 0.81 y 1,31 metros de alto, respectivamente; siendo el T_1 quien obtuvo la altura más baja respecto a los otros tratamientos.

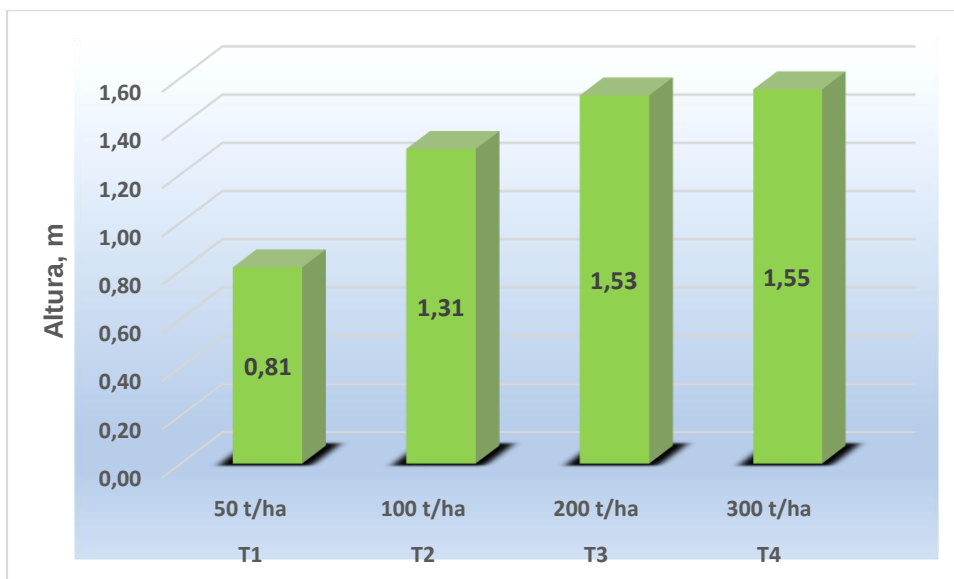


Figura 16. Altura de plantas de tratamientos expresada en (cm)

La altura de planta es una característica fisiológica de gran importancia en el crecimiento y desarrollo de la planta, la altura de la planta depende de la acumulación de nutrientes en el tallo que se producen durante la fotosíntesis, los que a su vez son transferidos a la raíz de la planta, esta función puede verse afectada por la acción conjunta de cuatro factores fundamentales los cuales son luz, calor, humedad y nutrientes (UAC, 2009).

Vigliola (1992), menciona que la altura de planta está en función a la densidad, de siembra, la temperatura, el fotoperiodo y el carácter fértil del suelo, la altura de planta fue obtenida por la medición de la distancia entre el nivel del suelo y el extremo de la última hoja completamente desarrollada o extendida con una regla milimetrada, en 48 evaluaciones los cuales se expresaron en metros.

Rodríguez (1984), indica que existen muchos factores indirectos, que de uno u otro modo, puede afectar el crecimiento de las plantas, así la compactación del terreno afecta la aireación y disponibilidad del agua, el pH del suelo influye en la cantidad de elementos nutritivos que están a disposición de la planta, por lo que constataron que, un suelo ácido reducía los rendimientos comerciales de una plantación de tomates, y en determinadas variedades vieron que el tamaño de los frutos disminuía como consecuencia de la salinidad.

4.2.2. Número de racimos por planta

4.2.2.1. Análisis de varianza

El número de racimos por planta es una variable de importancia, ya que con ella se aprecia las cualidades positivas de productividad de los tratamientos seleccionados juntamente con la prueba del experimento aplicado.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el numero de racimos por planta

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft (5%)</i>
Tratamientos	32,75	3	10,92	23,94	3,49 *
Error	5,47	12	0,46		
Total	38,22	15			

*: Significativo NS: No significativo

CV = 5,85%

PROMEDIO (cm) 11,54

El análisis de varianza, utilizado en forma pertinente para la presente variable de respuesta señala en forma valida al 5% de significancia, que la variable número de racimos por planta (Cuadro 13), nos muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, el cual probablemente se atribuya al empleo de los distintos niveles de nutrientes evaluados, por otro lado, nos indica que el experimento gano precisión para la variable en estudio.

El promedio para el número de racimos por planta de los diferentes tratamientos evaluados es de 11,54 el mismo que fueron tomadas de 48 observaciones.

El coeficiente de variación fue de 5,85% lo cual indica la confiabilidad de la información, por lo tanto, significa que existió un buen manejo de las unidades experimentales y que se encuentra dentro del rango aceptable, para el tipo de experimento, por lo que los datos fueron tomados cuidadosamente.

4.2.2.2. Comparación de promedios para el número de racimos por planta

Las diferencias en el número de racimos por planta del cultivo de tomate se atribuyen a las características morfológicas propias, es así que en el siguiente cuadro se presenta los resultados de esta variable.

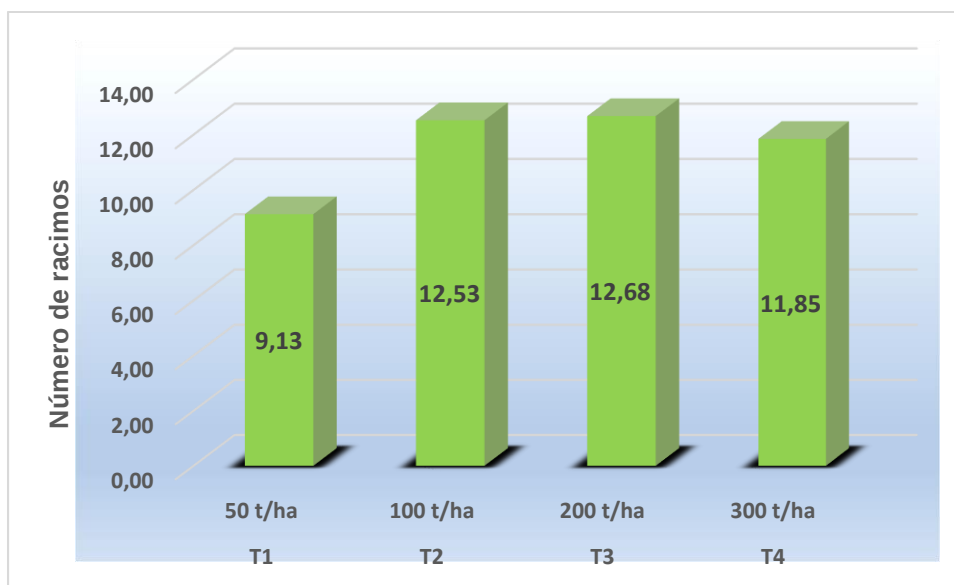
Cuadro 14. Análisis comparativo Duncan para el número de racimos por planta

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>MEDIA</i>	<i>DUNCAN ($\alpha = 5\%$)</i>
3	12,68	A
2	12,53	A
4	11,85	B
1	9,13	C

T₁: 50 t/ha T₂: 100 t/ha T₃: 200 t/ha T₄: 300 t/ha

El dato numérico de racimos por planta a los 150 días después de la siembra, y de acuerdo a la prueba de significancia, para este parámetro medido, donde la comparación de promedios realizada mediante la prueba Duncan al 5% de probabilidad estadística (Cuadro 14), establece que estadísticamente T₃ y T₂ son iguales, pero diferentes a T₄ y T₁, registrándose de acuerdo a los resultados obtenidos.

El análisis comparativo (Figura 17), muestra estadísticamente resultados iguales para los niveles de nutrientes utilizados de T₂ y T₃ (100 t/ha y 200 t/ha), con 13 racimos por planta quienes superaron a los demás tratamientos evaluados, seguidamente el T₄ (300 t/ha) presentó con 12 racimos por planta y estando por debajo el T₁ (50 t/ha), con 9 racimos aproximadamente.

**Figura 17. Numero de racimos por planta de los tratamientos**

Según Miranda (2005), reporto el valor promedio, con aproximadamente 10 racimos por planta, para la variedad rio grande. Por lo que establece que la cantidad de racimos

depende de factores ambientales principalmente la temperatura, optima es 15 a 20 °C, también nutrientes y sales en el suelo.

De igual manera Usnayo (2016), atribuye que los efectos negativos de las temperaturas mínimas y máximas, influyen en la floración, disminuyendo el número de flores por racimo y por consiguiente, el número de frutos, así como también aumentando las malformaciones, es decir que este factor climático se mantuvo dentro del rango que exige el cultivo.

La cantidad de racimos por planta tiene una estrecha relación con el equilibrio entre el follaje y la raíz, donde la parte foliar asegura la nutrición de elementos elaborados por la fotosíntesis y las raíces la absorción hídrica y mineral (CIPCA, 2002).

Al respecto menciona, que el potasio es el factor de calidad, ayuda a la formación de tallos y frutos, regulan las funciones de la planta. Es el tercer elemento químico que la planta necesita, se encuentra normalmente disuelto en los jugos celulares de las plantas, sin sufrir ninguna transformación, es absorbido por las plantas fácilmente.

4.2.3. Numero de frutos por racimo

El número de frutos por racimo es una variable de suma importancia, ya que con ella se aprecia las cualidades positivas de productividad de la variedad en base a los tratamientos del experimento aplicado.

4.2.3.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza (ANVA) en número de frutos por racimo de tomate, a un nivel de significancia del 5%, se realizó la evaluación según lo indicado en la variable, siguiendo los procedimientos de los objetivos y la metodología, la medición se realizó a los 120 días después de la siembra, en unidades de los cuatro tratamientos y sus respectivas repeticiones, obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro 15. Análisis de varianza para el numero de frutos por racimo

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft (5%)</i>
Tratamientos	7,61	3	2,54	55,61	3,49 *
Error	0,55	12	0,05		
Total	8,16	15			
*: Significativo NS: No significativo					
CV =	4,06%				
PROMEDIO	5,26				

De esta manera, realizando el respectivo análisis de varianza (ANVA) para la variable número de frutos por racimo (Cuadro 15), nos muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, el cual nos indica que los niveles de nutrientes empleados bajo el sistema de fertirrigación en la variedad de tomate Rio grande, tuvieron su efecto, estableciendo diferencias en cuanto al número de fruto por racimo, a un nivel de significancia del 5% de probabilidad.

El coeficiente de variación de 4,06%, indica que se encuentra en el rango permitido y de confiabilidad aceptable, por lo tanto, significa que existió un buen manejo de las unidades experimentales y que se cumple con los requisitos para el diseño empleado. Con los resultados mostrados se establece que la variedad empleada para el presente estudio de investigación obtuvo un promedio de 5 frutos por racimo, con los niveles de nutrientes.

4.2.3.2. Comparación de promedios para el número de frutos por racimo

La comparación de medias (Cuadro 16) según análisis comparativo Duncan al 5% de probabilidad, para el número de frutos del Tomate por racimo, se diferencian en cuatro grupos, lo cual significa que cada tratamiento empleado mediante los niveles de nutrientes tubo su efecto en la variedad de tomate estudiada.

Cuadro 16. Análisis comparativo Duncan para el número de frutos por racimo

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>MEDIA</i>	<i>DUNCAN ($\alpha = 5\%$)</i>
3	5,95	A
2	5,70	B
4	5,23	C
1	4,15	D
T ₁ : 50 t/ha T ₂ : 100 t/ha T ₃ : 200 t/ha T ₄ : 300 t/ha		

Por lo que en el Cuadro 16 y Figura 18, se aprecia que los mejores resultados se obtuvieron con T_3 y T_2 (200 t/ha y 100 t/ha), alcanzando un promedio de 6 frutos por racimo aproximadamente.

Consecuentemente los T_4 y T_1 (300 t/ha y 50 t/ha) obtuvieron promedios de 5 y 4 frutos por racimo respectivamente, siendo que T_1 fue quien obtuvo la más baja comparación con los demás tratamientos estudiados.

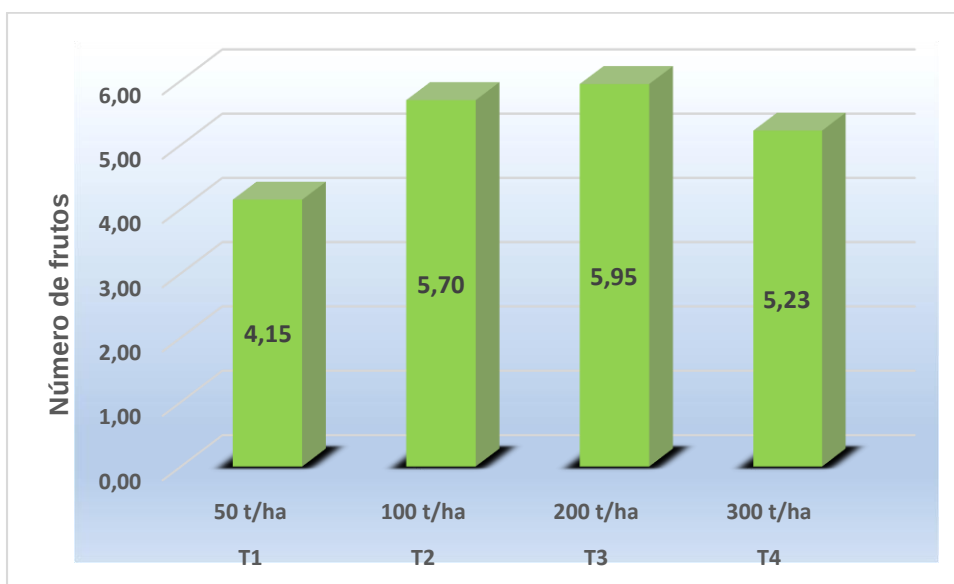


Figura 18. Numero de frutos por racimo de los tratamientos evaluados

Los valores de fruto de los tratamientos estudiados, comparados con el trabajo realizado por Terán (2002), con la variedad Rio grande, bajo carpa solar donde obtuvo un promedio de 6 frutos por racimo, existiendo una diferencia de uno a dos frutos con el trabajo actual, por lo tanto, se determina que la diferencia es mínima.

Chaves & Gutiérrez (2016), Demostraron que incrementos masivos de temperaturas afectan el desarrollo de las plantas y comportamiento post cosecha, la correcta fructificación del tomate se restringe al rango de 10 - 23°C de temperatura nocturna, pues fuera de ella pueden reducirse la cantidad frutos.

Según Plaster (1997), el potasio (K) es el nutriente más importante en relación a la calidad y sabor del fruto, es requerido en exceso para lograr una buen desarrollo, maduración y consistencia de los frutos. Además, que contribuye al movimiento de los azúcares producidos por la fotosíntesis dentro de la planta.

Un aspecto importante de mencionar es que altos valores de concentración en tejidos de algún elemento, no necesariamente significan una mayor acumulación del elemento en la planta (Bertsch *et al*, 2009).

La adición de fósforo (P), puede aumentar el número de flores de tomate, lo que podría proporcionar un mayor número de frutos por planta, mencionado por Arshad y Rashid (1999).

Para la variable número de fruto se puede observar el efecto de la variedad y del nivel de aplicación, incrementa la cantidad de número de frutos. Por lo que podemos decir que con el T₃: 200 t/ha se obtuvo mayor número de frutos con la variedad Rio grande.

Según FAO (2013), el fósforo acelera la fructificación, el mismo debe ser aplicado en forma de fosfitos. Así mismo el fósforo contribuye al desarrollo de un potente sistema radicular, favorece el grosor y consistencia del tallo y es imprescindible para lograr una buena floración. Su deficiencia al inicio del cultivo puede originar retrasos importantes en la recolección. El ritmo de absorción del fósforo es similar al del nitrógeno, coincidiendo las mayores necesidades con la floración y engorde de los frutos (Moreno, 2003).

4.2.4. Peso del fruto

Para esta variable de respuesta de peso de fruto se determinó al momento de la cosecha con la ayuda de una balanza digital, observando así el efecto de los tratamientos a los que se sometió, las que fueron promediadas y expresadas en gramos, para dicha práctica se omitieron los frutos no comerciables. Esta característica nos ayuda a determinar junto con el número de frutos, el rendimiento del cultivo.

4.2.4.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza (ANVA) para peso de fruto se muestra en el Cuadro 16, el resultado se establece a un nivel de significancia del 5%.

El cálculo de análisis estadístico se efectuó basando en el promedio de desarrollo y crecimiento que alcanzo el peso del fruto en las plantas de cada unidad experimental.

De acuerdo con los resultados mostrados en el Cuadro 17, en el análisis de varianza para la variable estudiada, se aprecia que existen diferencias estadísticamente significativas

entre los tratamientos estudiados a nivel del 5% de probabilidad, evidenciándose que los tratamientos muestran efectos distintos en la expresión fenotípica de su potencial genético, en otras palabras, nos muestra que los pesos de los frutos son distintos en cada nivel de nutrientes aplicado a la variedad evaluada.

Cuadro 17. Análisis de varianza para el peso el fruto

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft (5%)</i>
Tratamientos	2400,88	3	800,29	62,41	3,49 *
Error	153,89	12	12,82		
Total	2554,77	15			
*: Significativo NS: No significativo					
CV =	3,45%				
PROMEDIO (g)	103,69				

El coeficiente de variación para el peso de fruto es de 3,49%, lo que demuestra que los datos están dentro del rango de confiabilidad aceptable para el manejo de las parcelas y tratamientos en ambiente protegido, donde la evaluación de los datos recogidos en campo, fueron procesados y evaluados de forma ordenada. Así mismo se cumple con las exigencias del diseño empleado.

El promedio correspondiente para esta variable (peso de fruto), evaluada en los cuatro tratamientos es de 103,69 g, el mismo que fueron tomadas de 48 observaciones.

4.2.4.2. Comparación de promedios para el peso del fruto

Para una mejor evaluación se procedió a la prueba Duncan al 5% de probabilidad para evaluar las diferencias en promedio del peso de fruto por unidad experimental, el mismo se aprecian en el Cuadro 18 y Figura 19, donde nos hacen referencia a que los tratamientos presentan resultados estadísticamente diferentes y compuestos en tres grupos.

Cuadro 18. Análisis comparativo Duncan para el peso de fruto

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>MEDIA (g)</i>	<i>DUNCAN ($\alpha = 5\%$)</i>
3	123,13	A
4	101,85	B
2	100,55	B
1	89,23	C
T ₁ : 50 t/ha T ₂ : 100 t/ha T ₃ : 200 t/ha T ₄ : 300 t/ha		

Tal como se observa en el análisis de la varianza (ANVA), existen diferencias significativas al 5% de probabilidad, entre los diferentes tratamientos evaluados, es así que realizando el análisis comparativo Duncan a un nivel de significancia del 5%, resulta que con la aplicación de nutrientes del tratamiento T_3 (200 t/ha) muestra un promedio con 123,13 g de peso del fruto respectivamente, presentado como el promedio más alto en relación a los demás tratamientos, seguidamente los tratamientos T_4 (300 t/ha) y T_2 (100 t/ha) estadísticamente son similares, con promedios obtenidos de 101,85 y 100,55 gramos en cuanto al peso por unidad de fruto, por el contrario con la evaluación del tratamiento T_1 (50 t/ha) presenta el peso más bajo del estudio con 89,23 gramos respectivamente.

En general se puede decir que los tratamientos en estudio tienen diferente comportamiento respecto al peso del fruto, según la aplicación de los diferentes niveles de fertilizantes sobre la variedad de tomate evaluada.

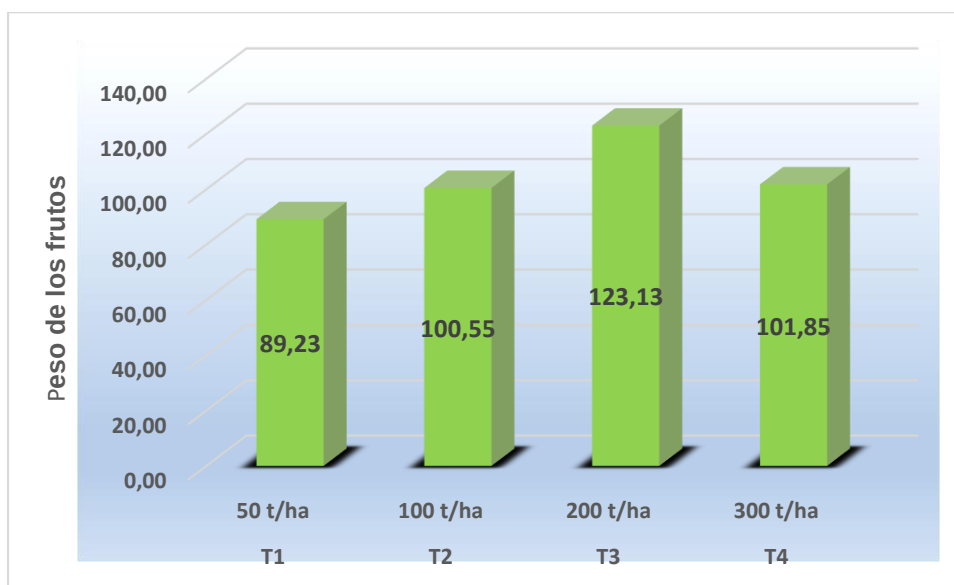


Figura 19. Peso de los frutos de tomate (g)

Según datos del CNPSH (2005), existen variedades locales que tienen pesos entre 95 g y 200 g de peso, en el primer caso pertenece a tomates de tipo pera y el segundo a tomates de forma redonda. En nuestro caso encontramos pesos de 89,23 g a 123,13 g, como lo muestra la Figura 18, valores que se encuentran en el rango establecido, al considerarse que la variedad Rio Grande es de crecimiento determinado y ciclo medio y con frutos de forma cuadrada alargada

Asimismo, se destaca la importancia de esta hortaliza por los diferentes usos, lo cual también depende de la variedad, tal es el caso del tomate Río Grande que se destaca por ser una de las variedades con mayor aceptación en el mercado y una de las variedades de tamaño grande, con un peso entre 90 y 120 gramos, presenta una forma ovalada, de porte mediano, tipo pera, color rojo vivo y piel fina, se caracteriza por presentar un hábito determinado y las plantas de esta variedad tienen una reducción profunda en su crecimiento a temperatura constante (Páez *et al.* 2000).

4.2.5. Rendimiento en t/ha

Los consumidores del mercado de frutas frescas eligen principalmente siguiendo criterios relacionados con el aspecto externo; sin embargo, para determinar el rendimiento de la capacidad productiva de la planta es relevante, por lo que para el presente estudio se observó variabilidad en el rendimiento de las colectas evaluadas.

Así mismo, se puede indicar que el rendimiento es el resultado del manejo del cultivo, siendo este aspecto responsabilidad y resultado directo de las acciones del que lleva a cabo el cultivo, porque un manejo adecuado, fertirrigación y el control de las plagas, darán como resultado cosechas con buenos rendimientos y buena calidad de frutos, teniendo por consiguiente la obtención de buenos precios por la venta.

4.2.5.1. Análisis de varianza

Mediante el análisis de varianza (ANVA) evaluado para determinar el rendimiento del cultivo de tomate por unidad experimental, con sus diferentes tratamientos estudiados con la aplicación de niveles de nutrientes bajo sistema de fertirriego, se muestra en el Cuadro 20.

El análisis de varianza realizado, muestra que existe diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos, lo cual se puede atribuir a que cada tratamiento es diferente en cuanto al rendimiento, esto posiblemente se atribuya a los distintos niveles de nutrientes aplicados en cada tratamiento, mismos que fueron formulados para la obtención de un rendimiento lo más próximo posible a la productividad potencial del cultivo.

El coeficiente de variabilidad es de 4,27%, lo cual significa que los datos son permisibles por contar con un error reducido y que la misma se encuentra dentro del parámetro establecido.

Cuadro 19. Análisis de varianza para el rendimiento por tratamiento

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft (5%)</i>
Tratamientos	5589,71	3	1863,24	209,42	3,49 *
Error	106,77	12	8,90		
Total	5696,48	15			
*: Significativo		NS: No significativo			
CV =	4,27%				
PROMEDIO (t/ha)	69,92				

En el estudio realizado, el promedio obtenido para la presente variable evaluada es de aproximadamente 70 toneladas por hectárea producida.

4.2.5.2. Comparación de promedios para el rendimiento

En el Cuadro 20 y Figura 20, se presentan el análisis estadístico para el carácter rendimiento toneladas por hectárea producida, tomado durante las cosechas en cada unidad experimental, donde la misma fue en base a la evaluación de las medias de los pesos producidos por cada tratamiento.

Cuadro 20. Análisis comparativo Duncan para el rendimiento

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>MEDIA (t/ha)</i>	<i>DUNCAN ($\alpha = 5\%$)</i>
3	90,48	A
4	78,65	B
2	70,60	C
1	39,95	D
T ₁ : 50 t/ha T ₂ : 100 t/ha T ₃ : 200 t/ha T ₄ : 300 t/ha		

La prueba respectiva de comparación de medias realizada, mediante la prueba de Duncan para el componente de los tratamientos, se evidencia que existe diferencias estadísticas en los cuatro tratamientos, donde el T₃ (200 t/ha) obtuvo un número mayor en cuanto al rendimiento, alcanzando 90,48 t/ha, seguido por T₄ (300 t/ha); T₂ (100 t/ha) y T₁ (50 t/ha), con 78,65; 70,60 y 39,95 t/ha, respectivamente; que estadísticamente son diferentes y que el T₁ presentó el rendimiento más bajos de la investigación en comparación a los demás tratamientos, por lo que se puede atribuir que con el tratamiento tres se obtuvo el rendimiento más alto.

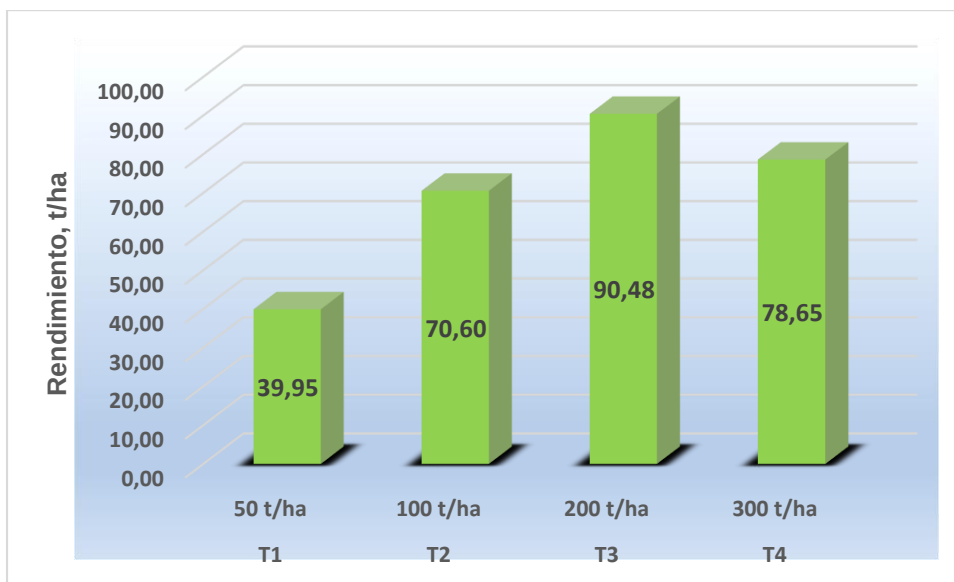


Figura 20. Rendimiento de los tratamientos de tomate

Las diferencias entre los tratamientos no sólo se atribuyen al aporte en sí de cada uno de los elementos (cantidad) sino también al momento del ciclo fenológico del cultivo en que se suministran los elementos.

Si se analiza desde el punto de vista de la distribución porcentual, también son notables las diferencias entre tratamientos para los elementos empleados

Murillo (2013), en su evaluación de dos variedades de tomate: Chonto Santa Cruz y Río Grande (*Lycopersicon esculentum* Mill.) mediante técnicas de agricultura urbana, obtuvo que la variedad Río Grande sembrada en el sistema de siembra en cama irrigada con solución nutritiva, presentó una producción promedio de 16.7 kg/m² y para el sistema de siembra chorizo fue de 8.5 kg/m²; asimismo, para el sistema de siembra en cama irrigada con agua, la producción fue de 15.6 kg/m², a diferencia del sistema de siembra chorizo que fue de 7.6 kg.

Por otro lado, la AMPHI (2006), establece que los rendimientos son variables y de acuerdo a la tecnología que se utiliza, teniendo en casa sombra rendimientos de 80 a 120 t/ha, invernaderos pasivos 120 a 220 t/ha, invernaderos más equipados 180 a 400 t/ha; mientras que para los de alta tecnología los rendimientos son superiores a 500 ton/ha.

El rendimiento medio encontrado en el presente trabajo, es mayor al rendimiento a nivel departamental en La Paz que es 9,86 t/ha (INE, 2016).

4.3. Evaluación de los parámetros de calidad

La calidad del fruto de las hortalizas depende de su acervo genético, ya sea un híbrido o una variedad; otros factores que influyen son la condición climática, la fertilización, el sistema de producción, el riego, así como el estado de desarrollo de la planta al momento de la cosecha. La agroindustria toma en cuenta parámetros de calidad como: la forma, apariencia, peso seco, sólidos solubles, acidez titulable (equivalentes de ácido cítrico), pH, viscosidad, color y firmeza del fruto, que en función de la calidad de este se pueden predecir a partir de las mismas mediciones realizadas en fruta fresca homogeneizada.

El fruto de tomate reduce su calidad después de la cosecha, al degradarse la pared celular, ya sea por mal almacenamiento, manipulación inadecuada, transporte incorrecto y tiempo prolongado, que afectan cambios en la textura, color y sabor. Los daños pueden causar alteraciones metabólicas y fisiológicas.

Usualmente, el tomate se consume en su máxima calidad organoléptica, cuando el fruto presenta el color rojo; los consumidores seleccionan el grado de maduración adecuada, que es un resultado de la degradación de la clorofila, así como de la síntesis de cromoplastos y la concentración de licopeno. Seymour (2016), menciona que durante la madurez del tomate se ha determinado que el contenido de materia seca se incrementa, lo mismo que la cantidad de azúcares y vitamina C (Ceballos et al., 2012). Por otro lado la temperatura durante el almacenamiento afecta la calidad del fruto y provoca cambios fisicoquímicos (Navarro et al., 2012; Ceballos et al., 2012; Suslow y Cantwell, 2019). es así que para la presente investigación se dio todas las condiciones para la evaluación de estos parámetros.

4.3.1. Índice de acidez o pH

El pH es un término usado generalmente para referirse a la cantidad de iones de hidronio que presenta una solución, o lo que es igual el nivel de acidez que puede tener dicha solución determinada, en un momento preciso y en unas condiciones específicas.

El sabor del fruto se relaciona en general a la concentración relativa de azúcares y ácidos en el fruto, principalmente fructuosa y ácido cítrico. La mejor combinación o sea de mejor sabor, es de altos contenidos tanto de azúcares como de ácidos.

4.3.1.1. Análisis de varianza

Los resultados para la variable pH a $P < 0,05$, realizando el análisis de varianza muestra que existen diferencias que estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, lo cual atribuye que los tratamientos estudiados a distintos niveles de nutrientes, en la variedad de tomate, presentaron distintos valores del pH.

Cuadro 21. Análisis de varianza para el pH

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft (5%)</i>
Tratamientos	1,04	3	0,35	5,85	3,49 *
Error	0,71	12	0,06		
Total	1,75	15			
*: Significativo NS: No significativo					
CV =	4,33%				
PROMEDIO	5,61				

El promedio obtenido del pH para los tratamientos evaluados fue de 5,61, y un coeficiente de variabilidad del 4,33%, el cual se atribuye que se tiene un error reducido y que se encuentra menor al 8% (Arteaga, 2003), que viene a ser el rango aceptable para este tipo de evaluación.

4.3.1.2. Comparación de promedios para el pH

Realizando el análisis comparativo Duncan al 5% (Cuadro 22), donde nos muestra que con la investigación realizada se encontraron tres grupos diferentes en cuanto a los promedios por cada tratamiento evaluado, es así que para T_3 (200 t/ha) y T_4 (300 t/ha), estadísticamente son similares, presentando un pH de 5,83 y 5,82, respectivamente; presentando valores más altos, seguidamente T_2 (100 t/ha) presenta un pH de 5,60 y como el valor más bajo mostro T_1 con un pH de 5,20, respectivamente.

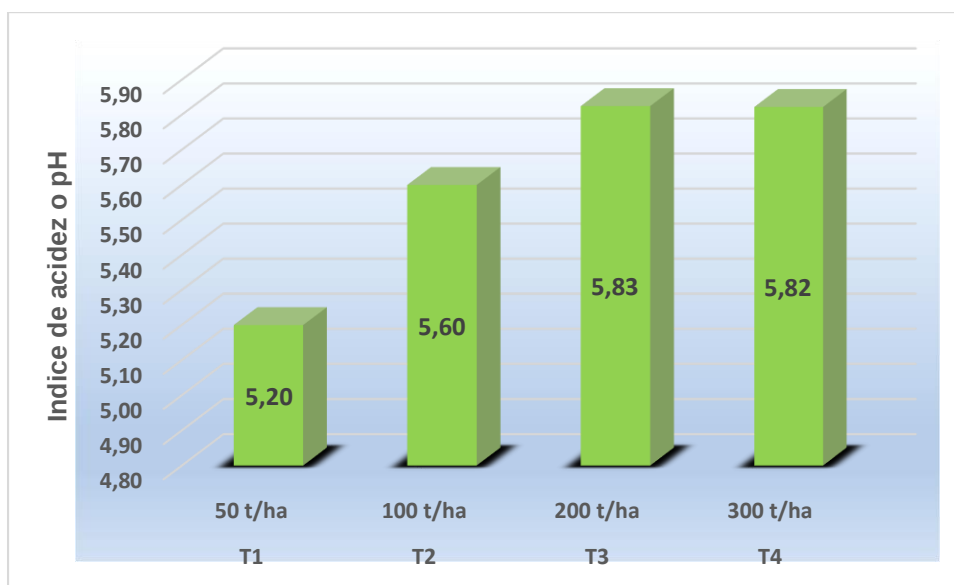
Bosques (2009), menciona que menciona que los rangos de pH normales en tomate para tener una buena calidad se encuentran entre 4 a 5. Por lo que los tratamientos estudiados en la presente investigación se encuentran en el rango aceptable a lo determinado.

Cuadro 22. Análisis comparativo Duncan para el pH

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>MEDIA</i>	<i>DUNCAN ($\alpha = 5\%$)</i>
3	5,83	A
4	5,82	A
2	5,60	B
1	5,20	C

T₁: 50 t/ha T₂: 100 t/ha T₃: 200 t/ha T₄: 300 t/ha

Por lo establecido en el párrafo antepuesto se dice que los valores de pH del presente trabajo se sitúan en el rango de pH aceptables con leve superioridad. Su bajo pH lo hace poco atractivo a la contaminación microbiana siendo suficiente la pasteurización para su envasado tras el proceso de concentrado menciona Bosques (2009). Además, se estima que uno de los factores que interviene en la determinación de *pH* fueron los tratamientos ya que dentro de los mismos se evaluó distintos niveles de nutrientes, además de la madurez, condiciones de crecimiento de la planta, el área geográfica y las labores agrícolas.

**Figura 21. Índice de acidez o pH del fruto de tomate**

Para la industria el pH del zumo de tomate se sitúa normalmente entre 4,2 a 4,4 siendo muy raro que se superen estos valores, lo que asegura la estabilidad microbiológica durante el procesado. Si en algún caso el pH es superior, se pueden presentar problemas en el procesado, siendo necesario acidular el sumo. Este valor de pH hace que el tomate sea un producto relativamente fácil de manejar.

Para las plantas el rango aceptable de pH va de 5,5 a 6,5, ya que la solubilidad de los nutrientes es afectada por el pH de la solución. Los nutrientes esenciales tales como el hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn) y boro (B) son menos disponibles para las plantas a un pH mayor a 7, mientras que la solubilidad de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y molibdeno (Mo) disminuye bruscamente a un pH inferior a 6 (Rakocy *et al.*, 2006).

4.3.2. Sólidos solubles totales o °Brix

Los Grados Brix como sustancias solubles en agua reflejan el porcentaje de la calidad de sólidos totales que contienen los frutos. A mayor valor es más deseable, un valor mayor o igual a 4.0 es considerado bueno. Existiendo una correlación directa entre sólidos solubles y firmeza, a mayor concentración mayor firmeza. Los azúcares constituyen la mayoría de los sólidos solubles en las variedades comerciales de tomate, con valores del 1.5 al 4.5 por ciento del peso fresco, lo que equivale al 65 por ciento de los sólidos solubles totales (Martínez, 2004).

4.3.2.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza para la variable grados Brix (Cuadro 23), mostró diferencias que estadísticamente son significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos de niveles de nutrientes, en la variedad de tomate estudiada, por lo cual se procedió con el análisis de comparación de medias mediante el método Duncan al 0,05 de probabilidad.

Cuadro 23. Análisis de varianza para Sólidos solubles totales

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft (5%)</i>
Tratamientos	6,78	3	2,26	28,25	3,49 *
Error	0,96	12	0,08		
Total	7,74	15			

*: Significativo NS: No significativo

CV = 5,29%
PROMEDIO 5,35

El coeficiente de variación para la presente variable de respuesta fue de 5,29%, este valor nos indica que la información es confiable y que el valor está dentro del valor permisible, con un promedio de 5,35.

4.3.2.2. Comparación de promedios para °Brix

Al realizar el análisis de varianza de los tratamientos se obtuvieron promedios para esta variable y se encontró que hubo diferencias entre los tratamientos.

Como se observa en el Cuadro 24, donde muestra que se concedieron diferencias entre los tratamientos para la variable grados *brix*, es así que el mayor valor se obtuvo con el T₃ (200 t/ha) con 6,10 °Brix, seguido de T₄ (300 t/ha); T₂ (100 t/ha) con promedios de 5,85 y 4,95 °Brix, y finalmente tenemos al T₁ (50 t/ha) con 4,50 siendo el valor más bajo de °Brix, respectivamente; estableciendo que los 4 tratamientos estadísticamente son diferentes.

Cuadro 24. Análisis comparativo Duncan para °Brix

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>MEDIA</i>	<i>DUNCAN ($\alpha = 5\%$)</i>
3	6,10	A
4	5,85	B
2	4,95	C
1	4,50	D
T ₁ : 50 t/ha T ₂ : 100 t/ha T ₃ : 200 t/ha T ₄ : 300 t/ha		

El incremento de sólidos solubles parece ser asociada con la reducción del contenido del agua en el fruto y al incremento en la acumulación de azúcares solubles (Corpeño, 2004). En el estudio realizado los valores de grados *brix* se encuentran entre 4,50 que varía hasta 6,10 correspondientemente.

La mayor parte de las variedades contiene entre 4,5 a 5,5 grados *brix*, aunque más que el carácter varietal, lo que influye en sólidos solubles son factores agrológicos, específicamente la climatología durante el período de maduración y el riego (volumen total de agua, momento de corte de riego, etc.) que pueden hacer variar el contenido en grados *brix* del fruto de una misma variedad entre 4 y 7. (Bosques, 2009).

Choque (2014), en un estudio realizado con tomates cosechados en Cochabamba determinaron valores que están comprendidos entre los 4,83 a 7,25 grados *brix*.

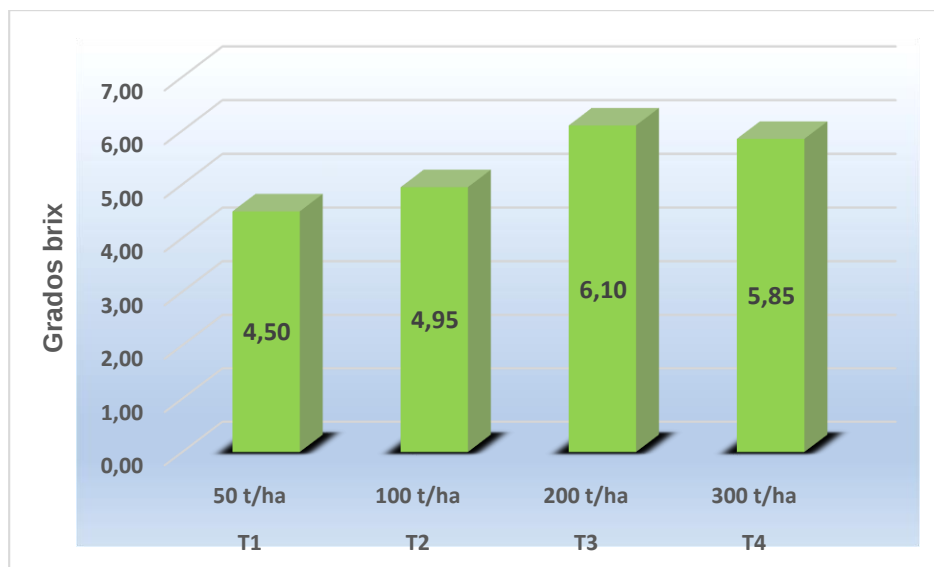


Figura 22. Contenido de sólidos solubles totales o °Brix del fruto de tomate

Por otro lado, Aguayo y Artés, (2004), mencionan que valores comprendidos entre 4 y 6 grados brix determinan una calidad óptima para el caso del tomate, así que los resultados obtenidos en el estudio se pueden decir que presentan una calidad óptima para su consumo.

También se sabe que el tamaño de los frutos es inversamente proporcional al contenido de sólidos solubles totales. Por tanto, los tomates de mayor tamaño alcanzan un rango de sólidos solubles totales entre 3 a 5 grados brix, siendo de 5 a 7 grados brix y de 9 a 15 grados brix para los tomates medianos y cherry, respectivamente.

Martínez – Barajas (2003) y Tochiuitl – Martiñon *et al.* (2017). Señalan que genotipos nativos de tomate producen frutos con una concentración de sólidos solubles mayor a la de las variedades cultivadas, cuyo contenido oscila de 3,9 5 °Brix, en condiciones de invernadero.

Los principales factores que afectan la concentración de sólidos solubles en los frutos son: el déficit hídrico en cultivos en maduración (Patane y Cosentino, 2010) y el aumento en la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en cultivos en maduración (Yurtseven *et al.*, 2005), sin embargo, consideramos que ninguno de estos factores se presentó en el presente experimento.

4.3.3. Firmeza del fruto

La firmeza es un parámetro indicativo de la calidad de los tomates frescos y procesados y está relacionada con la estructura de la pared celular y con el estado de madurez, su determinación es fundamental para aceptabilidad y almacenamiento de frutas y hortalizas. La firmeza de las frutas y hortalizas depende de la turgencia, cohesión, forma y tamaño de las células que conforman la pared celular, la presencia de tejidos de sostén soporte y de la composición del fruto. Los componentes de las paredes celulares que contribuyen a la firmeza son la hemicelulosa, la celulosa y la pectina.

Por otro lado, la firmeza depende del estado de madurez y del tipo y variedad de tomate. Es una característica decisiva en la producción de daños durante todas las etapas de la cadena, desde cosecha hasta el consumidor; incide marcadamente en la calidad y vida comercial de los frutos. En general, tanto para el manejo del producto como para el consumidor, es conveniente que el fruto permanezca firme.

4.3.3.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza para la variable firmeza (Cuadro 25), no se encuentra diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos de niveles de nutrientes, por lo cual se procedió con el análisis de comparación de medias mediante el método Duncan al 0,05 de probabilidad.

Cuadro 25. Análisis de varianza para la firmeza del fruto

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft (5%)</i>
Tratamientos	0,75	3	0,25	2,42	3,49 NS
Error	1,23	12	0,10		
Total	1,98	15			
*: Significativo NS: No significativo					
CV =	7,86%				
PROMEDIO	1,54 N				

El coeficiente de variabilidad es 7,86%, lo cual significa que los datos son permisibles por contar con un error reducido y que la misma se encuentra dentro del parámetro establecido.

4.3.3.2. Comparación de promedios para la firmeza del fruto

En el Cuadro 26, se muestra los conjuntos de significancia formados en dos grupos, en el primer T_3 (200 t/ha); T_4 (400 t/ha) y T_2 (100 t/ha) presentan medias que estadísticamente son similares, determinado que no existe significancia, con 1,73; 1,65 y 1,60 N, respectivamente. El segundo conjunto se encuentra T_1 (50 t/ha), todos los tratamientos estudiados estarían en el rango de muy suaves.

Cuadro 26. Análisis comparativo Duncan para la firmeza del fruto

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>MEDIA (N)</i>	<i>DUNCAN ($\alpha = 5\%$)</i>
3	1,73	A
4	1,65	A
2	1,60	A
1	1,17	B

T_1 : 50 t/ha T_2 : 100 t/ha T_3 : 200 t/ha T_4 : 300 t/ha

Choque E., (2014) en un estudio realizado con tomates cosechados en Cochabamba determinaron valores de firmeza entre 1,49 y 7,49 N, que corresponderían con tomates “muy blandos”, según lo indicado por Gonzales (2002), quien realiza una clasificación del tomate e indica que la firmeza, en función de la resistencia al corte, puede variar desde valores inferiores a 8 N en tomates muy blandos hasta superiores de 25 N, en tomates muy firmes.

Gonzales (2002) afirma que el tomate exhibe una tendencia hacia la disminución de la fuerza de corte durante su maduración y conservación postcosecha.

El tomate por ser un fruto climatérico, es muy sensible al manejo y condiciones de almacenamiento inapropiadas. Las temperaturas adversas contribuyen a una mala calidad del producto y con un rápido deterioro en su fisiología postcosecha (Alia, 2000), el mismo autor sostiene que la conservación del peso del fruto puede estar directamente ligada a una mayor firmeza, a un menor contenido de sólidos solubles y a un mayor contenido de almidón, donde la forma el tamaño y el peso de los frutos depende de la variedad y del manejo, aspectos importantes a considerar al momento de definir la variedad a plantar.

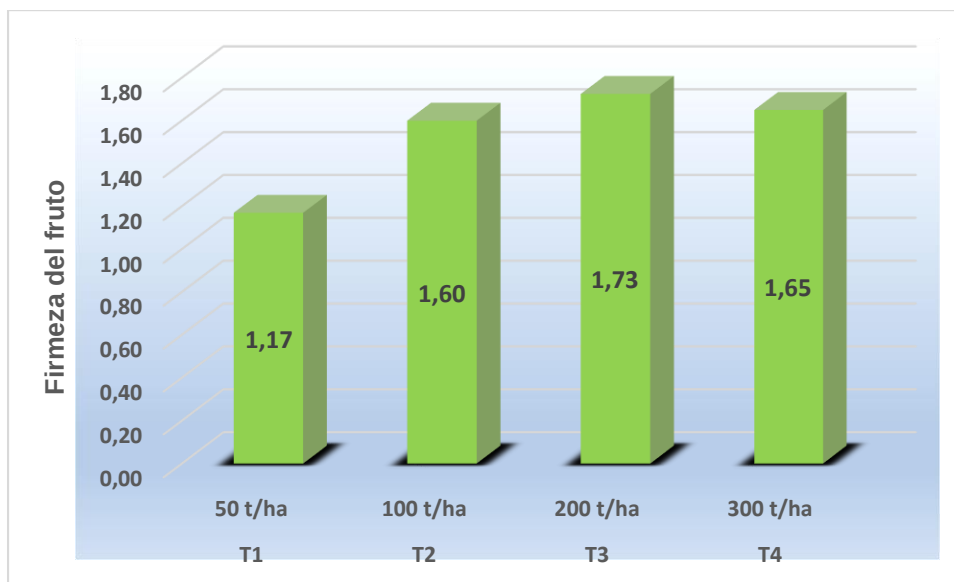


Figura 23. Firmeza del fruto de tomate

En la Figura 23, se grafica los promedios de cada tratamiento formado, donde con el dato de firmeza más alto se encuentra en el T₃ y con el más bajo dato de firmeza está en T₁, pero que todos los tratamientos estarían en el rango de muy suaves, esto posiblemente se atribuya al manejo de postcosecha.

El conjunto de sustancias responsable de la dureza de los frutos (pectinas, celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas, cationes), en la fase de crecimiento sufre modificaciones importantes durante la maduración que conducen al ablandamiento de los tejidos y a su comestibilidad. La firmeza entre cultivares varía según el número de lóculos, siendo menos blandos en general los multiloculares, obviamente influenciado por el estado de madurez (Aguilar, 2004). El mismo autor menciona que los frutos deben ser consistentes para soportar la recolección mecánica y el transporte a la fábrica sin grietas ni magulladuras. dice que la fuerza específica para el aplastamiento del fruto debe ser al menos aproximadamente de 9 y la firmeza o resistencia a la punción de al menos 130-150 g. La firmeza de los frutos es un carácter importante actualmente en la mejora de los cultivares para procesamiento industrial y es de suponer que llegue a 80-90 g para cultivares de tipo grande y de 100-140 g para los de forma de ciruela.

4.4. Variable económica

4.4.1. Análisis económico

El análisis económico es considerado como la información económica, para determinar la rentabilidad de los diferentes tratamientos y conocer cual tratamiento presenta mayor costo para el productor, a fin de recomendar esta práctica para la producción de tomate, conforme a los objetivos y perspectivas de los productores.

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de la experimentación y el respectivo análisis estadístico, es esencial, la realización del análisis económico de los resultados obtenidos en base al rendimiento, para poder realizar recomendaciones más adecuadas, combinando los aspectos agronómicos favorables de la investigación.

4.4.1.1. Rendimiento ajustado

Para el rendimiento ajustado se utilizó el 10% de ajuste para compensar el rendimiento obtenido en la parcela experimental con el rendimiento, que de acuerdo a las reglas propuestas por el CIMMYT (1998), debe ajustarse los rendimientos medios del 5 al 30%, dependiendo de las condiciones en las que se realizó el trabajo.

El rendimiento ajustado de cada tratamiento es el benéfico medio reduciendo en un cierto porcentaje con el fin de eliminar la sobre estimación del ensayo y considerando supuestas pérdidas durante la cosecha de acuerdo a recomendaciones.

4.4.1.2. Beneficio bruto

Para determinar el beneficio bruto, se calculó en base a los precios promedio en el mercado urbano de la ciudad de La Paz, el cual establece que el producto debe venderse a un costo unitario de 3 Bs/kg de producto comercial.

Cuadro 27. Beneficio bruto en (Bs/ha).

ITEMS	TRATAMIENTOS			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Rdto. promedio (kg/ha)	39950,00	70600,00	90475,00	78652,50
Rdto. Ajustado (-10%)	35955,00	63540,00	81427,50	70787,25
Precio (Bs/kg)	3,00	3,00	3,00	3,00
BENEFICIO BRUTO (Bs/ha)	107865,00	190620,00	244282,50	212361,75

T₁: 50 t/ha T₂: 100 t/ha T₃: 200 t/ha T₄: 300 t/ha

El beneficio bruto que se obtuvo de los rendimientos ajustados se muestra en el cuadro 27, el cual se multiplico por el precio de venta en el mercado, donde en la investigación realizada, donde T₃ (200 t/ha) presento mejor ingreso bruto con 244282,5 Bs/ha, seguido de T₄ (300 t/ha) y T₂ (100 t/ha), con valores de 212361,75 y 107865,00 Bs/ha respectivamente, y el tratamiento que obtuvo menor beneficio fue T₁ (50 t/ha) con 107865,00 Bs/ha.

4.4.1.3. Costos variables

Los costos variables son los costos relacionados con los insumos comparados, la mano de obra utilizado para las actividades productivas que varían entre los tratamientos.

Cuadro 28. Costos variables (Bs/ha).

COSTOS	TRATAMIENTOS			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Insumos	74552,33	76501,67	78975,00	79835,00
Mano de obra	15000,00	15000,00	15000,00	15000,00
Gastos imprevistos (10%)	8955,23	9150,17	9397,50	9483,50
TOTAL COSTOS (Bs/ha)	98507,57	100651,83	103372,50	104318,50

T₁: 50 t/ha T₂: 100 t/ha T₃: 200 t/ha T₄: 300 t/ha

En el Cuadro 28, muestra los costos variables los tratamientos, mismo que fue estimado con rendimientos promedios para una hectárea de producción.

4.4.1.4. Beneficio neto

Es el valor de todos los beneficios brutos de la producción, menos los costos variables y fijos.

Cuadro 29. Beneficio neto (Bs/ha).

ITEMS	TRATAMIENTOS			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Beneficio bruto	107865,00	190620,00	244282,50	212361,75
Total costos	98507,57	100651,83	103372,50	104318,50
BENEFICIOS NETOS	9357,43	89968,17	140910,00	108043,25

T₁: 50 t/ha T₂: 100 t/ha T₃: 200 t/ha T₄: 300 t/ha

El Cuadro 29, muestra el análisis realizado del presupuesto de los tratamientos estudiados durante la investigación y rendimientos obtenidos, donde podemos indicar los siguientes resultados, generando los mayores beneficios netos con T₃ (200 t/ha) y T₄ (300 t/ha) con 140910,00 y 108043,25 Bs/ha respectivamente, por otra parte, con T₁ y T₂ mediante los cálculos realizados también presentan beneficios netos.

4.4.1.5. Relación Beneficio/Costo

La Relación beneficio/costo (B/C), nos indica el retorno en dinero obtenido por cada unidad monetaria invertida. Por definición, resulta de dividir el ingreso bruto entre el costo total

Cuadro 30. Relación Beneficio Costo (B/C) de tratamientos

ITEMS	TRATAMIENTOS			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Beneficio bruto	107865,00	190620,00	244282,50	212361,75
Total costos	98507,57	100651,83	103372,50	104318,50
RELACION B/C	1,09	1,89	2,36	2,04

T₁: 50 t/ha T₂: 100 t/ha T₃: 200 t/ha T₄: 300 t/ha

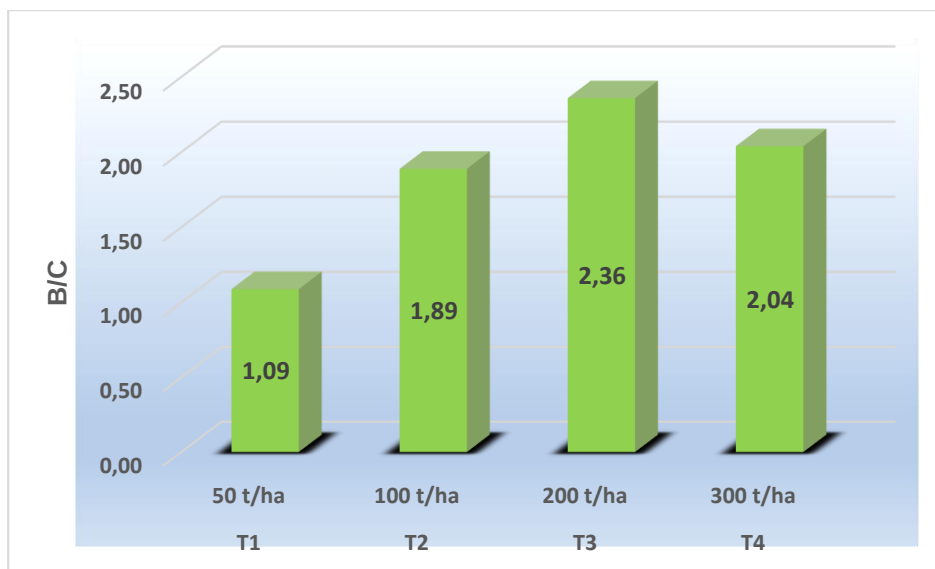


Figura 24. Relación Beneficio Costo (B/C)

Realizando el análisis de relación Beneficio/Costo, en base a los costos de producción, donde dicho análisis demuestra que; la relación Beneficio/Costo es mayor que uno para Todos los tratamientos (50 t/ha, 100 t/ha, 200 t/ha y 300 t/ha) - ($B/C > 1$), en consecuencia, estos son económicamente rentables.

Los resultados de beneficio/costo nos sostiene que, si la relación es mayor que uno se considera que existe un apropiado beneficio, si es igual a uno los beneficios son iguales a los costos de producción y la actividad no es rentable, valores menores a uno indica pérdida y actividad no es productiva.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados para la investigación se llegan a las siguientes conclusiones según los resultados obtenidos.

- Respecto a la hipótesis planteada para la presente investigación se rechaza y se concluye que existe diferencias significativas para las variables agronómicas (altura de planta, número de racimos por planta, número de frutos por racimo, peso del fruto y rendimiento) de la misma manera se encontró que existe diferencias en la evaluación de los parámetros de calidad de fruto (Índice de acidez o pH y para sólidos solubles totales o °Brix), a excepción del parámetro firmeza del fruto donde se acepta la hipótesis planteada.
- La mayor altura de planta presentó T_4 (300 t/ha), con una media estadística de 1,55 m, para el número de racimos por planta el tratamiento que obtuvo mayor número fue T_3 (200 t/ha) con una media de 13 racimos por planta, para el número de frutos por racimos T_3 (200 t/ha), alcanzando un promedio de 6 frutos por racimo aproximadamente y con relación al comportamiento productivo del peso del fruto, se determinó que la aplicación de nutrientes por cada tratamiento influyó en el peso final por unidad de fruto, es así que T_3 (200 t/ha) presentó el promedio mayor en relación a los demás tratamientos comparados, con 123,13 g de peso por fruto respectivamente.
- En cuanto a la variable rendimiento, T_3 (200 t/ha) obtuvo el mejor rendimiento, alcanzando 90,48 t/ha, es así que se encontró diferencias que estadísticamente fueron diferentes entre los tratamientos evaluados, mientras que el promedio más bajo lo presentó T_1 (50 t/ha) con 39,95 t/ha, respectivamente. Comprobándose que el uso de los niveles crecientes de nutrientes respecto de cada tratamiento influyó en el rendimiento de frutos, en la variedad de tomate estudiada.
- Desde el punto de vista económico todos los tratamientos reflejaron valores positivos mayores a 1, por lo cual el cultivo se considera rentable, obteniéndose mayores beneficios con T_3 (200 t/ha) con un valor de $B/C = 2,36$.

6. RECOMENDACIONES

Para concluir este apartado, señalaremos que, al margen de estas orientaciones, hay que tener en cuenta que la técnica de fertirrigación exige ciertos conocimientos para poder desarrollarla adecuadamente, por ello recomendamos acudir a un técnico para que elabore el plan de actuación más conveniente (análisis de agua, abonos a utilizar, mezclas, etc.).

Para realizar una fertirrigación eficiente del cultivo del tomate, primero, es necesario conocer las necesidades del cultivo, es decir, la cantidad de nutrientes que debemos de aportar, teniendo en cuenta la fase fenológica en la que se encuentra la planta. Estas necesidades se corresponden con las extracciones del cultivo, corregidas en función de diferentes parámetros como el tipo de suelo, las aportaciones que realizan el suelo y el agua de riego y las pérdidas asociadas normalmente al sistema de fertirrigación (coeficiente de uniformidad, eficacia de la aplicación y fracción de lavado).

La fertirrigación del cultivo del tomate en invernadero, es decir, el suministro de nutrientes a la planta a través del sistema de riego, se realiza para aportar los elementos nutricionales esenciales para el desarrollo del cultivo que el suelo no es capaz de aportar en una cantidad adecuada.

Sin embargo, es importante continuar con otros estudios y ampliar los trabajos de investigación en el cultivo de tomate con diferentes niveles de nutrientes y replicarlos en otras zonas a nivel departamental y nacional, recomendable el aprovechamiento del material genético con que se cuenta en el Banco Nacional del INIAF.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, E.; Artés, F. 2004. Elaboración del tomate mínimamente procesado en fresco. Compendios de Horticultura. Ediciones de Horticultura S.L. Reus (España)
- Alcázar V. 1997. Evaluación Agronómica de Trece Variedades de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de Grado Fac. De Agronomía-U.M.S.A. La Paz - Bolivia.
- Alcántar González Gabriel., Libia I. Trejo Téllez. 2007. Nutrición de Cultivos. Editorial Mundi Prensa. Primera Edición. México. Pág. 131.
- Alia, T.I. 2000. Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey revista Chapingo. Horticultura 6. 73-77 p.
- Arana, I.; Jarén, C.; Arazuri, S.; García, M. 2007. Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo y variedad. <http://www.horticom.com/pd/imagenes/67/359/67359.pdf>.
- ARSHAD M., RASHID A. (1999). Yield comparison between two varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under the influence of NPK. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2: 635 – 636
- Arteaga, F. 2003. Polinización artificial en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), en relación al tiempo de almacenamiento de polen en invernadero. Tesis de Grado. UMSA-Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 36-68 p.
- Arteaga, Y., 2003. Diseños Experimentales. E.M.I. La Paz, Bolivia 164 p.
- Augstburger, F., Veliz, F. 2013. Agricultura Orgánica en Bolivia: Aciertos y Desafíos En AOPEB; Boletín Informativo. Vol. La Paz, Bolivia.
- Avilés, D. 1992. Evaluación comparativa de sistemas microclimáticos para la producción de hortalizas en la provincia Pacajes, Depto. de La Paz. Tesis de grado. UMSA: La Paz, Bolivia. 157 p.
- Balcaza, L; Fernandez, R. 1992. Cultivos bajo cubierta. Revista de divulgación Científica Tecnológica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina. P 4- 8. www.inta.gov.ar/bn/info/proyectos/banor06_proy_com.htm.

- Beecher, G. 1998. Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Exp. Biol.* 98-100 p.
- Berbesí, M.; Díaz, R.; Guevara, L.; Tapia, M. 2006. Calidad higiénica y patógenos asociados con melones mínimamente procesados expendidos en supermercados. Desarrollo de tecnologías para la conservación de vegetales frescos cortados. I Simposio Ibero-Americano de Vegetales Frescos Cortados. Brazil.
- Bernat, J; Vitoria, J.; Martínez, J. 1ed. 1994. Invernaderos: construcción, manejo y rentabilidad. Editorial Aedos. Barcelona España.
- BERTSCH, F., RAMÍREZ F. Y HENRÍQUEZ C. (2009). Evaluación del fosfito como fuente fertilizante de fósforo vía radical y foliar. *Agronomía Costarricense*.
- Blanco-Macías, F. Lara-Herrera, A.; Valdez-Cepeda, R. D.; Cortés-Bañuelos, J. O.; Luna-Flores, M.; Salas-Luevano, M. A. 2006. Interacciones nutrimentales y normas de la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, julio-diciembre, año /vol. 12, número 002. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México. Pág. 166.
- Bolaños Herrera Alfredo. 2001. Introducción a la Olericultura. Primera Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José Costa rica. Pp. 70-76.
- Bosquez, M. 2009 Fisiología y tecnología pos cosecha de frutas y hortalizas practica de laboratorio núm. 2.
- Burgueño, H. 2022. La Fertirrigación. Memorias del 2° Simposio Nacional de Horticultura. "Nutrición de Cultivos Hortícola". Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Castellanos. J.Z., J.X. Uvalle Bueno., A. Aguilar Santelises. 2000. Manual Segunda Edición. Colección INCAPA. México. Pp.- 72-166.
- Cardona, E.M. 2006. Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto (Tesis). Medellín: Universidad de Antioquia.
- Casas, A., Casas, E., 1999. Al análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular. *Caja Rural de Almería*.

- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), 2012. El Cultivo de Tomate. 350 p.
- Ceballos-Aguirre N; Vallejo-Cabrera FA; Arango-Arango N (2012). Evaluación del contenido de antioxidantes en introducciones de tomate tipo cereza (*Solanum* spp.).
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal), 2002. Guía Técnica Programa de Hortalizas y Frutales. Cultivo de tomate. Ed. La Libertad, 8-9-13 p.
- Choque, E. 2014. Caracterización y evaluación química de fruto en germoplasma nativo e introducido de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) del Banco de Germoplasma del INIAF. Tesis de Posgrado para obtener el grado de “Maestría en Conservación, Manejo de Recursos Filogenéticos y biotecnología vegetal aplicada”. UMSS-Posgrado. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Cochabamba, Bolivia.
- CIMMYT, 1998. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos, Manual metodológico de evaluación, Editorial Reviste, México – D. F. 75-79 p.
- CIPCA. (Centro de Capacitación para el Campesinado) 2002. Abonos, Insecticidas y Funguicidas Orgánicos. Primera Edición. La Paz – Bolivia. p 13 – 26
- CHURQUINA, V. (2003). Guía Técnica para la Construcción y Manejo de Carpas Solares. La Paz.
- Ciruelos, A.; Carreras, R.; González, C. 2007. Parámetros de calidad en el tomate para industrias. Disponible en: http://cajabadajoz.es/Agricultura_07/pdf/009.pdf.
- CNPSH. (Centro Nacional de Producción de Semillas de Hortalizas), 2005. Cultivo del Tomate. Cochabamba, Bolivia 3-11 p.
- CNPSH. 1998. Cultivo del Tomate. Ed. Centro Nacional de Producción de Semillas de Hortalizas. Cochabamba-Bolivia. 3-11 p.
- Coarite, P. 2006. Efecto de la ceniza en el manejo ecológico de tomate. Tesis de grado. UMSA-Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.
- Collao, G., Sergio Gabriel M. 2012. Efecto del biol y agrispon en la producción del tomate. Tesis de grado en la Univ. Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.

- Corpeño, B. 2004. Manual del Cultivo del Tomate, Editorial IDEA. Centro de Inversión, Desarrollo y exportación de Agronegocios, El Salvador. 5-20 p.
- CORPOICA, 2006. Centro de Investigación La Selva Rio negro, Antioquia, Colombia, boletín técnico 21 p.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). (2012). Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. 482 p.
- de tomate bajo condiciones protegidas. 482 p
- Disagro 2001 Publicaciones: Plan de manejo para el cultivo del tomate. Disponible en <http://www.disagro.com/tomate/tomate5.htm>.
- Dogliotti, S. 2003. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de Tomate. Universidad de la República- Facultad de Agronomía. Uruguay.
- Dumas, Y. Dadomo, M., Lucca, G.D.; Grolier, P. 2003. Effects of environmental techniques on antioxidant content of tomatoes. Food Agric. 369-382 p.
- Escobar, H., Lee, R. 2011. Producción de tomate bajo invernadero. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. 127 p.
- Espinoza, C. y Andrade, R. 1998. Cultivo de Tomate. Centro Nacional de Producción de Semillas de Hortalizas. Cochabamba-Bolivia.
- FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. Cuarta Edición. Roma. Pp.- 6-49.
- FAO. (2003). Manual Técnico de Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción del Tomate Bajo Condiciones Protegidas. Roma.
- FAO (2004) "Efectos del Agua sobre el rendimiento de los cultivos" ESTUDIO FAO –RIEGO Y DRENAJE No.33- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. J. Doorenbos. / A. H. Kassa Roma 1980, 215 pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2013. Rendimiento del tomate (en línea). disponible en <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>

- FAO (Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y La Agricultura). 2013 El Cultivo de Tomate, Buenas Prácticas Agrícolas en la Agricultura Urbana y Periurbana.
- FERNÁNDEZ GÓMEZ R. (2010) "Manual de riego para agricultores-Módulo 4. Riego localizado" Manual y Ejercicios [et al.].- Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 154 p. (Agricultura. Formación Andalucía Consejería de Agricultura y Pesca
- Fernández, R.V.; Sánchez, M.; Cámara, M.; Toriza, E.; Chaya, B.; Galiana, L.; Rosello, S.; Nuez, F. 2004. Internal quality characterization of fresh tomato fruits. Hort Science.
- Flores, A. 2009. Horticultura. Visión Mundial-Bolivia. La Paz, Bolivia.
- Flores, P.; Navarro, J.M.; Carvajal, M.; Cerda, A.; Martínez, V. 2003. Tomato yield and quality as affected by irrigation quantity and calcium source. 211-214.
- Flórez Serrano Javier. 2009. Agricultura Ecológica. Editorial Mundi prensa, España. Pp.- 64.
- Fontanetto H., Bianchini A. 2010. Análisis de suelos, La base para fertilizar adecuadamente los cultivos forrajeros. Producir XXI, Bs. As., 19(230):64-67. Pág.2.
- González, J.M. 2002 Caracterización de material vegetal de tomate para su posible uso en la Agricultura Ecológica. Trabajo Fin de Carrera. Universidad de Sevilla.
- González, N. 2012. Los tomates y los chiles del futuro. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Año dos mil, S.A. México, D.F. 28 p.
- Halfacre, G. 1992. "Horticultura" CATIE. Bogotá Colombia. p. 727.
- Hartmann, F. 1990. "Invernaderos y ambientes atemperados". Ed. Ooffsed Bolivia Ltda. La Paz, Bolivia. 9-30 p.
- Huerres, C. y Carballo, N. 1991. Horticultura. Ediciones Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana-Cuba. 95-105 p.

iagua. 2017. Consultado el 20 de octubre de 2023. Disponible en <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-aguarego#:~:text=El%20agua%20con%20un%20pH,concentraci%C3%B3n%20de%20iones%20H%2B>).

IBTA (Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria) 1991. Informe Técnico sobre el cultivo de tomate.

IGM (Instituto Geográfico Militar), 2006. Mapa fisiográfico y cartográfico. La Paz-Bolivia.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. (2011). Guía para cultivar jitomate en condiciones hidropónicas de invernadero.

Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria y Misión Técnica Alemana (1987). Cochabamba-Bolivia.

Jack D.B. 1995. Keptakingthetomatoestheexcitingworld of nutraceuticals.Molecular Medicine Today. 118-121 p.

Jano, F. 2006. "Cultivo y Producción de Tomate". Ed. Ripalme. Lima, Perú. 134 p.

Jaramillo, J., Rodríguez, V.P., Guzmán, M., Zapata, M., Rengifo, T. 2007. Manual técnico: buenas prácticas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. FAO.

KHOL, B. 1990, "Diagnostico de los sistemas de cultivo protegidos en el Altiplano Boliviano". La Paz, Bolivia. SEMTA. 80 p.

Machicado, A. 1995. Evaluación de Características Agronómicas y Rendimiento de Tres Cultivares de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesina de Grado Fac. De Agronomía-U.M.S.A. La Paz - Bolivia.

Mallarino Antonio P. 2005. Manejo de la Fertilización con Fósforo y Potasio para Maíz y Soja en el Centro-Oeste de los Estados Unidos. Department of Agronomy, Iowa State University Ames, IA 50011, EE.UU. Pág. 4.

Mallea, P. 2004. Evaluación del Comportamiento de 6 Variedades de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Asociación con Fríjol en San Buenaventura. Tesis de Grado Facultad de Agronomía-U.M.S.A. La Paz, Bolivia.121 p.

Maroto, J. 2015. Horticultura Herbácea Especial. Ed. Mundi. Madrid, España67 p.

- Menezes, R.1992. Producción de tomate en América Latina y el Caribe 1ra, Edición Santiago, Chile. FAO.212 p.
- Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. 2009. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. España. Pp.- 27-37
- Miranda, V. (2005). "Efecto del uso de abonos orgánicos líquidos y diferentes métodos de polinización sobre el rendimiento de variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum*), en carpas solares" Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía, La Paz-Bolivia.
- Moreno, D. 2005. Evaluación de Trece Cultivares de Híbridos de Tomate (*Lycopersicon Esculentum Mill*) en Tocarón, Aragua Venezuela. Universidad de Los Andes, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP). Mérida, Venezuela 223-231p.
- MORENO, V. (2003). Seminario de Riego, Drenaje y nutrición. La Habana.
- Moreno Casco Joaquín., Raúl Moral Herrero. 2007. Compostaje y nutrientes. Editorial Mundi prensa. Madrid España. Pág.- 362
- Navarro LER; Nieto AR; Corrales GJ; García MMR; Ramírez AM (2012). Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. Rev. Chapingo Serie Horticultura.
- Navarro. Blaya Simón., Navarro García Ginés 2003. Química Agrícola, 2da edición, Editorial Mundi Prensa, España. Pp.- 161-167.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Oliveira. Prendes. J.A., E. Afif. Khouri., M. Mayor. López. 2006. Análisis del Suelo y Plantas y Recomendaciones de Abonado. Universidad de Oviedo. España. Pp. 12-38.
- Páez A, Paz V, López J. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. *Rev Fac Agron.* 17 (2): 173-84.

- Patane, C., and S. L. Cosentino, 2010. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*.
- PAYE, V. (2015). 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 Maestría. La Paz - Bolivia, UMSA, 3 - 57 p.
- PAYE, V. (2010). Introducción a Hidroponía. La Paz: Paye, pags 25 - 38.
- PDM (Plan de Desarrollo Municipal). 2001-2005 Laja. La paz, Bolivia.
- Piaggese A., 2004. Los microelementos en la nutrición vegetal. Valagro SpA
- Plaster, E. (1997). La ciencia del suelo y su manejo. Madrid, España.
- Pomier, D. 1998. Evaluación Agronómica de cuatro variedades de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) En el Altiplano. Tesis de Grado Facultad de Agronomía-U.M.S.A. La Paz - Bolivia.
- Programa de Desarrollo Alternativo Regional PDAR. 2006. Desarrollo alternativo trópico de Cochabamba, Bolivia. 17-20 p.
- PTDI (Plan Territorial de Desarrollo Integral)2016-2020. Laja. La paz, Bolivia.
- Racocy J. E. 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture. Southern Regional Aquaculture Center. USDA.
- Ramírez, H.; Encina, L.; Benavides, A.; Robledo, V.; Hernández, J.; Alonso, S. 2004. Influencia de la temperatura sobre procesos fisiológicos en postcosecha de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Agraria Nueva Época* 31-37 p.
- Riaño, G. 1992. Diseño arquitectónico y cálculo de climatización de un invernadero. Ed. sudamericana. Buenos Aires, Argentina. 40 p.
- Rodríguez, F. 1984. Fertilizantes y Nutrición Vegetal. Ed. A.G.T. México D.F.
- Rodríguez, H. (2009). Soluciones Nutritivas Hidropónicas: Factores y Criterios para su formulación. II CONGRESO INTERNACIONAL DE HIDROPONÍA, (pág. 17). San José, Costa Rica.

- Rodríguez, R. 1989. Cultivo Moderno del Tomate. Ed. Mundi. Madrid – España. 18-19 p.
- Rodríguez Dimas Norma., P. Cano Ríos., U. Figueroa Miramontes., E. Fabela Chávez., A. Moreno Reséndez., C. Márquez Hernández., E. Ochoa Martínez., P. Preciado Rangel. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Terra Latinoamericana, vol. 27, núm. 4, Octubre-diciembre, pp. 319-327.
- Rojas, F. 2001. Catálogo de Plantas. Texto de Taxonomía Vegetal. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz, Bolivia.
- Ruiz, V. J.; Aquino B.T. 2010. Control integrado de mosquita blanca en tomate y chile por métodos de bajo impacto ecológico. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca.
- Salazar, H.; Castro, R. 1994. Evaluación y manejo de enfermedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) bajo invernadero. Editorial Sudamericana. Buenos Aires, Argentina. 29-37.
- Sánchez, 2004. "Cultivo y Producción de Tomate". Ed. Ripalme. Lima, Perú. p.134.
- Sarro, M.J.; Canahía, C.; Carpena, O. (1985). Balance iónico en savia como índice de nutrición del tomate. Nueva metodología aplicable in suto. Anal. Edaf. y Agrobiología. Pág. 175.
- SEMTA.1984. Cultivos de Hortalizas en el Altiplano. La Paz-Bolivia.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) 2016. Informe Climático del municipio de Laja.
- SERRANO G.C. (2014) "Ingeniería del Riego Tecnificado" Universidad Pública de El Alto – Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología – DICYT Instituto de Investigación y Extensión Agrícola-IINEA-Primera Edición Enero 2014-182 pp
- Serrano, S. 1992. Cultivo de hortalizas en invernaderos. 4ed. Ed. Aedos. España. 360p.

- Seymour G (2016). Salad days—tomatoes that last longer and still taste good. University, Nottingham. UK. <https://www.nottingham.ac.uk/news/pressreleases/2016/july/salad-days-tomatoes-that-last-longer-and-stilltaste-good.aspx>.
- SIAR. 2005. Fertirrigacion. Hoja informativa. CREA. Castilla – La Mancha. España.
- Taiz Lincoln y Zeiger Eduardo, 2006. Fisiología Vegetal. Editorial Universitat Jaume I. Tercera Edición. Valencia España. Pp.- 128-130.
- Terán, P. 2002. Introducción de tres variedades de Tomate (*Lycopersicon esculentum*). En las épocas de siembra bajo carpa solar, en la comunidad Totora Pampa en el municipio de Tacopaya. Tesis de Grado. U.M.S.S-Facultad de Agronomía. Cochabamba, Bolivia.
- Tisadale, S.W. t W. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial Uteha. México, D.F. Pp. 138 – 165.
- Tiscornia, J. 1982. Cultivo de hortalizas terrestres. Ed. Albatros. Buenos Aires, Argentina.
- Torrez, V. 2014. Productividad de 63 Híbridos de Tomate (*Solanum Lycopersicon Miller*) Introducidos en la estación experimental de Cota Cota. Tesis de grado UMSA-Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.
- UAC (2009) “Universidad Catolica Boliviana” Batallas – Asignatura Fertilidad y Nutricion Vegetal – Produccion de Compost Alto Relieve.
- Usnayo Laura, P. (2016). Efecto de la aplicacion del acido giberelico sobre el rendimiento del cultivo de tomate en la produccion otoño—Invierno en ambiente protegido. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía, La Paz-Bolivia.
- Usón Murillo A., Jaume Boxiadera Llobet., Ángela Bosch Serra., Alberto Enrique Martín. 2010. Tecnología de Suelos: estudio de casos. 1ra edición. Ediciones de la Universidad de Lleida. España. Pp.- 110-118.
- Valdez, M., Dgive Carol. 1998. Tesis. Perspectivas de la producción y la comercialización de hortalizas orgánicos en caso de la asociación “La naturaleza”. 105 p.

- Van Haeff, N. 1992. Manual para la Producción Agropecuaria Tomates. Editorial Trillas. México D. F. 45-48 p.
- Vidal, P. I. 2019. Fertirrigación: desde la teoría a la práctica. Editorial Universidad de Concepción ed. Chile, 249 p.
- Vigliola, M. 1992. Manual de Hortalizas Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires Argentina 167 p.
- Villareal, Rubén L. 1982. Tomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 184 p.
- Villarroel, L. D. 1997. Manejo Integrado de Plagas. Tomo 1. Cochabamba, Bolivia. 145p.
- Yurtseven, E., G. D. Kesmez and A. Unlukara, 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central Anatolian tomato species (*Solanum lycopersicum*). Agricultural Water Management.
- Zapata, L.M.; Gerard, L.; Davies, C. 2007. Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates, Ciencia, Docencia y Tecnología. 193 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Deficiencia de nitrógeno, a) deficiente contenido de N y b) óptimo contenido de nitrógeno (The American Phytopathological Society, 2001).



Anexo 2. Deficiencia de fósforo en planta de tomate (The American Phytopathological Society, 2001).



Anexo 3. Deficiencia de potasio en plantas de tomate a) The American Phytopathological Society, 2001, b) Epstein and Bloom 2004 en Plant Physiology, Fifth Edition by Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger 2010.



Anexo 4. Deficiencia de calcio en el fruto, pudrición apical (Intagri, 2009) y como se manifiesta en la planta (Epstein and Bloom 2004 en Plan Physiology by Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger 2010).



Anexo 5. Manifestaciones de deficiencia de magnesio en plantas de tomate, a) The American Phytopathological Society, (2001) y b) Cultivo de tomate en invernadero, Campus Amazcala, UAQ.



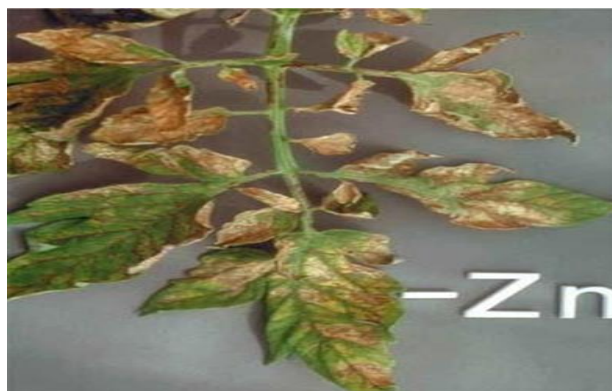
Anexo 6. Deficiencia de hierro en plantas de tomate (The American Phytopathological Society, 2001).



Anexo 7. Deficiencia de manganeso en planta de tomate (lc-2000, UAQ).



Anexo 8. Deficiencia de zinc en hojas de tomate (Epstein and Bloom 2004 en Plant Physiology, Fifth Edition by Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger 2010).



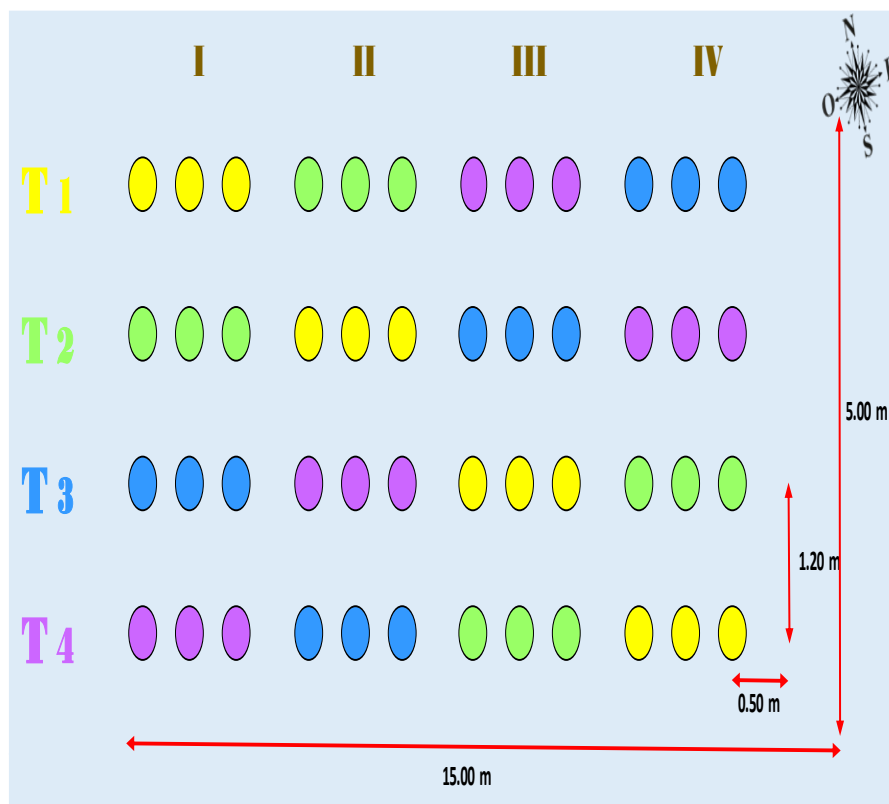
Anexo 9. Deficiencia de cobre en hojas de tomate (Epstein and Bloom 2004 en Plant Physiology, by Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger 2010).



Anexo 10. Deficiencia de molibdato (Epstein and Bloom 2004 en Plant Physiology, Fifth Edition by Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger 2010).



Anexo 11. Croquis del experimento



Anexo 12. Establecimiento del cultivo e instalación de sistema de fertirriego



Anexo 13. Tutorado del cultivo de tomate



Anexo 14. Preparación de soluciones nutritivas**Anexo 15. Calibración de pH y CE****Anexo 16. Fructificación del cultivo de tomate**

Anexo 17. Floración del cultivo de tomate

Anexo 18. Análisis de suelo

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S17/21

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S17/21

Cliente:	AGRONOMÍA - UPEA
Solicitante:	Ing. Victor Paye Huaranca
Dirección del cliente:	C/Nardin Rivas, Nro. 380
Procedencia de la muestra:	Kallutaca
	Provincia: Los Andes
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Horti - 1
Responsable del muestreo:	Ing. Victor Paye Huaranca
Fecha de muestreo:	01 de julio de 2021
Hora de muestreo:	09:00
Fecha de recepción de la muestra:	01 de julio de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 01 al 20 de julio, 2021
Caracterización de la muestra:	Suelo Horizonte A
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Nylon
Código LCA:	17-1
Código original de muestra:	H-1 Suelo

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	H-1 Suelo 17-1
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,7
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	554
Fósforo disponible (P)	ISRIC 14-3	P /mg*kg-1	1,5	17
Nitrógeno total	ISRIC 6	%	0,0014	0,55
Carbón orgánico	ISRIC 5	%	0,060	3,1
Materia orgánica	ISRIC 5	%	0,10	5,3
Sodio intercambiable	ISRIC 9	cmolc/kg	0,00083	0,99
Potasio intercambiable	ISRIC 9	cmolc/kg	0,0053	0,92
Calcio intercambiable	ISRIC 9	cmolc/kg	0,016	9,5
Magnesio intercambiable	ISRIC 9	cmolc/kg	0,00083	5,2
Acidez intercambiable	ISRIC 11	cmolc/kg	0,050	< 0,050
Carbonatos	ISRIC 13-61	Cualitativo	-	Ausente
Textura				
Arena	DIN 18 123	%	2,5	11
Limo	DIN 18 123	%	1,1	18
Arcilla	DIN 18 123	%	1,1	71
Clase textural	DIN 18 123			Arcilla

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)
- Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

- * Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
- * La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Julio 30 de 2021

Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Anexo 19. Análisis de agua

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 71/21

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO EN AGUA A 71/21

Cliete:	UPEA - AGRONOMÍA
Solicitante:	Ing. Victor Paye Huaranca
Dirección del cliente:	Nardín Rivas, Nro. 850
Procedencia de la muestra:	Comunidad de Kallutaca
	Provincia: Los Andes
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Pozo - 1, Horti
Responsable del muestreo:	Ing. Victor Paye Huaranca
Fecha de muestreo:	13 de agosto de 2021
Hora de muestreo:	11:30
Fecha de recepción de la muestra:	16 de agosto de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 16 al 30 de agosto, 2021
Caracterización de la muestra:	Agua de Pozo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Botella Pet
Código LCA:	71 - 1
Código original:	P-1 Agua de Pozo

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	P-1 Agua de Pozo 71 - 1
Alcalinidad total	EPA 310.1	mg CaCO ₃ /l	5,0	43
Acidez	EPA 305.1	mg CaCO ₃ /l	2,0	< 2,0
Bicarbonatos	EPA 310.1	mg/l	6,0	43
Boro	AZOMETINA -H	mg/l	0,040	0,043
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	11
Carbonatos	EPA 310.1	mg/l	3,0	< 3,0
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0,020	2,3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	162
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO ₃ /l	1,0	50
Fósforo soluble	EPA 365.2	P-PO ₄ ~mg/l	0,010	< 0,010
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0,18	5,5
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0,30	0,77
pH	EPA 150.1		1 - 14	6,7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	2,8
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	12
Sulfatos	SM 4500-SO ₄ =E	mg/l	1,0	29
Cobre	EPA 220.2	mg/l	0,050	< 0,0050
Hierro	EPA 236.2	mg/l	0,050	0,27
Manganeso	EPA 243.2	mg/l	0,020	< 0,020
Niquel	EPA 249.1	mg/l	0,040	< 0,040
Cinc	EPA 289.2	mg/l	0,038	< 0,038

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)

EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.

La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 30 de Agosto de 2021

Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

JCH/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia