



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO

**Caracterización fenológica acorde a la escala BBCH de dos grupos
agronómicos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), cultivados en
condiciones controladas**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Guachizaca León, Alexandra Paulina

DIRECTOR: Acosta Quezada, Pablo Geovanny, Ph.D.

LOJA - ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D.

Pablo Geovanny Acosta Quezada.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “**Caracterización fenológica acorde a la escala BBCH de dos grupos agronómicos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), cultivados en condiciones controladas**” realizado por **Alexandra Paulina Guachizaca León**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre 2016

f).....

Ph.D. Pablo Geovanny Acosta Quezada.

C.I. 1102903679

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, **Alexandra Paulina Guachizaca León** declaro ser autora del presente trabajo de titulación: **Caracterización fenológica acorde a la escala BBCH de dos grupos agronómicos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), cultivados en condiciones controladas**, de la Titulación de **Ingeniería Agropecuaria**, siendo Pablo Geovanny Acosta Quezada director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Alexandra Paulina Guachizaca León

C.I. 1104090608

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a la Churonita por darme salud y fortaleza para culminarlo.

A mis padres Luis y María por la oportunidad que me brindaron para terminar mis estudios, por ser mi apoyo incondicional siempre, gracias por su amor, consejos, ánimos para continuar y sobre todo por confiar en mi.

Al amor de mi vida, mi hijo David Alejandro que ha sido mi inspiración, mi motivo de superación y mi apoyo. A mi otro amor, Antonella que fué tan valiente y me acompañó en toda la fase de campo, ambos son mi alegría y la razón que me anima a continuar.

Mis hermanas Marcia y María Verónica que me han ayudado tanto para que yo pueda realizar este trabajo, por sus palabras de aliento y motivación.

A mi cuñado Nicolás Suing por orientarme, enseñarme con tanta paciencia, por todo el tiempo dedicado a pesar de todo el trabajo que tiene.

Mi querido sobrino Nicolás Antonio, por su compañía, ayuda y al igual que mis hijos por la alegría y entusiasmo que comparte.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento sincero a la Titulación de Ingeniería Agropecuaria, a cada uno de sus docentes, los que contribuyeron a mi formación académica, en especial al Dr. Pablo Acosta quien guió y orientó mi trabajo investigativo, al Dr. Daniel Capa, Ing. Diego Chamba, gracias por sus revisiones, consejos y sugerencias para que este trabajo culmine con éxito.

A la Dra. Natacha Fierro por ser, aparte de una excelente maestra, una amiga, gracias por cada uno de sus consejos.

A la ingeniera Tanya Riofrío, que me ayudó, acompañó y enseñó durante el desarrollo de este trabajo.

La ingeniera Yesenia Chamba que siempre estuvo dispuesta a darme una mano cuando lo necesité, al Ing. Alan Jaramillo, Ing. Gladis Calderon, Yuri Puglla, Alex Pardo, gracias por esos buenos momentos compartidos en el laboratorio.

A mis compañeros Luis Jaramillo, Vicente Churo, José David Alejandro, Katty Abad, Luis Mora, Don Marcelino por su colaboración durante la fase de campo.

A mis padres, hermanos y a José Antonio Gallegos gracias por su tiempo y por su ayuda.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. El tomate de árbol: Generalidades.....	6
1.1.1. Origen y domesticación del tomate de árbol.....	6
1.1.2. Importancia fitoquímica	7
1.2. Taxonomía del tomate de árbol.....	7
1.3. Descripción morfológica.....	8
1.3.1. Sistema radical	8
1.3.2. Tallo	8
1.3.3. Hojas.....	9
1.3.4. Inflorescencia	10
1.3.5. Fruto	10
1.3.6. Semillas.....	11
1.4. Biología reproductiva	11
1.5. Requerimientos agroclimáticos y nutricionales	12
1.5.1. Clima.....	12
1.5.2. Vientos.....	12
1.5.3. Suelo.....	12

1.5.4. Fertilización	12
1.6. Fitotecnia del cultivo	13
1.6.1. Propagación.....	13
1.6.2. Plantación.....	14
1.6.3. Riego.....	14
1.6.4. Podas	15
1.6.5. Cosecha y almacenamiento	15
1.7. Problemas fitosanitarios	15
1.7.1. Insectos - plaga.....	15
1.7.2. Enfermedades causadas por hongos.	16
1.7.3. Enfermedades causadas por Virus	17
1.8. Diversidad genética de la especie	17
1.9. Conocimiento de la fenología: Importancia en la caracterización de recursos fitogenéticos y en la producción.....	18
1.10. Escala extendida BBCH.....	20
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1. Localización y establecimiento del ensayo.....	23
2.2. Diseño experimental	24
2.3. Material vegetal	28
2.4. Evaluación de caracteres fenológicos según escala extendida BBCH	29
2.4.1 Estadios evaluados según la escala estandarizada para tomate de árbol	29
2.5. Forma de evaluación de los estadios BBCH	31
2.5.1. Estadio principal 0: Germinación	31
2.5.2. Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas del tallo principal y de la copa.....	31
2.5.2.1. Desarrollo de las hojas del tallo principal [1a]	31
2.5.2.2. Desarrollo de las hojas de la copa [1b]	31
2.5.3. Estadio principal 2: Formación de brotes laterales.....	31
2.5.4. Estadio principal 3: Elongación del tallo	32
2.5.5. Estadio principal 5: Emergencia de la inflorescencia	32
2.5.6. Estadio principal 6: Floración	32
2.5.7. Estadio principal 8: Maduración del fruto.....	32

2.6. Análisis estadístico de los datos para la caracterización fenológica	32
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1. Germinación y desarrollo de plántulas en vivero	34
3.1.1. Estadio fenológico principal 0: Germinación de semillas.....	34
3.1.2. Estadio fenológico principal 1a: Desarrollo de las hojas del tallo en fase de vivero	37
3.2. Transplante a la parcela y desarrollo de la planta de tomate de árbol	39
3.2.1. Estadio fenológico principal 1a: Desarrollo de las hojas del tallo en la parcela	39
3.2.2. Estadio fenológico principal 1b: Desarrollo de las hojas de la copa	45
3.2.3. Estadio fenológico principal 2: Desarrollo de los brotes laterales.....	47
3.2.4. Estadio fenológico principal 3: Elongación del tallo.....	51
3.3. Desarrollo de los órganos reproductivos	55
3.3.1. Estadio fenológico principal 5: Emergencia de la inflorescencia	55
3.3.2. Estadio fenológico principal 6: Floración.	62
3.4. Formación, maduración y cosecha de frutos	67
3.4.1. Estadio fenológico principal 8: Maduración del fruto.....	67
3.5. Fenología general de las plantas de tomate de árbol	73
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del origen de la planta de tomate de árbol. Según el planteamiento de Bohs (1991), sería Bolivia.....	6
Figura 2: Raíz del tomate de árbol.....	8
Figura 3: Tallo de la planta de tomate de árbol.....	9
Figura 4: a) Hoja del tallo principal y b) hoja de la copa de la planta de tomate de árbol.....	9
Figura 5: Inflorescencia de la planta de tomate de árbol.....	10
Figura 6: Frutos de tomate de árbol.....	11
Figura 7: a) Semillas del tomate de árbol y b) Semilla de tomate de árbol con presencia de pubescencia.....	11
Figura 8: Fenología del tomate de árbol.....	19
Figura 9: Mapa de ubicación del área de estudio (campus UTPL), posición en el cantón Loja, Ecuador.....	23
Figura 10: a) Plantas de tomate de árbol en campo abierto y b) Plantas de tomate de árbol en condiciones controladas (invernadero).....	24
Figura 11: Ubicación de plantas de tomate de árbol en condiciones controladas (invernadero), según los tratamientos de fertilización y según el cultivar.....	26
Figura 12: Ubicación de plantas de tomate de árbol a campo abierto, según el cultivar.....	27
Figura 13: Fruto de grupo agronómico morado: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto y del mucílago morado.....	28
Figura 14: Fruto de grupo agronómico anaranjado-elíptico-puntón: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto.....	28
Figura 15: Germinación de semillas en cajas petri, en condiciones de laboratorio.....	34

Figura 16: a) Formación de hojas cotiledonares, b) Primera hoja verdadera del tallo principal desplegada completamente [101a], c) Segunda hoja verdadera del tallo principal desplegada completamente [102a].....	38
Figura 17: Plantas de tomate de árbol transplantadas en el sitio definitivo, en condiciones controladas (invernadero).....	39
Figura 18: Desarrollo de las primeras nueve hojas [109a] de la planta de tomate de árbol.....	42
Figura 19: a) Formación de brotes laterales, b) Bifurcación y c) Trifurcación del tallo de la planta tomate de árbol.....	47
Figura 20: Elongación del tallo de la planta de tomate de árbol.....	52
Figura 21: a) Primer botón visible de la primera inflorescencia de la planta de tomate de árbol, b) Inflorescencia de tomate de árbol con varias flores abiertas, en la que se observa una forma de tipo cima escorpioidea.....	56
Figura 22: Primera flor abierta de la primera inflorescencia [601] de la planta de tomate de árbol.....	62
Figura 23: Frutos maduros de tomate de árbol.....	67
Figura 24: Fenología de la planta de tomate de árbol según la escala extendida BBCH, para tratamientos en condiciones controladas y a campo abierto.....	74
Figura 25: Representación gráfica de los principales estadios del tomate de árbol.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contenido nutricional del fruto de tomate de árbol.....	7
Tabla 2: Niveles de fertilización recomendados en base a interpretación del análisis del suelo para el cultivo de tomate de árbol.....	13
Tabla 3: Estadios principales de crecimiento.....	20
Tabla 4: Escala BBCH para tomate de árbol.....	21
Tabla 5: Tratamientos establecidos para evaluar la fenología del cultivo de tomate de árbol en condiciones controladas y a campo abierto, utilizando la escala extendida BBCH específica para la especie.....	25
Tabla 6: Escala BBCH para tomate de árbol.....	30
Tabla 7: Estadio fenológico principal 0 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Germinación de semillas de tomate de árbol morado y anaranjado, conforme a cinco subestadios evaluados en número de días.....	35
Tabla 8: Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado en fase de vivero, conforme a cinco subestadios evaluados en número de días.....	37
Tabla 9: Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero y conforme a dos programas de fertilización. Novena hoja desarrollada, subestadio 109a evaluado en número de días.....	40
Tabla 10: Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Novena hoja desarrollada, subestadio 109a evaluado en número de días.....	41
Tabla 11: Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero, conforme a dos programas de fertilización. Subestadio 118a (18 o más hojas del tallo), evaluado en número de días.....	43
Tabla 12: Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH:	

Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadio 118a (18 o más hojas en el tallo), evaluado en número de días.....44

Tabla 13: Estadio fenológico principal 1b de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas de la copa de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero conforme a dos programas de fertilización. Subestadio 128b (28 o más hojas en la copa), evaluado en número de días.....45

Tabla 14: Estadio fenológico principal 1b de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas de la copa de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadio 128b (28 o más hojas en la copa), evaluado en número de días.....46

Tabla 15: Estadio fenológico principal 2 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de los brotes laterales de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero, conforme a dos programas de fertilización, Subestadios 201 (primer brote apical primario visible) y 202 (segundo brote apical primario visible) evaluados en número de días.....48

Tabla 16: Estadio fenológico principal 2 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de los brotes laterales de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadio 201 (primer brote lateral visible), evaluado en número de días.....50

Tabla 17: Análisis de la varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre valores medios para el subestadio 201 (primer brote lateral visible) para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.....51

Tabla 18: Estadio fenológico principal 3 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Elongación del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero, conforme a dos programas de fertilización. Subestadios 301 (el tallo alcanza el 10% de su longitud final), 302 (el tallo alcanza el 20% de su longitud final) y 303 (el tallo alcanza el 30% de su longitud final), evaluados en número de días.....53

Tabla 19: Estadio fenológico principal 3 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Elongación del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadios 301 (el tallo alcanza el 10% de su longitud final), 302 (el tallo alcanza el 20% de su longitud final) y 303 (el tallo alcanza el 30% de su longitud final), evaluados en número de días.....54

Tabla 20: Análisis de la varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre

valores medios para el subestadio 303 (el tallo alcanza el 30% de su longitud final), para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.....55

Tabla 21: Estadio fenológico principal 5 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Emergencia de la inflorescencia del tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero conforme a dos programas de fertilización. Subestadios 501 (primera inflorescencia visible, primer botón visible), 502 (segunda inflorescencia visible, primer botón visible), 503 (tercera inflorescencia visible, primer botón visible) y 504 (cuarta inflorescencia visible, primer botón visible), evaluados en número de días.....58

Tabla 22: Estadio fenológico principal 5 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Emergencia de la inflorescencia de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadios 501 (primera inflorescencia visible, primer botón visible), 502 (segunda inflorescencia visible, primer botón visible), 503 (tercera inflorescencia visible, primer botón visible) y 504 (cuarta inflorescencia visible, primer botón visible), evaluados en número de días.....60

Tabla 23: Análisis de la varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre valores medios para el subestadio 501 (primera inflorescencia visible, primer botón visible) para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.....62

Tabla 24: Estadio fenológico principal 6 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Floración del tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero, conforme a dos programas de fertilización. Subestadios 601 (primera inflorescencia, primera flor abierta), 602 (segunda inflorescencia, primera flor abierta), 603 (tercera inflorescencia, primera flor abierta) y 604 (cuarta inflorescencia, primera flor abierta), evaluados en número de días...64

Tabla 25: Estadio fenológico principal 6 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Floración del tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadios 601 (primera inflorescencia, primera flor abierta), 602 (segunda inflorescencia, primera flor abierta), 603 (tercera inflorescencia, primera flor abierta) y 604 (cuarta inflorescencia, primera flor abierta), evaluados en número de días.....65

Tabla 26: Análisis de varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre medias para el subestadio 601 (primera inflorescencia, primera flor abierta) para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.....66

Tabla 27: Estadio fenológico principal 8 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Maduración del fruto de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de

invernadero conforme a dos programas de fertilización. Subestadios 801 (10% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez), 805 (50% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez) y 809 (Totalmente maduro: todas las frutas tienen el color típico de la madurez), evaluados en número de días.....68

Tabla 28: Estadio fenológico principal 8 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Maduración del fruto de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadios 801 (10% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez), 805 (50% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez) y 809 (totalmente maduro: todas las frutas tienen el color típico de la madurez), evaluados en número de días.....70

Tabla 29: Análisis de varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre valores medios para el para subestadios 801 (10% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez), 805 (50% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez) y 809 (Totalmente maduro: todas las frutas tienen el color típico de la madurez) para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.....72

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló, para caracterizar fenológicamente el tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) de acuerdo a dos cultivares (morado y anaranjado elíptico puntón), en condiciones de invernadero y a campo abierto, basados en la escala extendida BBCH para tomate de árbol, y determinar los días después de la siembra, que a cada uno de los estadios les tomó para su desarrollo, se inició con el estadio fenológico principal 0: Germinación de la semilla, estadio fenológico principal 1a y 1b: Desarrollo de las hojas del tallo y copa respectivamente, estadio fenológico principal 2: Formación de brotes laterales, estadio fenológico principal 3: Elongación del tallo, en los cuales las plantas cultivadas en condiciones controladas, fueron más precoces que las cultivadas a campo abierto, pero a partir del estadio fenológico principal 5: Emergencia de la inflorescencia, estadio fenológico principal 6: Floración y el estadio fenológico principal 8: Maduración del fruto, las plantas cultivadas a campo abierto resultan ser más precoces con 420 días, a diferencia de las cultivadas en invernadero más tardías con 513 días hasta el 90% de la maduración.

PALABRAS CLAVES: Fenología, estadios, días, desarrollo vegetativo, cultivares.

ABSTRACT

This study was conducted to characterize phenologically the tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) according to two cultivars (purple and elliptical orange Puntón), under greenhouse and open field, based on the extended BBCH scale for tree tomato and determining days after sowing, that each of the stages took them to their development began with the principal growth stage 0: Germination, principal growth stage 1a and 1b: leaves development of stem and crown respectively, principal growth stage 2: Formation of side shoots, principal growth stage 3: stem elongation, in which plants grown under controlled conditions, were earlier than those grown in the open field, but from the principal growth stage 5: Emergence of inflorescence, principal growth stage 6: Flowering and principal growth stage 8: Ripening fruit, plants grown in open fields turn out to be more precocious with 420 days, unlike cultivated in later greenhouse with 513 days up to 90% maturation.

Key words: Phenology, stages, days, cultivars, vegetative development.

INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), también conocido en inglés como tree tomato o tamarillo, es originario de la región andina, posiblemente de Bolivia (Bohs y Nelson, 1997). Se cultiva en zonas caracterizadas por un clima templado y fresco con altitudes que varían de 1000 a 3000 msnm (Bohs, 1994). Sus frutos son comestibles, de sabor agradable, ligeramente ácidos y con un alto contenido de provitamina A, vitaminas C y B₆ y minerales como el hierro y potasio (Vasco et al., 2009; Acosta-Quezada et al., 2015), por lo que su cultivo y consumo son muy populares en los Andes (Prohens y Nuez, 2000).

Para Ecuador su cultivo y comercialización representa una importante oportunidad económica tanto a nivel nacional como internacional, pese a su importancia aun es considerado como una especie marginada (Hernández-Bermejo y León, 1992). Su producción atraviesa por problemas reflejados en una inadecuada producción y comercialización del producto; la expansión de su producción se ha visto limitada por factores como la falta de diferenciación clara entre variedades, baja calidad de la fruta, utilización de variedades no adecuadas, tecnificación inadecuada, así como por la falta de conocimiento de la fenología del cultivo según las condiciones en las que se establece y al material vegetal (Acosta-Quezada et al., 2012).

Con respecto a la fenología, que es el estudio de eventos periódicos naturales involucrados en la vida de las plantas, conocimiento que es oportuno para la planificación, fitotecnia e incluso para la comercialización de un cultivo (Volpe, 1992; Villalpando y Ruiz, 1993; Schwartz, 1999), y de lo cual para el tomate de árbol no existe suficiente información; recientemente la UTPL ha generado información para evaluar los estadios fenológicos del tomate de árbol con base a una normativa estandarizada conocida como las escalas BBCH (Acosta-Quezada et al., 2016), que son un sistema internacional que proporciona una codificación uniforme de identificación fenológica de los estadios de crecimiento para las especies cultivadas (Hack et al., 1992).

Como se ha mencionado anteriormente, la producción de tomate de árbol en Ecuador atraviesa por problemas que se resumen en una inadecuada producción y comercialización, sobre todo por la falta de trabajos que permitan generar información aplicada a su cultivo, como es el caso del conocimiento de la fenología del cultivo según las condiciones en las que se establece y el material vegetal utilizado; Por lo que a través del presente Trabajo de Titulación denominado **“Caracterización fenológica acorde a la escala BBCH de dos grupos agronómicos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), cultivados en condiciones controladas”**, se ha determinado el rango en número de días de siete

estadios fenológicos incluyendo sus respectivos subestadios para dos grupos agronómicos de tomate de árbol (morado y anaranjado), y de ésta manera conocer sus implicaciones sobre la planificación en general del cultivo (fitotecnia, cosecha, comercialización, etc.). Siendo posible además, conocer la diferencia que hay en tiempo entre plantas cultivadas en condiciones controladas y aquellas que se cultivan a campo abierto o condiciones normales.

Para poder cumplir con este trabajo investigativo se han establecido los siguientes objetivos:

General:

Aportar al conocimiento de los estados fenológicos del tomate de árbol en condiciones controladas, según normas BBCH preestablecidas para la especie.

Específicos:

- Determinar el número de días que corresponde a cada estado fenológico conforme a dos grupos agronómicos.
- Establecer si hay diferencias significativas en el número de días de cada estado fenológico, entre cultivares tanto en condiciones controladas como a campo abierto.
- Generar una matriz gráfica de la fenología del tomate de árbol cultivado en condiciones controladas.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. El tomate de árbol: Generalidades

1.1.1. Origen y domesticación del tomate de árbol.



Figura 1. Ubicación geográfica del origen de la planta de tomate de árbol. Según el planteamiento de Bohs (1991), sería Bolivia.

Fuente: Google Earth, 2010

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) es originario de la región andina, habiendo planteado algunos autores la hipótesis de que su centro de origen se encuentra en Bolivia (Bohs, 1991; Bohs y Nelson, 1997; Lester y Hawkes, 2001) (Figura 1). Los frutos de esta especie se consumen en estado maduro, sean crudos o cocinados, en todos los casos se elimina la cáscara por ser ésta de sabor amargo (Hernández-Bermejo y León, 1992). Su cultivo y consumo son muy populares en la región andina tropical y subtropical (Bohs, 1989; Prohens y Nuez, 2000). Son además una importante alternativa en la producción, diversificación y mercadeo de productos no tradicionales, los cuales son una opción importante en la comercialización (Hallam et al., 2004).

En lo que respecta a la domesticación del tomate de árbol se desconoce cuándo o en qué lugar se desarrolló este proceso, representaciones de la planta sobre piezas de cerámica del Perú referidas por Towle (1961) corresponden a culturas precolombinas modernas, lo que significa que el tomate de árbol pudo ser domesticado hace relativamente poco tiempo; además, según Heiser (1969), los nombres con los que se conoce a esta planta en los lugares de donde podría originarse provienen del español o portugués, más que de las lenguas nativas de estas regiones, lo que respaldaría dicha hipótesis.

1.1.2. Importancia fitoquímica.

El fruto de tomate de árbol posee un alto contenido de ácido ascórbico, vitamina A, carotenoides, fenoles, vitamina B₆, fibra, agua, minerales como el hierro, potasio y una alta actividad antioxidante (Cárdenas-Contreras, 2009; Vasco et al., 2009; Acosta-Quezada et al., 2015; Espin et al., 2016).

La composición nutricional del fruto de tomate de árbol correspondiente a 100 g de porción comestible se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido nutricional del fruto de tomate de árbol.

Componente	Contenido en 100g	Componente	Contenido en 100g
Agua	85,84g	Calcio	6mg
Proteína	1,7g	Hierro	0,4mg
Grasa	0,1g	Tiamina	0,05mg
Carbohidratos	10,3g	Rivoflavina	0,03mg
Fibra	1,1g	Niacina	1,1mg
Ceniza	0,8g	Ácido ascórbico	25mg
Fósforo	22mg	Vitamina A	100mg

Fuente: Cárdenas-Contreras, 2009

1.2. Taxonomía del tomate de árbol

La planta de tomate de árbol es clasificada taxonómicamente de la siguiente forma:

División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Subfamilia: Solanoideae
Género: *Solanum*
Especie: *betaceum*

1.3. Descripción morfológica

1.3.1. Sistema radical.

De acuerdo a estudios realizados por Martínez (2001), las raíces del tomate de árbol son de tipo fasciculado y puede alcanzar profundidades de hasta 1 m, mientras que la mayor concentración de raíces absorbentes se distribuye en los primeros 25 cm de profundidad. (Figura 2).



Figura 2. Raíz de la planta del tomate de árbol.
Fuente: La Autora

1.3.2. Tallo.

El tomate de árbol es un arbusto de tallo cilíndrico que puede alcanzar alturas entre 2,5 y 3 m, se ramifica en tres ramas a un rango de altura de entre 1 y 1,5 m, de acuerdo al genotipo cultivado, a la nutrición y el ambiente donde se desarrolla (León y Viteri, 2004) (Figura 3). Además presenta un color verde en sus primeros estados y café cuando la planta es adulta, inicialmente es suculento, pero empieza a tornarse semileñoso a medida que se desarrolla y se ramifica (Obando-Narváez, 2012).



Figura 3. Tallo de la planta de tomate de árbol.
Fuente: La Autora.

1.3.3. Hojas.

Las hojas son alternas, cordiformes y levemente pubescentes en el has y en el envés. Las hojas que se desarrollan en el tallo principal son grandes, miden aproximadamente 27,7 cm de largo, y más pequeñas en la copa, miden alrededor de 20,9 cm (Acosta-Quezada et al., 2010) (Figura 4).



Figura 4. a) Hoja del tallo principal y b) Hoja de la copa de la planta de tomate de árbol.
Fuente: La Autora.

1.3.4. Inflorescencia.

Las inflorescencias son cimas escorpioideas, se desarrollan entre 15 y 60 inflorescencias por planta, identificándose tres partes principales: pedúnculo, raquis y pedicelos; las flores se distribuyen en doble serie a lo largo de su eje, se caracterizan por ser pentámeras, hermafroditas, su corola es de color blanco rosáceo, subcoriácea o carnosa y de forma estrellada (Bohs, 1994) (Figura 5). El tomate de árbol es una especie autocompatible y normalmente se autopoliniza, presentando un 84% de autogamia, pero necesita de la agitación de las flores por el viento o de la visita de insectos para que tenga lugar la polinización (Bohs, 1991; Pringle y Murray, 1991).



Figura 5. Inflorescencia de la planta de tomate de árbol.
Fuente: La Autora.

1.3.5. Fruto.

Es una baya que se encuentra suspendida por un pedúnculo largo, generalmente de forma ovalada, ovoide, esférica, trompiforme y piriforme (Figura 6); el fruto varía también por el aspecto apical del mismo, en algunos cultivares es puntón y en otras de aspecto redondeado (Feicán et al., 1999). Además, Bohs (1989, 1994) menciona que el tamaño del fruto maduro oscila entre 4 y 10 cm de longitud y de 3 a 5 cm de diámetro, su peso varía entre 40 a 130 g, la corteza es gruesa y tiene una cutícula de sabor amargo. La pulpa es de color anaranjado claro o intenso, tiene sabor agrídulce típico (Revelo et al., 2004).



Figura 6. Frutos de tomate de árbol.
Fuente: La Autora.

1.3.6. Semillas.

Las semillas son de forma aplanada, reniforme y con densa pubescencia, miden aproximadamente 3 mm, son de color blanco cuando son tiernas, a medida que alcanzan la madurez se cubren de pigmentos anaranjados, rojizos o morados intensos, que darán la tonalidad al jugo de la fruta; las semillas se hallan inmersas en un mucilago gelatinoso y su número varía entre 200 a 300 unidades por fruto en los diferentes cultivares (Bohs, 1994; León, 2002) (Figura 7).

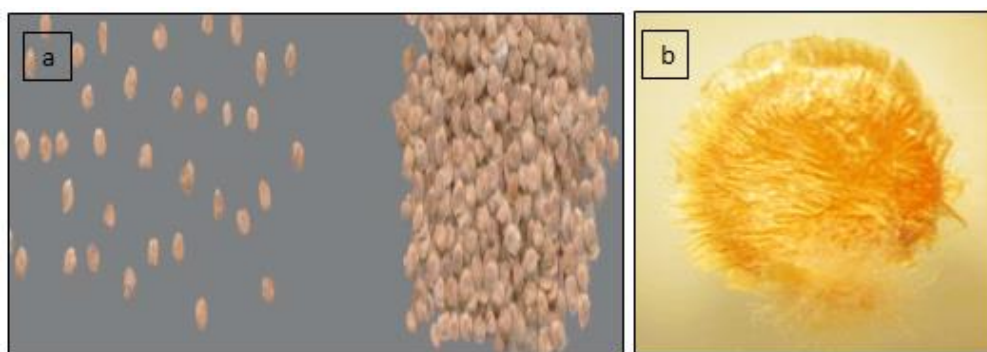


Figura 7. a) Semillas del tomate de árbol y b) Semilla de tomate de árbol con presencia de pubescencia.

Fuente: La Autora; Riofrío-Cuenca, (2011)

1.4. Biología reproductiva

El tomate de árbol comienza a producir frutos en el primer o segundo año a partir de su trasplante y dependiendo de la zona en que se cultive. La flor es altamente autógama, pero necesita ser agitada por el viento o visitada por insectos para que la polinización se lleve a cabo (Bohs, 1991; Pringle y Murray, 1991). Si se cultiva en condiciones en las que la

agitación de las flores es limitada, tal como en un invernadero, la producción de frutos puede ser muy baja (Sale, 1983).

Rao y Rauoof (1970) en la India, Lewis (1985), Pringle (1991) y Pringle y Murray (1991) en Nueva Zelanda, determinaron que la antesis floral de *Solanum betaceum* tiene lugar de 8:00 a 14:00 horas; la dehiscencia de las anteras se presenta durante todo el día, aunque éstas suelen madurar y liberar su polen antes de que el estigma esté receptivo (Rao y Rauoof, 1970). Según Lewis (1985) cada antera contiene un promedio de 793000 granos de polen.

1.5. Requerimientos agroclimáticos y nutricionales

1.5.1. Clima.

La planta prefiere zonas con clima templado a templado frío (Revelo, 2004), la temperatura óptima esta entre los 14 °C y 20 °C, con precipitaciones de 500 a 1000 mm anuales; en zonas con temperaturas altas permanentes y algo sombreadas las plantas presentan crecimiento excesivo, además el ataque de enfermedades es más frecuente afectando al cuajado y calidad de los frutos, las bajas temperaturas (heladas) podrían causar la muerte de la planta (Feicán et al., 1999; Viera, 2002; León y Viteri, 2003).

1.5.2. Vientos.

Los vientos fuertes provocan caída de las flores además de dañar a las hojas, las ramas suelen romperse debido al viento y al peso de los frutos (Calvo, 2009; Revelo, 2004).

1.5.3. Suelo.

La planta se adapta muy bien a todo tipo de suelo, pero su mejor desarrollo lo alcanza en suelos fértiles, de tipo franco arenoso o arcilloso, con buen drenaje, ligeramente profundos y una pendiente no mayor al 40%. Las plantaciones de tomate de árbol pueden permanecer más de cinco años en la parcela, por lo que es importante antes de su establecimiento realizar una adecuada selección del terreno y una buena preparación del suelo, con la finalidad de obtener las condiciones óptimas para el desarrollo (Martínez, 2001; Revelo, 2004).

1.5.4. Fertilización.

La planta de tomate de árbol tiene un crecimiento acelerado durante el primer año, así durante los primeros 5 a 6 meses mantiene un estado juvenil en el que es favorecido el

crecimiento vegetativo en altura y la formación de grandes hojas, en esta fase, son importantes los aportes de nitrógeno, fósforo, calcio, microelementos y materia orgánica. Poco tiempo después, la planta entra en un estado de equilibrio productivo - vegetativo ya que se inicia la floración y la ramificación del tallo principal y de las ramas secundarias, las hojas son más abundantes pero de menor tamaño, en este periodo se deben aportar cantidades crecientes de nitrógeno, potasio, magnesio, azufre, calcio, y materia orgánica para nutrir la planta y evitar desequilibrios en el suelo, además microelementos como boro, zinc y manganeso (León et al., 2004).

La aplicación de fertilizantes dependerá además de las condiciones químicas y físicas del suelo, por lo que es importante disponer del respectivo análisis para determinar las cantidades necesarias de fertilizante. En Ecuador, la aplicación de fertilizantes en el cultivo de tomate de árbol se realiza de acuerdo con los rangos expuestos en la Tabla 2, considerando que los fertilizantes deberán fraccionarse durante el año y aplicarse de forma localizada alrededor de cada planta (León et al., 2004).

Tabla 2. Niveles de fertilización recomendados en base a interpretación del análisis del suelo para el cultivo de tomate de árbol.

Nivel	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	kg/ha/año			
Bajo	600 - 800	230 - 208	700-900	80-100
Medio	400 - 600	180 - 230	500-700	60 - 80
Alto	200 - 400	130 - 180	300-500	40 - 60

Fuente: León et al. (2004)

1.6. Fitotecnia del cultivo

1.6.1. Propagación.

La planta de tomate de árbol se puede reproducir de forma sexual y asexual. La reproducción por semillas (sexual) da origen a plantas más vigorosas que aquellas producidas en forma asexual, con raíces más resistentes a condiciones adversas y entrenudos largos; se deben extraer las semillas de los frutos seleccionados, luego se lavan, se desinfectan y se dejan secar en condiciones de sombra, posteriormente se siembran en almácigos, la germinación se logra entre los 15 y 25 días (Osorio, 1992).

Con respecto a la reproducción asexual la forma más común es mediante injertos, lo cual ha tomado importancia debido a que las plantas propagadas por semillas presentan una gran susceptibilidad al ataque de nematodos; según resultados de investigaciones estos demuestran que el tomate es compatible con varios portainjertos de especies de otras solanáceas que presentan diferentes niveles de tolerancia al ataque de nematodos del género *Meloidogyne* (León y Viteri, 2003). Los tipos de injerto más utilizados para el tomate de árbol son los de púa terminal y lateral; el de púa terminal es el más recomendado debido a que las plantas tienen un crecimiento más erecto. Además, es importante mencionar que los injertos se deben realizar con ramillas jóvenes ya que en este tipo de material existe una mayor concentración de giberelinas, ayudando a un mejor desarrollo de la planta (Santillán, 2001; León y Viteri, 2003; León et al., 2004).

Otra forma de reproducción asexual es la propagación por estacas, el material vegetal más adecuado es el procedente de los chupones basales o aéreos; las estacas deben tener una longitud aproximada de 30 cm y contener varias yemas (Santillán, 2001).

1.6.2. Plantación.

Existen diversos factores que influyen en la decisión para determinar las distancias de plantación, donde el tipo de planta (semilla o injertada), el cultivar, las condiciones ambientales, la topografía del terreno, la maquinaria a utilizarse y el área disponible, entre otros, son importantes para considerarse (León et al., 2004).

Las distancias de plantación entre plantas e hileras más empleadas por los productores son: 1,5 m x 1,5 m; 2,0 m x 2,0 m; 1,8 m x 1,8 m; 1,5 m x 2,0 m; incluso se llega a extremos de 1,0 m x 1,0 m que genera una alta densidad poblacional (Morales, 2001).

Según León et al. (2004), distancias amplias de plantación permiten la formación de árboles vigorosos de alto rendimiento y calidad de fruta, facilitan las labores de manejo, especialmente el control de plagas, pero reducen el número de plantas por unidad de superficie desaprovechando el recurso tierra y resultando en un huerto de baja eficiencia productiva.

1.6.3. Riego.

El tipo de riego a usarse en un cultivo depende principalmente de las características morfo-agronómicas de la especie cultivada y de las condiciones ambientales en que se ha establecido (temperatura, humedad relativa, pluviometría, intensidad y dirección del viento, condiciones fisicoquímicas del suelo, etc.) (Avidan, 1994; Kirkham, 2005). Para el cultivo de

tomate de árbol el riego localizado (goteo o microaspersión) sería el más eficiente, debido a que demanda un menor volumen de agua, causa un menor impacto erosivo, no produce encharcamiento y no incrementa la humedad relativa (como la aspersión), lo cual favorecería la presencia de enfermedades (Santillán, 2001).

1.6.4. Podas.

La poda consiste en eliminar algunas partes de la planta, con el fin de reducir el tamaño de la planta, formar y acomodar la planta al sistema del tutoraje, regular y dirigir el desarrollo de la planta, lograr más eficiencia del control sanitario, eliminar brotes o chupones para disminuir la competencia y favorecer su vigor, obtener mayores rendimientos, tanto en calidad, como en volumen. Es recomendable, después de realizada la poda, desinfectar las heridas, mediante la aplicación de fungicidas a base de cobre, formando una pasta (León et al., 2004).

1.6.5. Cosecha y almacenamiento.

La cosecha se va realizando a medida que van madurando los frutos, siendo está una de las labores que más daño puede causar al arbusto si no se hace en forma cuidadosa, ya que fácilmente se causan desgarramientos y quebraduras en las ramas y el tallo principal, por ello, es importante el uso de una tijera de podar encabadas en un palo largo, con lo cual se puedan cosechar fácilmente los frutos más altos sin doblar la rama y teniendo el cuidado que los frutos tengan su pedúnculo para evitar pudriciones posteriores en el fruto; durante la cosecha la fruta debe ser manipulada con cuidado para evitar golpes o heridas que posteriormente causarán el deterioro de ésta. La cosecha se debe realizar empleando bolsas cosechadoras, acopiando luego la fruta en jabs plásticas, para su traslado a la bodega de clasificación, selección y embalaje (Bernal y Lobo, 1988; León et al., 2004).

1.7. Problemas fitosanitarios

El tomate de árbol es atacado por una serie de insectos plaga, nematodos y enfermedades provocadas principalmente por hongos y virus, estos afectan los diferentes órganos de la planta reduciendo su crecimiento, productividad, calidad de la fruta, e incluso su supervivencia (León et al., 2004). A continuación se hace referencia de los principales insectos y enfermedades que inciden sobre la planta de tomate de árbol.

1.7.1. Insectos - plaga.

Pulgones (*Myzus* sp.)

Son insectos de cuerpo pequeño y blandos, de coloración verde o negro, tienen un aparato bucal picador–chupador y se alimentan básicamente de savia; están ubicados en brotes terminales, flores, así como en el envés de la hoja. Su población se incrementa rápidamente cuando es favorecida en periodos de sequía (León et al., 2004).

Gusanos trozadores (*Agrotis* sp.)

Son insectos que viven en el suelo, cuyas larvas ocasionan graves daños a las plantas jóvenes que tienen tejidos poco lignificados. Las larvas se alimentan de la base de los tallos, produciendo la muerte de las plantas (León et al., 2004).

Mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*)

Las larvas y adultos se alimentan de las hojas del tomate de árbol por succión de su savia, dejan sus excrementos (de consistencia pegajosa) sobre los diferentes órganos de la planta creándose un sustrato sobre el que se desarrollan hongos de color negro (negrilla o fumagina) que afectan a casi toda la planta (Sale, 1987; Hilge, 1996; Viscarret y Botto, 1996).

Nematodos (*Meloidogyne* sp.)

Atacan las raíces de la planta provocando un engrosamiento de la parte afectada, lo que impide la absorción de agua y nutrientes. Es frecuente que las raíces absorbentes sean atacadas posteriormente por otros parásitos ocasionando su muerte. Los síntomas más visibles del ataque consisten en el marchitamiento general de la planta, con desarrollo posterior de clorosis. Si el daño ocurre en semillero o en plantas pequeñas su muerte ocurre rápidamente (Bernal y Lobo, 1988).

1.7.2. Enfermedades causadas por hongos.

Antracnosis u ojo de pollo (*Colletotrichum gloeosporioides*)

Ataca las hojas y a los frutos. En el follaje las lesiones se localizan especialmente en las hojas más viejas y se presentan como manchas necróticas concéntricas de color negro a lo largo de las nervaduras, siendo más conspicuas en el envés. En los frutos los síntomas se localizan en el ápice y los puntos que queden en contacto con otros frutos del mismo racimo. El patógeno ataca frutos en cualquier estado de maduración, en frutos recién formados, éstos tienen una maduración prematura con coloración amarillenta anormal y el fruto cae al suelo. En frutos desarrollados la maduración es normal, pero la presencia de manchas necróticas pequeñas afecta a la calidad del producto (Bernal y Lobo, 1988).

Cenicilla (*Oidium* sp.)

Esta enfermedad tiene mayor incidencia en zonas con bajas precipitaciones en los meses secos. Se presenta una mancha de color oscuro rodeada de una cenicilla (polvillo) de color blanquecino, la enfermedad puede aparecer tanto en el haz como en el envés de las hojas. Las manchas pueden ir creciendo hasta cubrir una buena superficie de la hoja. Las hojas se amarillan y caen produciendo una reducción del área foliar, además se presenta el ataque en los pedicelos de las flores que también caen, afectando el rendimiento de la planta. La enfermedad se ve favorecida con temperaturas de 10 a 25 °C y ambientes secos (León et al., 2004).

1.7.3. Enfermedades causadas por Virus.

Entre los virus que afectan al vigor de la planta de tomate de árbol está el Tamarillo Mosaic Virus (TaMV) transmitido por áfidos, causa la enfermedad viral de mayor importancia económica en países como Nueva Zelanda, Colombia y Ecuador, (Eagles et al., 1994; Cohen et al., 2000; Tamayo, 2001; León et al., 2004). Otro virus de importancia es la mancha aceitosa o bronceado del tomate de árbol, cuyo agente causal es el virus del bronceado del tomate (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV (Santillán, 2001). La presencia de estos virus puede retrasar el crecimiento de las plantas (achaparradas), hojas enrolladas, , frutos pequeños, reducción en el rendimiento de la planta (Tamayo, 1996).

1.8. Diversidad genética de la especie

Las plantas de tomate de árbol son muy homogéneas en sus caracteres morfológicos, excepto por la variación de algunos caracteres del fruto como son su tamaño, color y forma (Bohs, 1989). Según Morton (1982) y Richardson y Patterson (1993), en la región andina se conocen al menos tres tipos de tomate de árbol los cuales se diferencian por su color de piel:

Rojo: Piel de color rojo-anaranjado, a veces con franjas de color marrón verdoso no muy intensas; pulpa de color anaranjado. Su forma es ovalada, tiene un peso entre 50 y 80 g y su sabor es más ácido que el de los frutos de tipo amarillo.

Amarillo: Piel de color amarillo intenso con franjas verticales poco notorias de color marrón-verdoso; pulpa de color amarillo-anaranjado. La forma es ovalada, tiene un peso aproximado de 50 a 70 g y su sabor es menos ácido que el de los frutos rojos y morados, por lo que son considerados los mejores para la elaboración de conservas.

Morado: Este tipo es también conocido como "rojo oscuro" o "negro". Los frutos tienen una piel de color rojo oscuro intenso, con franjas verticales de color verde. La forma del fruto es redonda u oval y la pulpa es de color morada. El fruto usualmente pesa entre 60 y 100 g.

Según León et al. (2004) los principales eco tipos que se están cultivando en Ecuador son:

Anaranjado redondo: Piel, pulpa y mucílago de color anaranjado, similar al tipo anaranjado-puntón, pero menor tamaño y peso que el anterior. La longitud y el diámetro son 5,5 y 4,7 cm, respectivamente, y pesa unos 70 g.

Anaranjado puntón: Forma alargada, corteza morada o anaranjada y pulpa anaranjada.

Anaranjado gigante: Piel, pulpa y mucílago de color anaranjado, pero tamaño y peso superiores al resto de tipos anaranjados: 7 cm de longitud, 6 cm de diámetro y unos 120 g de peso.

Morado-neozelandés: Piel de color rojo oscuro, pulpa anaranjada y mucílago de color rojo oscuro o morado. Tiene una longitud de 6,4 cm, un diámetro de 4,6 cm y pesa unos 85 g.

Morado-gigante: Piel de color rojo oscuro, pulpa de color anaranjado y mucílago de color rojo oscuro o morado. Presenta una longitud de 8 cm, un diámetro de 5,8 cm y pesa unos 120 g.

1.9. Conocimiento de la fenología: Importancia en la caracterización de recursos fitogenéticos y en la producción

La fenología comprende el estudio de los fenómenos biológicos vinculados a ciertos ritmos periódicos o fases y la relación con el clima de la localidad donde ocurren. En su ciclo ontogénico, los vegetales experimentan cambios visibles o no, que están en estrecha relación con el genotipo, el clima (temperatura, luz, fotoperiodo), disponibilidad de agua y condiciones biológicas (virus, patógenos, etc.); el resultado del complejo de interacciones ocasiona amplias respuestas de los diferentes cultivos y variedades (Mundarain et al., 2005). La Figura 8 representa un ejemplo de la fenología de la planta de tomate de árbol, esquematizado por Revelo et al. (2004)

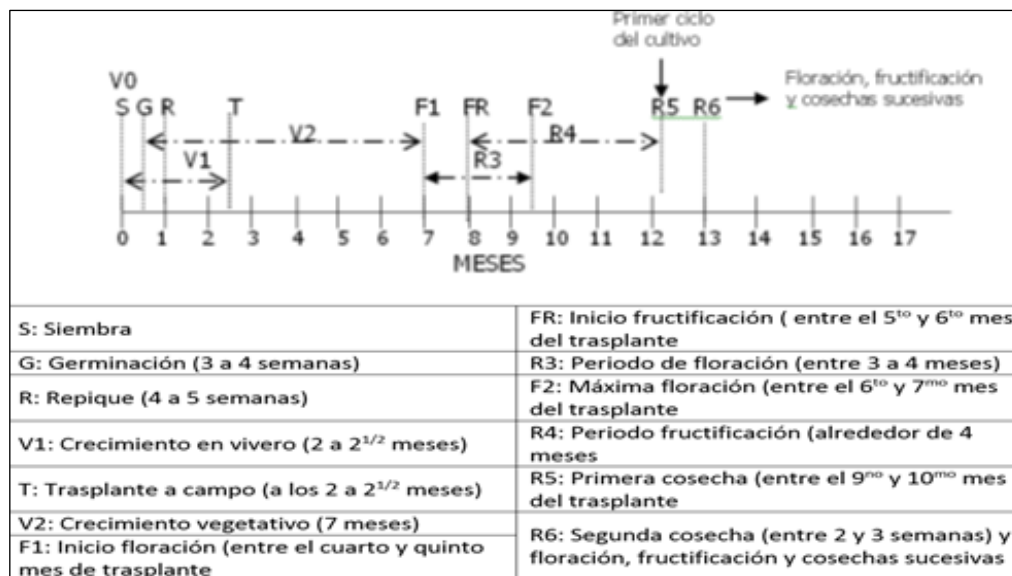


Figura 8. Fenología del tomate de árbol.
Fuente: Revelo et al. (2004)

Según Cautín y Agustí (2005), desde un punto de vista climatológico estos fenómenos sientan las bases para la interpretación de cambios debidos a factores bioclimáticos; agrónomicamente, la consecuencia de un microclima específico permite la respuesta que se prevé de la planta y, económicamente, las etapas fenológicas permiten la ejecución óptima de varias prácticas agrícolas como: polinización manual, predicción de una probable incidencia de plagas, necesidad de fertilización específica o de aplicación de sustancias hormonales particulares, control de maleza, herramientas para una planificación de la actividad agrícola, etc. Los eventos comúnmente observados en los cultivos son: germinación, emergencia, floración (primera - última) y cosecha. Existen eventos adicionales observados en ciertos cultivos específicos, estos incluyen: la presencia de yemas, aparición de hojas, maduración de frutos, generación de tubérculos o bulbos, caída de hojas para varios árboles frutales, etc. (Basaure 2009).

Según Basaure (2009), una fase fenológica viene a ser el período durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas, también puede entenderse como el tiempo de una manifestación biológica; mientras que una etapa fenológica está delimitada por dos fases fenológicas sucesivas, dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado evento meteorológico, de manera que las oscilaciones en los valores de éste evento se reflejan en el rendimiento del cultivo. El comienzo y fin de las fases y etapas sirven como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de las plantas, en términos de una escala de tiempo, días desde la siembra o días desde el trasplante.

1.10. Escala extendida BBCH

Según Hack et al. (1992) la escala extendida BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) es un sistema que permite una codificación uniforme de los distintos estados de desarrollo fenológico para todas las especies de plantas mono y dicotiledóneas, en un principio fue desarrollada una escala general y a partir de ésta se adaptó una escala específica a cada cultivo, basada en un código decimal, siendo 10 los estadios principales (Tabla 3), estableciéndose una lista en función de la madurez fisiológica de una planta.

Tabla 3. Estadios principales de crecimiento.

Estadio	Descripción
0	Germinación, brotación, desarrollo de la yema
1	Desarrollo de las hojas (brote o tallo principal)
2	Formación de brotes laterales / macollamiento (ahijamiento)
3	Crecimiento longitudinal del tallo o crecimiento en roseta, desarrollo de brotes (retoños)/ encañado (tallo principal) de brotes (retoños)/ encañado (tallo principal)
4	Desarrollo de las partes vegetativas cosechables de la planta o de órganos vegetativos de propagación / embuchamiento
5	Emergencia de la inflorescencia (tallo principal) / espigamiento
6	Floración (tallo principal)
7	Desarrollo del fruto
8	Coloración o maduración de frutos y semillas
9	Senescencia, comienzo de la dormancia

Fuente: Hack et al. (1992)

El código decimal se divide en estadios principales, que describen tiempos amplios en el curso del desarrollo de la planta y estadios secundarios que son usados para describir con precisión fases cortas del desarrollo de plantas, la combinación de ambos conducen al código digital de dos cifras, usando también números de 0 a 9; sólo en algunos casos (ej. pepino, cebolla, papa, tomate) se necesita una subdivisión más detallada junto a un estadio principal de crecimiento, para estos casos se presenta una escala de tres dígitos al lado de la escala de dos dígitos (Meier, 2001).

Para el caso del tomate del árbol, Acosta-Quezada et al. (2016) han desarrollado una escala donde hace referencia a ocho estadios (0-9) con sus correspondientes subestadios (Tabla 4); inicia con la germinación (estadio 0), continua con el desarrollo vegetativo (estadios 1a, 1b y 3) floración (estadios 5 y 6), fructificación y termina con la maduración del fruto (estadio 8).

Tabla 4. Escala BBCH para tomate de árbol.

Estadio	Código	Subestadio	Estadio	Código	Subestadio
0 Germinación	[001]	Comienzo de la imbibición	5 Emergencia de la inflorescencia	[501]	Primera inflorescencia visible, primer botón visible
	[003]	Imbibición de las semillas terminada		[502]	Segunda inflorescencia visible, primer botón visible
	[005]	Radícula sale de la semilla		[503]	Tercera inflorescencia visible, primer botón visible
	[007]	Hipocotilo con cotiledones, rompen el tegumento seminal		[504]	Cuarta inflorescencia visible, primer botón visible
	[009]	Emergencia cotiledones rompen la superficie del suelo		[50.]	Estadios continúan
1 Desarrollo de las hojas del tallo principal (a) y de la copa (b)	[100a]	Cotiledones desplegados completamente	6 Floración	[5XY.]	XY Inflorescencia visibles, primer botón visible
	[101a]	La primera hoja del tallo principal, desplegada completamente		[601]	Primera inflorescencia visible, primera flor abierta
	[102a]	La segunda hoja del tallo principal, desplegada completamente		[602]	Segunda inflorescencia visible, primera flor abierta
	[103a]	La tercera hoja del tallo principal, desplegada completamente		[603]	Tercera inflorescencia visible, primera flor abierta
	[104a]	La cuarta hoja del tallo principal, desplegada completamente		[604]	Cuarta inflorescencia visible, primera flor abierta
	[10.a]	Los estadios continúan....	[60.]	Estadios continúan.....	
	[1XY.a]	XY hojas del tallo principal, desplegadas completamente	[6XY.]	XY Inflorescencia visibles, primera flor abierta	
	[101b]	La primera hoja de la copa, desplegada completamente	7 Desarrollo del fruto	[701]	Primera infrutescencia, primer fruto alcanza el tamaño final
	[102b]	La segunda hoja de la copa, desplegada completamente		[702]	Segunda infrutescencia, primer fruto alcanza el tamaño final
	[103b]	La tercera hoja de la copa, desplegada completamente		[703]	Tercera infrutescencia, primer fruto alcanza el tamaño final
[104b]	La cuarta hoja de la copa, desplegada completamente	[70.]		Estadios continúan.....	
[10.b]	Los estadios continúan....	[709]		Novena infrutescencia, primer fruto alcanza el tamaño final	
[1XY.b]	XY hojas de la copa, desplegadas completamente	[7XY.]	XY infrutescencia, primer fruto alcanza el tamaño final		
2 Formación de brotes laterales	[201]	Primer brote apical lateral primario, visible	8 Maduración del fruto	[801]	10% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
	[202]	Segundo brote apical lateral primario, visible		[802]	20% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
	[203]	Tercer brote apical lateral primario, visible		[803]	30% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
	[221]	Primer brote apical lateral secundario, visible		[804]	40% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
	[22.]	Segundo brote apical lateral secundario, visible		[805]	50% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
	[231]	Primer brote apical lateral terciario, visible		[806]	60% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
	[23.]	Los estadios continúan....		[807]	70% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
	[2XY.]	XY brote lateral, visible		[808]	80% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
3 Elongación del tallo	[301]	El tallo alcanza el 10% de su longitud final	[809]	Totalmente maduro: todas las frutas tienen el color típico de la madurez.	
	[302]	El tallo alcanza el 20% de su longitud final			
	[303]	El tallo alcanza el 30% de su longitud final			
	[30.]	Estadios continúan....			
	[309]	Máximo desarrollo del tallo.			

Fuente: Tomado de Acosta-Quezada et al. (2016) adaptado por la Autora.

CAPÍTULO II
MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización y establecimiento del ensayo

La presente investigación se realizó en un terreno ubicado en el campus de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), en la ciudad de Loja, provincia de Loja, Ecuador (Figura 9); entre las coordenadas: Latitud Sur 3° 59' 14" y Longitud Oeste 79° 11' 38". El área de trabajo se encuentra a una altitud de 2148 msnm y pertenece a la formación ecológica bosque seco montano bajo (bs-MB) (Holdridge, 1967). Sus variables meteorológicas presentan una temperatura media anual de 15,8 °C, una precipitación media de 780 mm/año y humedad relativa del 83% (Datos de la estación meteorológica de la UTPL).

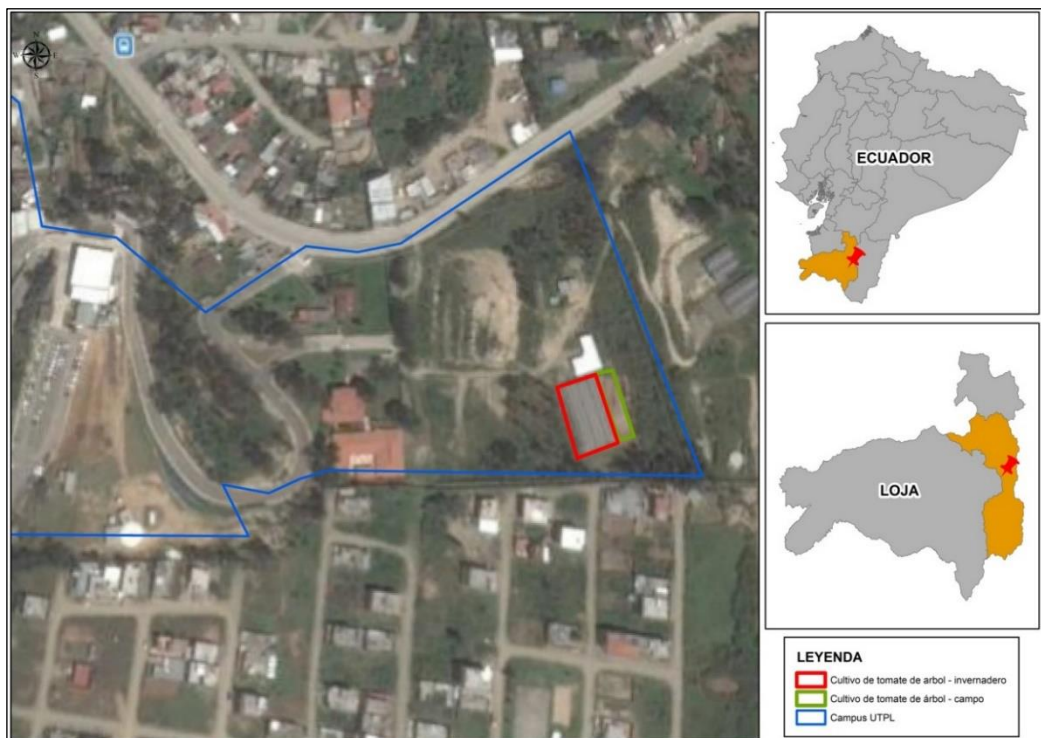


Figura 9. Mapa de ubicación del área de estudio (campus UTPL), posición en el cantón Loja, Ecuador.

Elaboración: La Autora.

Con respecto al establecimiento del ensayo, en una primera fase a nivel de laboratorio, se depositaron 15 semillas de dos cultivares (morado y anaranjado) en una caja petri por separado; esto con el fin de evaluar la germinación de las semillas.

De manera paralela se estableció un vivero con plántulas de los dos cultivares, para evaluar el número de hojas del tallo al inicio del crecimiento de la plántula, y disponer de material para la evaluación en la parcela, tanto a campo abierto como en condiciones controladas, tal como se establecería para un cultivo comercial.

Una vez que las plántulas presentaron las condiciones óptimas en altura y diámetro del tallo, éstas fueron trasplantadas al lugar definitivo tanto en invernadero como en campo abierto, en marcos de plantación de 2 x 2 m, disponiendo de 170 plantas sembradas en invernadero y de 85 plantas a campo abierto (Figura 10 a y b).

Para las plantas ubicadas en invernadero se aplicó riego por goteo, debido a que es el indicado para el cultivo y por la facilidad que presenta éste para la aplicación de fertilizantes y suministro de agua (Judd y McAneney, 1981). Para campo abierto no se dispuso de un sistema de riego. Dichas plantas fueron fertilizadas con codahumus y N-P-K.

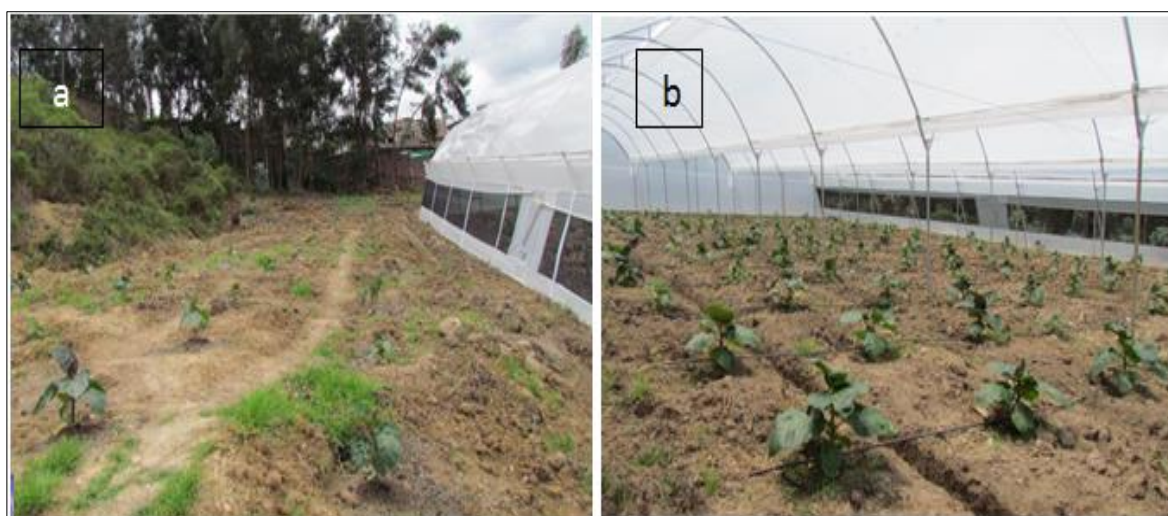


Figura 10. a) Plantas de tomate de árbol en campo abierto y b) Plantas de tomate de árbol en condiciones controladas (invernadero).
Elaboración: La Autora.

2.2. Diseño experimental

La evaluación fenológica se realizó en dos formas de cultivo, una en condiciones controladas (invernadero) y sobre la cual se establecieron dos cultivares (morado y anaranjado) (Figura 11), aquí se estableció un diseño de bloques al azar, con tres réplicas (5 por bloque) (Tabla 5); además se establecieron tratamientos de fertilización mineral y orgánica incluyendo testigos sin fertilización con el fin de conocer si existe influencia de la fertilización en la fenología aunque esto no haya sido planteado en los objetivos.

La otra forma de cultivo fué a campo abierto, que es la forma tradicional de cultivar tomate de árbol, el cual se estableció como testigo externo con respecto a la evaluación en condiciones controladas (Figura 12); para ello se establecieron las mismas variedades (Tabla 5).

Tabla 5. Tratamientos establecidos para evaluar la fenología del cultivo de tomate de árbol en condiciones controladas y a campo abierto, utilizando la escala extendida BBCH específica para la especie.

Código de Tratamiento o Testigo	Cultivar	Fertilización	Condiciones de cultivo
TO-M	Morado	Orgánica	Invernadero
TM-M	Morado	Mineral	Invernadero
TO-A	Anaranjado	Orgánica	Invernadero
TM-A	Anaranjado	Mineral	Invernadero
TX-M	Morado	Sin fertilización	Invernadero
TX-A	Anaranjado	Sin fertilización	Invernadero
TY-M	Morado	Sin fertilización	Campo abierto
TY-A	Anaranjado	Sin fertilización	Campo abierto

Elaboración: La Autora.

Tratamiento	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6	PL7	PL8	PL9	PL10
Organico	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21
	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20
Testigo	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21
Mineral	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20
	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21
Testigo	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20
Mineral	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21
	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20
Testigo	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21
Organico	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20
	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21
Testigo	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20
Mineral	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21
	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20
Testigo	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21
Organico	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20
	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21	A20	A21

Figura 11. Ubicación de plantas de tomate de árbol en condiciones controladas (invernadero), según los tratamientos de fertilización y según el cultivar (A21=Morado y A20=Anaranjado).

Constan en triángulos rojos y círculos amarillos los sitios que representan a la ubicación de la planta evaluada de cada cultivar, morado y anaranjado respectivamente. Elaboración: La Autora.




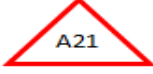
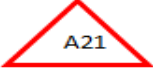



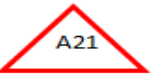












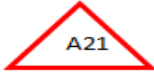


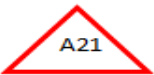


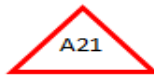


FILA	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5
1	A21	A20	A21	A20	
2		A21			A20
3			A21		A21
4	NO HAY	A21			
5	NO HAY	A20		A20	A21
6	NO HAY	A21			
7	NO HAY		A21		A21
8	NO HAY		A20	A21	A20
9	NO HAY	A20	A21		A21
10	A20		A20	A21	
11		A20	A21	A20	
12		A21	A20	A21	A20
13	A21	A20	A21	A20	
14	A20		A20		A20
15	A21		A21	A20	A21
16	A20		A20		A20
17	A21	A20	A21		A21

Figura 12. Ubicación de plantas de tomate de árbol a campo abierto, según el cultivar (A21=Morado y A20=Anaranjado).
Constan en triángulos rojos y círculos amarillos los sitios que representan a la ubicación de la planta evaluada de cada cultivar, morado y anaranjado respectivamente.
Elaboración: La Autora.

2.3. Material vegetal

Este trabajo se desarrolló utilizando como material vegetal semillas de accesiones conservadas en la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), se estudiaron dos grupos agronómicos o cultivares codificados como: A-21morado y A-20 anaranjado elíptico puntón (Figuras 13 y 14).

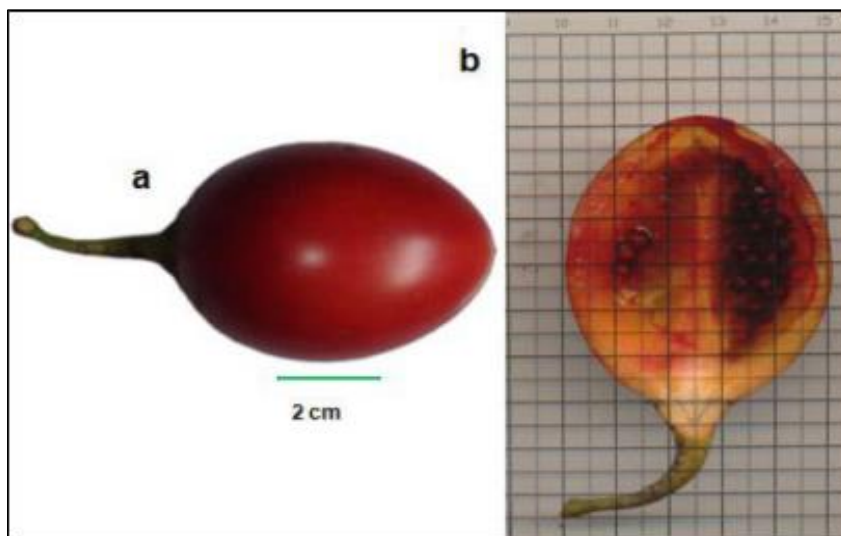


Figura 13. Fruto de grupo agronómico morado: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto y del mucílago morado.
Fuente: Acosta-Quezada et al. (2012)

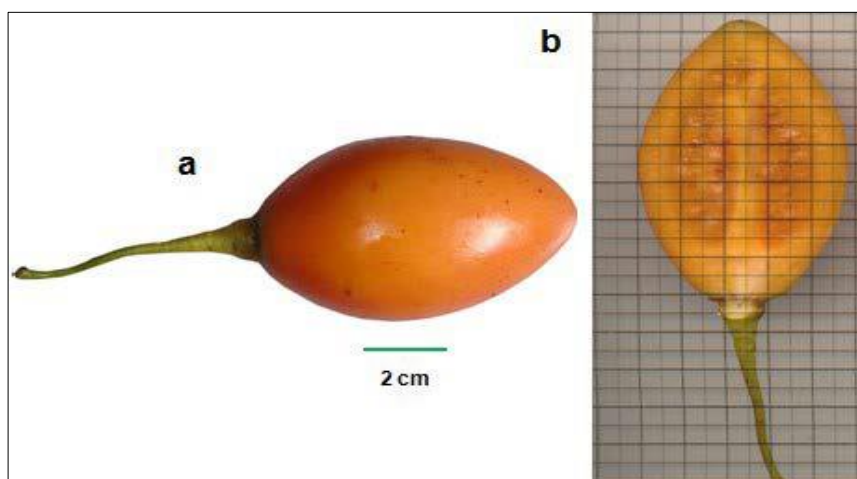


Figura 14. Fruto de grupo agronómico anaranjado-elíptico-puntón: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto.
Fuente: Acosta-Quezada et al. (2012)

2.4. Evaluación de caracteres fenológicos según escala extendida BBCH

2.4.1 Estadios evaluados según la escala estandarizada para tomate de árbol.

La evaluación fenológica se desarrolló basándose de forma general en la escala extendida BBCH para especies monocotiledóneas y dicotiledóneas, planteada por Hack et al. (1992) y, de forma específica con referencia a la escala extendida BBCH para tomate de árbol propuesta por Acosta-Quezada et al. (2016), donde hacen referencia a ocho estadios con sus correspondientes subestadios, de los cuales en éste trabajo se han evaluado siete de ellos:

Estadio principal 0: Germinación

Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas del tallo principal y de la copa

Estadio principal 2: Formación de brotes laterales

Estadio principal 3: Elongación del tallo

Estadio principal 5: Emergencia de la inflorescencia

Estadio principal 6: Floración

Estadio principal 8: Maduración del fruto

El único estadio que no ha sido considerado en este trabajo es el número 7, relacionado con el desarrollo del fruto; pese a que se registraron valores para dicho estadio, estos no fueron convincentes por lo que al realizar el análisis estadístico se decidió no incluirlos en este estudio. Todos los estadios y subestadios fueron evaluados en número de días que es la unidad de medida estándar para la fenología.

A continuación en la Tabla 6, se muestra los estadios y subestadios fenológicos estudiados.

Tabla 6. Escala BBCH para tomate de árbol.

Estadio	Código	Subestadio	Estadio	Código	Subestadio
0 Germinación	[001]	Comienzo de la imbibición	5 Emergencia de la inflorescencia	[501]	Primera inflorescencia visible, primer botón visible *
	[003]	Imbibición de las semillas terminada		[502]	Segunda inflorescencia visible, primer botón visible
	[005]	Radícula sale de la semilla		[503]	Tercera inflorescencia visible, primer botón visible
	[007]	Hipocotilo con cotiledones, rompen el tegumento seminal		[504]	Cuarta inflorescencia visible, primer botón visible
	[009]	Emergencia cotiledones rompen la superficie del suelo		[50.]	Estadios continúan
1 Desarrollo de las hojas del tallo principal (a) y de la copa (b)	[100a]	Cotiledones desplegados completamente	6 Floración	[5XY.]	XY Inflorescencias visibles, primer botón visible
	[101a]	La primera hoja del tallo principal, desplegada completamente		[601]	Primera inflorescencia visible, primera flor abierta *
	[102a]	La segunda hoja del tallo principal, desplegada completamente		[602]	Segunda inflorescencia visible, primera flor abierta
	[103a]	La tercera hoja del tallo principal, desplegada completamente		[603]	Tercera inflorescencia visible, primera flor abierta
	[104a]	La cuarta hoja del tallo principal, desplegada completamente		[604]	Cuarta inflorescencia visible, primera flor abierta
	[10.a]	Los estadios continúan....	[60.]	Estadios continúan	
	[1XY.a]	XY hojas del tallo principal, desplegadas completamente *	[6XY.]	XY Inflorescencias visibles, primera flor abierta	
	[101b]	La primera hoja de la copa, desplegada completamente	8 Maduración del fruto	[801]	10% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez *
	[102b]	La segunda hoja de la copa, desplegada completamente		[802]	20% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
	[103b]	La tercera hoja de la copa, desplegada completamente		[803]	30% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez
[104b]	La cuarta hoja de la copa, desplegada completamente	[804]		40% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez	
[10.b]	Los estadios continúan....	[805]		50% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez *	
[1XY.b]	XY hojas de la copa, desplegadas completamente *	[806]	60% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez		
2 Formación de brotes laterales	[201]	Primer brote apical lateral primario, visible *	[807]	70% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez	
	[202]	Segundo brote apical lateral primario, visible	[808]	80% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez	
	[203]	Tercer brote apical lateral primario, visible	[809]	Totalmente maduro: todas las frutas tienen el color típico * de la madurez	
3 Elongación del tallo	[301]	El tallo alcanza el 10% de su longitud final			
	[302]	El tallo alcanza el 20% de su longitud final			
	[303]	El tallo alcanza el 30% de su longitud final *			
	[30.]	Estadios continúan			
	[309]	Máximo desarrollo del tallo			

Fuente: Tomado de Acosta-Quezada et al. (2016) y adaptado por la Autora.

*Estadios a los que se realizó un análisis de varianza factorial (ANOVA), y una comparación múltiple de diferencias entre medias.

2.5. Forma de evaluación de los estadios BBCH

A continuación se menciona la metodología desarrollada para evaluar cada uno de los estadios.

2.5.1. Estadio principal 0: Germinación.

Para la toma de datos de este estadio se sembró en laboratorio una muestra de 15 semillas por cada cultivar. La siembra se realizó en cajas petri que permanecieron al ambiente y fueron monitoreadas diariamente para poder establecer el número de días en los que la semilla pasa de un subestadio a otro.

2.5.2. Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas del tallo principal y de la copa.

2.5.2.1. Desarrollo de las hojas del tallo principal [1a].

Se evaluó sobre otras plántulas establecidas en vivero y después sobre aquellas ubicadas ya en el invernadero y a campo abierto. Se evaluó el desarrollo de la novena hoja del tallo principal [subestadio 109a] tomando en cuenta cada uno de los tratamientos y posteriormente cuando el tallo presentó un rango entre 18 y 26 hojas.

2.5.2.2. Desarrollo de las hojas de la copa [1b].

Este estadio se evalúa cuando los brotes laterales aparecen en conjunto con las primeras hojas que formaron la copa, sin embargo se mencionan aquí con el fin de mantener un orden secuencial de acuerdo a la escala BBCH. Las hojas de la copa son de menor tamaño que las del tallo pero son más abundantes, se las contabilizó una vez desarrolladas cuando presentaron más de 28 hojas [128b].

2.5.3. Estadio principal 2: Formación de brotes laterales.

Es importante mencionar que las plantas ubicadas en invernadero fueron podadas en su parte apical cuando presentaron una altura promedio de 1,15 m, con el fin de controlar la altura de éstas. Por ello, una vez que las plantas fueron podadas se esperó la formación de sus brotes laterales, para poder registrar el primer brote apical primario visible [201] y el segundo brote apical primario visible [202]. No se evaluó el tercer brote ya que la mayor parte de las plantas presentaron dos brotes debido a la poda del tallo principal.

2.5.4. Estadio principal 3: Elongación del tallo.

El desarrollo del tallo, según la escala BBCH específica para tomate de árbol, empieza cuando éste presenta alrededor de tres nudos, hasta alcanzar un total de aproximadamente 30 nudos, es decir el 100%. Se realizó el conteo hasta la formación de nueve nudos (30% de la longitud total de tallo [303]).

2.5.5. Estadio principal 5: Emergencia de la inflorescencia.

La emergencia de la inflorescencia comienza simultáneamente con la aparición de los brotes laterales, aparece la primera inflorescencia en el extremo de los brotes, la misma que se evidencia cuando se desarrolla y es visible el primer botón floral de la primera inflorescencia [501]; evaluándose hasta la presencia del primer botón de la cuarta inflorescencia [504].

2.5.6. Estadio principal 6: Floración.

Se evaluó cuando se evidenció la primera flor abierta de la primera inflorescencia [601], hasta el desarrollo de la primera flor abierta de la cuarta inflorescencia [604].

2.5.7. Estadio principal 8: Maduración del fruto.

Para registrar este estadio se realizó con anticipación un conteo general del número de frutos que presentaba cada planta, y así poder establecer un valor de referencia relacionado con el 100%. Con ello se evaluó la maduración del fruto al 10, 50 y 90% [801, 805 y 809]. Para determinar éste estadio se observó que los frutos alcancen el color típico de su madurez.

2.6. Análisis estadístico de los datos para la caracterización fenológica

A partir de los datos obtenidos se generó una Matriz Básica de Datos (MBD), tanto para las evaluaciones realizadas en invernadero como a campo abierto; de esta matriz se obtuvieron valores medios y el error estándar para cada una de las variables fenológicas o estadios. Además se realizó un análisis de varianza factorial (ANOVA) y una comparación múltiple de diferencias entre medias para determinados estadios con el test de Duncan a un nivel de significancia de $p < 0,001$; $p < 0,01$ y $p < 0,05$. El programa estadístico utilizado fue STATGRAPHICS® Plus 5.1 (Statistical Graphics Corporation, Rocville, MO, USA).

Además, con los valores medios asumidos para cada estadio o subestadio fenológico, se generó un gráfico de líneas con el fin de identificar el comportamiento evolutivo fenológico de cada cultivar, según las condiciones en que fue cultivado (en invernadero o a campo abierto) y según los tratamientos establecidos, esto último para condiciones controladas.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Germinación y desarrollo de plántulas en vivero

3.1.1. Estadio fenológico principal 0: Germinación de semillas.

En la Tabla 7 se presentan los valores de un total de 15 muestras (semillas) evaluadas, de dos cultivares: morado y anaranjado en condiciones de laboratorio (Figura 15). Se ha determinado que las semillas comienzan su proceso de imbibición [001] a partir de los siete días, resultando el cultivar morado más tardío con un valor medio de 9,5 días, mientras que el cultivar anaranjado presenta un valor medio de 7,4 días. Con referencia a la salida del hipocotilo y cotiledones del tegumento seminal [007], éste subestadio ha tomado un total de 20 días para ambos cultivares, valor referencial que es importante considerar puesto que el proceso se encuentra muy próximo a la emergencia de los cotiledones que rompen la superficie del suelo [009], y que ha tomado entre 25 y 27 días; lo que coincide con Acosta-Quezada et al. (2016), quienes indican que la germinación se puede dar en un rango de 14 a 28 días, dependiendo de la temperatura y el tipo de sustrato.

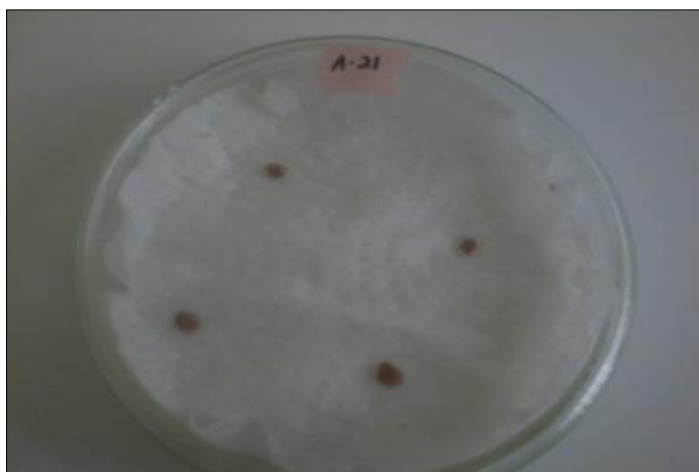


Figura 15. Germinación de semillas en cajas petri, en condiciones de laboratorio.
Elaboración: La Autora.

Tabla 7. Estadio fenológico principal 0 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Germinación de semillas de tomate de árbol morado y anaranjado, conforme a cinco subestadios evaluados en número de días. Constan en corchetes los códigos BBCH.

Se	Cultivar	Número de muestra (semilla)	Comienzo de la imbibición de las semillas [001]	Imbibición completa de las semillas [003]	Radícula sale de la semilla [005]	Hipocotilo con cotiledones, rompen el tegumento seminal [007]	Emergencia, cotiledones rompen la superficie del suelo [009]
	Morado	1	9	12	15	20	26
		2	10	12	16	22	27
		3	10	13	17	22	28
		4	10	13	17	20	26
		5	10	13	17	20	26
		6	9	13	17	20	26
		7	10	12	15	22	28
		8	9	13	17	22	28
		9	9	12	16	20	28
		10	9	12	16	20	27
		11	10	12	15	22	26
		12	9	12	15	22	27
		13	9	13	17	20	27
		14	10	13	17	20	27
		15	10	13	17	22	26
	Media		9,5	12,5	16,3	20,9	26,9
	Error estándar		±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,2
	Anaranjado	1	7	11	14	19	24
		2	8	12	15	20	25
		3	8	12	15	20	25
		4	8	11	14	19	25
		5	7	11	14	19	24
		6	7	11	14	19	24
		7	7	12	15	20	24
		8	7	12	15	20	25
		9	8	12	15	20	24
		10	8	12	15	19	25
		11	8	11	14	20	25
		12	7	11	14	19	24
		13	7	11	14	19	24
		14	7	12	15	20	25
		15	7	12	15	20	25
	Media		7,4	11,5	14,5	19,5	24,5
	Error estándar		±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1
	Media general		8,5	12	15,4	20,2	25,7

Elaboración: La Autora.

puede deducir que el proceso de germinación de la semilla de tomate de árbol toma aproximadamente un mes desde la siembra hasta la emergencia de los cotiledones sobre la superficie del suelo, esto en condiciones de laboratorio que no diferirían mucho de las

condiciones convencionales considerando que no se ha realizado ninguna alteración o control de la temperatura y de la humedad ambiental en laboratorio (Figura 15). Según Feicán et al. (1999) y Santillán (2001), es fundamental que las plantas de tomate de árbol permanezcan bajo condiciones adecuadas de vivero hasta su posterior trasplante; por lo que el conocimiento del estadio fenológico principal 0 (germinación) es relevante para la planificación de la producción de plántulas de tomate de árbol. Es en ésta fase cuando se debe dar especial atención al cuidado de la semilla y a su proceso germinativo con referencia a la luminosidad, temperatura y humedad ambiental, así como a la disponibilidad de agua en el sustrato; la absorción de agua es el primer paso para la germinación, sin el cual el proceso no puede darse (Doria, 2010). Además Jaramillo et al. (2007), indican que luego de la siembra debe regarse el semillero vivero en la mañana y en la tarde si es necesario, para evitar deficiencias de humedad en el sustrato que afecten la germinación de las semillas.

Tabla 8. Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado en fase de vivero, conforme a cinco subestadios evaluados en número de días. Constan en corchetes los códigos BBCH.

Cultivar	Número de planta	Cotiledones desplegados completamente [100a]	Primera hoja verdadera del tallo principal desplegada completamente [101a]	Segunda hoja verdadera del tallo principal desplegada completamente [102a]	Tercera hoja verdadera del tallo principal desplegada completamente [103a]	Cuarta hoja verdadera del tallo principal desplegada completamente [104a]
Morado	1	38	43	53	62	72
	2	37	41	55	60	69
	3	37	41	55	62	69
	4	38	43	53	62	72
	5	38	43	53	62	72
	6	38	43	53	62	70
	7	37	41	55	61	69
	8	37	41	55	61	69
	9	37	41	55	61	69
	10	37	41	55	61	69
	11	38	43	53	63	70
	12	37	44	55	61	69
	13	37	44	55	62	69
	14	37	44	55	62	69
	15	38	43	53	62	70
Media		37,4	42,4	54,2	61,6	69,8
Error estándar		±0,1	±0,3	±0,3	±0,2	±0,3
Anaranjado	1	31	37	48	57	64
	2	32	39	47	56	66
	3	31	37	48	55	64
	4	31	37	48	55	64
	5	31	37	48	55	66
	6	31	37	48	55	66
	7	31	37	48	55	64
	8	31	37	48	55	66
	9	31	37	48	57	66
	10	31	37	48	57	64
	11	31	37	48	55	64
	12	31	37	48	55	64
	13	31	37	48	57	64
	14	32	39	47	56	66
	15	32	39	47	56	66
Media		31,2	37,4	47,8	55,7	64,9
Error estándar		±0,1	±0,2	±0,1	±0,2	±0,3
Media general		34,3	39,9	51,0	58,7	67,4

Elaboración: La Autora.

3.1.2. Estadio fenológico principal 1a: Desarrollo de las hojas del tallo en fase de vivero.

La fase de vivero en tomate de árbol está relacionada con el estadio principal 0 y de forma parcial con el estadio fenológico principal 1a, de acuerdo a la escala extendida BBCH. En este trabajo se han estudiado 15 plantas por cada cultivar, evaluándose un total de cinco subestadios [100a–104a] (Tabla 8, Figura 16).

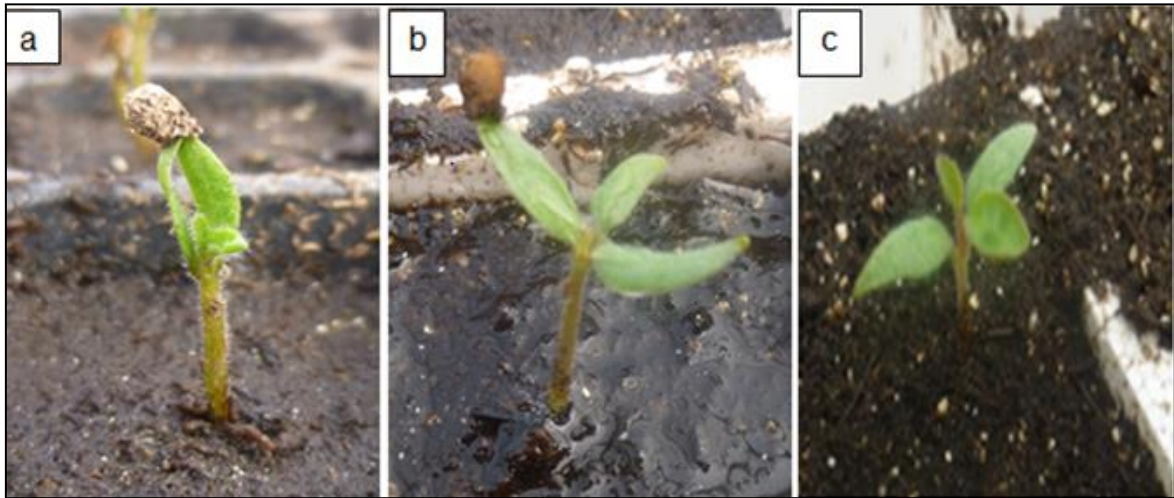


Figura 16. a) Formación de hojas cotiledonares, b) Primera hoja verdadera del tallo principal desplegada completamente [101a], c) Segunda hoja verdadera del tallo principal desplegada completamente [102a].

Elaboración: La Autora.

En la Tabla 8 se observa los datos relacionados con el inicio del estadio fenológico 1a relacionado con el despliegue completo de los cotiledones [100a], tomando un tiempo promedio de 34 días (un mes) a partir de la siembra entre ambos cultivares y para a continuación formar la primera hoja verdadera del tallo desplegada completamente [101a], lo cual toma aproximadamente una semana luego de que los cotiledones se hayan desplegado completamente. En fase de vivero se ha evaluado hasta la formación de la cuarta hoja verdadera del tallo principal [104a] tomando un tiempo superior a dos meses, esto es en un rango comprendido entre 70 días para el cultivar morado y 65 días para el cultivar anaranjado (Tabla 8). Esto coincide con lo mencionado por León et al. (2004), cuando las plántulas de tomate de árbol han alcanzado de 3 a 5 cm de alto y presentan entre 2 y 4 hojas verdaderas, requieren ser transplantadas a fundas para ser establecidas en vivero; y después de 45 a 65 días las plántulas alcanzan aproximadamente de 15 a 20 cm y están listas para la plantación en campo definitivo.

Además, Jaramillo et al. (2007) afirma que diversas especies de cultivos hortícolas y de árboles frutales, incluyendo el tomate de árbol, requieren de un establecimiento previo en semillero y/o vivero, debido a que los tejidos tiernos de estas plantas jóvenes efectúan una gran actividad fotosintética y son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura y humedad, deben estar ubicadas donde se les pueda brindar los máximos cuidados, ya que crecen con rapidez y cualquier alteración de las condiciones ambientales puede incidir en su desarrollo, además requieren riegos cortos pero frecuentes, de dos hasta tres veces al día.

3.2. Transplante a la parcela y desarrollo de la planta de tomate de árbol

3.2.1. Estadio fenológico principal 1a: Desarrollo de las hojas del tallo en la parcela.

Considerando que desde éste subestadio 109a las plantas se encuentran establecidas en el campo definitivo, sea a campo abierto o en invernadero (Figura 17), la evaluación se basa con respecto a los tratamientos (variedades) establecidos en este ensayo (Tabla 9).



Figura 17. Plantas de tomate de árbol transplantadas en el sitio definitivo, en condiciones controladas (invernadero).
Elaboración: La Autora.

De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto a la formación de hasta la novena hoja de cada planta evaluada, en la Tabla 8 se observa un rango en número de días muy estrecho entre los tratamientos, esto es 112 días para TO-Anaranjado y 118 para TO-Morado, y con valores intermedios dentro de este rango para el resto de tratamientos incluyendo los testigos. Esto sugiere que la formación de la novena hoja no ha sido influenciada por los tratamientos de fertilización orgánica y mineral; de hecho, los valores extremos se presentan en diferentes cultivares. Por otra parte, con respecto a la evaluación realizada en campo abierto, el promedio general del desarrollo de la novena hoja es de 124 días (Tabla 10).

Tabla 9. Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero y conforme a dos programas de fertilización. Novena hoja desarrollada, subestadio 109a evaluado en número de días.

Bloque	Número de planta	T0- Morado	TM- Morado	TO- Anaranjado	TM- Anaranjado	TX- Morado	TX- Anaranjado	Media general
I	1	123	109	106	106	109	134	
	2	123	109	106	106	123	134	
	3	123	109	120	120	137	106	
	4	123	109	134	120	123	106	
	5	137	109	120	106	109	106	
II	1	123	109	106	134	109	106	
	2	109	109	106	106	123	106	
	3	109	123	106	120	109	106	
	4	123	109	106	106	109	120	
	5	109	109	106	106	109	120	
III	1	109	109	106	134	116	114	
	2	109	109	120	134	116	114	
	3	123	123	106	106	116	114	
	4	123	109	106	134	116	114	
	5	109	109	120	120	116	114	
Media		118,3	110,9	111,6	117,2	116	114,4	114,7
Error estándar		±2	±1	±2	±3	±3	±4	

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo para el cultivar anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Tabla 10. Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Novena hoja desarrollada, subestadio 109a evaluado en número de días.

Número de planta	TY-Morado	TY-Anaranjado	Media general
1	123	126	
2	109	126	
3	123	132	
4	123	126	
5	151	146	
6	151	132	
7	123	132	
8	109	132	
9	109	118	
10	126	118	
11	123	118	
12	109	118	
13	109	118	
14	109	132	
15	137	118	
Media	122,3	126,1	124,2
Error estándar	±4	±3	

TY-Morado=testigo morado, TY-Anaranjado=testigo anaranjado.

Elaboración: La Autora

Al comparar la media general, de los valores obtenidos con las plantas establecidas en invernadero con respecto a aquellas sembradas a campo abierto, éstas últimas tardan mayor tiempo en llegar a producir la novena hoja, siendo aproximadamente 10 días más tardías (Tablas 9 y 10). La razón por la que se ha presentado una mayor precocidad de las hojas en plantas establecidas en invernadero podría deberse, a las altas temperaturas registradas dentro de éste, entre 28,8 y 35,5 °C, frente a un rango de 12,9 a 22,6 °C y una media de 15,8 °C en campo abierto (Datos de la estación meteorológica de la UTPL); Lo que coincide con Rawson y Gómez (2001) un mayor rango de temperatura, podría afectar la tasa de desarrollo de la planta a través de sus distintas fases y la producción de hojas, tallos y otros componentes; todos los procesos fisiológicos de la planta ocurren más rápidamente a medida que la temperatura aumenta, entre una temperatura base y una temperatura óptima; además, se debe considerar que el crecimiento de las plantas superiores ocurre en un rango de 0 a 35 °C y que un incremento de 10 °C aumenta la tasa de crecimiento de dos a tres veces (Hernández, 2009).

Se debe considerar que la generación de hojas para este estadio está relacionada con el crecimiento o elongación del tallo [estadio 3] que es de donde se origina, lo cual se menciona más adelante.

La Figura 18 muestra el desarrollo de las primeras nueve hojas originadas en el tallo principal de plantas establecidas en condiciones controladas.



Figura 18. Desarrollo de las primeras nueve hojas [109a] de la planta de tomate de árbol.
Elaboración: La Autora.

El desarrollo de las hojas del tallo fué evaluado hasta cuando la planta produjo un número de entre 18 y 26 hojas, determinándose también un rango de días muy estrecho entre los diferentes tratamientos tanto en invernadero como a campo abierto. La formación de 18 o más hojas del tallo [118a], en promedio general para invernadero ha tomado 230 días a partir de la siembra; mientras que si se considera desde la fecha del transplante ha tomado aproximadamente 162 días. En condiciones de campo abierto la planta ha tardado 230 días para su formación. No existe diferencia en el número de días en que se ha detectado el desarrollo de 18 o más hojas en el tallo al comparar entre condiciones controladas y campo abierto, debido a que se contabilizó sobre hojas totalmente desarrolladas, lo cual hace menos preciso conocer el día exacto en que estas dejan de crecer (Tablas 11 y 12). El tallo normalmente presenta alrededor de 30 a 50 hojas (Acosta-Quezada et al., 2016).

Tabla 11. Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero, conforme a dos programas de fertilización. Subestadio 118a (18 o más hojas del tallo), evaluado en número de días.

Bloque	Número de planta	[118a]						Media general
		TO-Morado	TM-Morado	TO-Anaranjado	TM-Anaranjado	TX-Morado	TX-Anaranjado	
I	1	231	231	228	228	231	228	
	2	231	231	228	228	231	228	
	3	231	231	228	228	231	228	
	4	231	231	228	228	231	228	
	5	231	231	228	228	231	228	
II	1	231	231	228	228	231	228	
	2	231	231	228	228	231	228	
	3	231	231	228	228	231	228	
	4	231	231	228	228	231	228	
	5	231	231	228	228	231	228	
III	1	231	231	228	228	231	228	
	2	231	231	228	228	231	228	
	3	231	231	228	228	231	228	
	4	231	231	228	228	231	228	
	5	231	231	228	228	231	228	
Media		231,0	231,0	228,0	228,0	231,0	228,0	229,5
Error estándar		±0	±0	±0	±0	±0	±0	

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo para el cultivar anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Tabla 12. Estadio fenológico principal 1a de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadio 118a (18 o más hojas en el tallo), evaluado en número de días.

Número de planta	[118a]		Media general
	TY-Morado	TY-Anaranjado	
1	228	231	
2	228	231	
3	228	231	
4	228	231	
5	228	231	
6	228	231	
7	228	231	
8	228	231	
9	228	231	
10	228	231	
11	228	231	
12	228	231	
13	228	231	
14	228	231	
15	228	231	
Media	228	231	229,5
Error estándar	±0	±0	

TY-Morado=testigo morado, TY-Anaranjado=testigo anaranjado.
Elaboración: La Autora.

Entre seis a ocho meses después del trasplante, la planta de tomate de árbol sufre un desarrollo vegetativo significativo, un rápido crecimiento del tallo y el desarrollo de hojas grandes en el tallo, por lo que en ésta etapa son importantes los aportes de nitrógeno, fósforo, calcio y micro-elementos (León et al., 2004; Acosta-Quezada et al., 2012, 2016); esta información coincide con lo encontrado en el presente trabajo, puesto que el desarrollo de las 18 o más hojas del tallo [118a], se ha presentado precisamente a los 7 meses del trasplante (aproximadamente a 230 días de la siembra); etapa en la que se ha evidenciado especialmente el desarrollo de hojas de un tamaño considerable, por lo que se presenta una alta actividad fisiológica de la planta y sobre la cual hay que poner mucha atención en lo que respecta a los planes de fertilización como lo indican los autores antes citados. Con respecto al tamaño de la hoja según Acosta-Quezada et al. (2012) las hojas del tallo principal son muy similares a las de la copa; diferenciándose únicamente por ser significativamente de mayor tamaño las primeras, aunque las de la copa son mucho más abundantes.

3.2.2. Estadio fenológico principal 1b: Desarrollo de las hojas de la copa.

Aunque este estadio fenológico debería tratarse más adelante, debido a que la formación de las hojas de la copa se presenta de forma paralela a la formación de la copa, es decir cuando las ramas laterales están en pleno desarrollo, se muestra aquí con el fin de mantener la estructura secuencial de los estadios fenológicos de la escala extendida BBCH.

Para el estadio fenológico 1b se ha evaluado únicamente un subestadio, esto es cuando la planta ha presentado 28 o más hojas en la copa [128b]. El número de días a los cuales las plantas de tomate de árbol han formado 28 o más hojas de la copa, indistintamente del tratamiento o del cultivar, ha sido aproximadamente de 295 días a partir de la siembra en invernadero (Tabla 13) y 258 días a partir de la siembra a campo abierto (Tabla 14). De igual forma, que al identificar la formación de 18 o más hojas del tallo [118a], únicamente se constató que el número de hojas desarrolladas totalmente sea de 28 o más, y no la fecha o número de días a los cuales cada una de las hojas se habría formado totalmente.

Tabla 13. Estadio fenológico principal 1b de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas de la copa de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero conforme a dos programas de fertilización. Subestadio 128b (28 o más hojas en la copa), evaluado en número de días.

Bloque	Número de planta	[128b]						Media general
		TO-Morado	TM-Morado	TO-Anaranjado	TM-Anaranjado	TX-Morado	TX-Anaranjado	
I	1	296	296	293	293	296	293	
	2	296	296	293	293	296	293	
	3	296	296	293	293	296	293	
	4	296	296	293	293	296	293	
	5	296	296	293	293	296	293	
II	1	296	296	293	293	296	293	
	2	296	296	293	293	296	293	
	3	296	296	293	293	296	293	
	4	296	296	293	293	296	293	
	5	296	296	293	293	296	293	
III	1	296	296	293	293	296	293	
	2	296	296	293	293	296	293	
	3	296	296	293	293	296	293	
	4	296	296	293	293	296	293	
	5	296	296	293	293	296	293	
Media		296	296	293	293	296	293	294,5
Error estándar		±0	±0	±0	±0	±0	±0	

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo para el cultivar anaranjado. Elaboración: La Autora.

Tabla 14. Estadio fenológico principal 1b de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de las hojas de la copa de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadio 128b (28 o más hojas en la copa), evaluado en número de días.

Número de planta	[128b]		Media general
	TY-Morado	TY-Anaranjado	
1	256	259	
2	256	259	
3	256	259	
4	256	259	
5	256	259	
6	256	259	
7	256	259	
8	256	259	
9	256	259	
10	256	259	
11	256	259	
12	256	259	
13	256	259	
14	256	259	
15	256	259	
Media	256,0	259,0	257,5
Error estándar	±0	±0	

TY-Morado=testigo morado, TY-Anaranjado=testigo anaranjado.
Elaboración: La Autora.

Se evidencia que para la formación de hojas de la copa [128b] en campo abierto, las plantas han sido más precoces que las de invernadero, con una diferencia superior a 30 días. Se hubiese esperado que la formación de las hojas en plantas establecidas en invernadero sea más precoz, que las plantas a campo abierto como lo encontrado para las hojas del tallo, lo que podría deberse a que las plantas de invernadero al ser inicialmente más precoces, y con una notable mayor vigorosidad arquitectónica, estén sometidas a un desgaste de elementos como el nitrógeno y esto haya afectado a la formación de hojas en tiempo (León et al., 2004)

Lógicamente, se observa primero la presencia de las hojas del tallo y luego de la copa; sin embargo, se debe aclarar que durante este lapso de tiempo e inclusive más allá de éste, existe una presencia simultánea de hojas del tallo y de la copa, aunque las primeras están en un periodo en que ha concluido su crecimiento y se empieza a evidenciar la caída de estas, lo cual es normal.

3.2.3. Estadio fenológico principal 2: Desarrollo de los brotes laterales.

Según la Tabla 15 el desarrollo de ambos brotes laterales para el caso de invernadero, ha sido paralelo y no se ha evidenciado una diferencia en número de días con respecto a su aparición; tanto así, que la observación y diferenciación del primer y segundo brote no ha sido fácil de identificar (Figura 19). En promedio la formación del primer brote ha tomado un tiempo de 202 días, mientras que para la formación del segundo brote un promedio de 208 días después de la siembra.

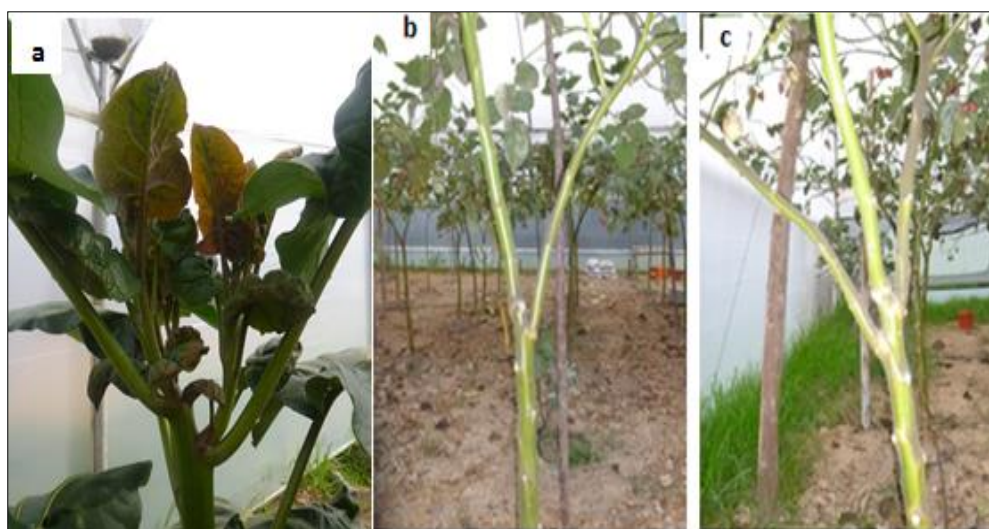


Figura 19. a) Formación de brotes laterales, b) Bifurcación y c) Trifurcación del tallo de la planta tomate de árbol.
Elaboración: La Autora.

Tabla 15. Estadio fenológico principal 2 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de los brotes laterales de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero, conforme a dos programas de fertilización, Subestadios 201 (primer brote apical primario visible) y 202 (segundo brote apical primario visible) evaluados en número de días.

Bloque	Número de planta	TO- Morado		TM-Morado		TO-Anaranjado		TM-Anaranjado		TX-Morado		TX-Anaranjado		Media general
		[201]	[202]	[201]	[202]	[201]	[202]	[201]	[202]	[201]	[202]	[201]	[202]	
I	1	206	209	206	213	200	205	203	209	206	207	197	203	
	2	202	209	219	219	203	205	203	209	204	207	197	203	
	3	206	209	199	206	203	205	203	210	204	207	196	203	
	4	202	209	206	213	200	205	209	216	206	207	203	203	
	5	202	209	219	219	200	205	203	210	199	206	196	203	
II	1	199	206	206	213	196	203	203	210	206	213	196	203	
	2	199	206	199	206	200	205	196	203	199	206	197	203	
	3	206	213	219	227	203	210	216	224	207	219	196	203	
	4	206	209	199	206	203	210	196	203	199	206	196	203	
	5	206	213	199	206	203	205	196	203	199	206	196	203	
III	1	199	206	206	213	196	203	203	209	204	207	197	203	
	2	199	209	206	213	196	205	203	210	204	208	197	203	
	3	199	206	206	213	203	205	203	210	204	207	196	203	
	4	199	206	199	206	196	203	203	209	204	207	197	203	
	5	206	213	206	213	196	203	203	209	204	207	196	203	
Media		202,2	208,6	206,3	212,8	199,8	205,3	202,9	209,6	203,3	208	197	203	204,9
Error estándar		±1	±1	±2	±2	±5	±1	±2	±2	±2	±1	±2	±0	

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo para el cultivar anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Según Acosta-Quezada et al. (2012, 2016), la formación de brotes laterales está relacionado con la generación de ramas primarias en la parte apical de la planta, las cuales a su vez se ramifican y llegan a conformar la estructura o esqueleto de la copa; generalmente la copa se estructura por tres ramas principales y a un rango de altura comprendido entre 1 y 1,50 m, mencionando además que durante el primer año se presenta una trifurcación y en ciertos casos una bifurcación, esta última que podría ser inducida por la poda del ápice del tallo principal (Figura 19). De hecho, en este estudio en lo que respecta a las plantas de invernadero, debido a su considerable desarrollo fué necesario realizar una poda del tallo de cada planta cuando alcanzaron una altura aproximada de 1,15 m con el fin de controlar el crecimiento, como resultado, aproximadamente el 63,93% de las plantas presentaron dos ramas principales; esto podría deberse a que el corte realizado sobre el ápice del tallo haya incidido para que las auxinas actúen como un factor de inhibición de la citoquinina, la misma que interviene en la formación de los brotes laterales y por lo que pudo haberse alterado la morfogénesis de la planta (Chatfield et al., 2000).

Por otra parte, en campo abierto a las plantas les ha tomado 230 días en promedio para la aparición del primer brote lateral (Tabla 16), siendo un mes más tardías que las plantas ubicadas en invernadero; lo cual se debería a las condiciones de temperatura, considerando que fuera del invernadero se han registrado valores menores con aproximadamente 15,8 °C menos que en invernadero.

Para las plantas establecidas a campo abierto, no se registró la aparición del segundo y tercer brote, debido que al no podar las plantas, la aparición de las ramas fue más densa y complicó la identificación.

Tabla 16. Estadio fenológico principal 2 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Desarrollo de los brotes laterales de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadio 201 (primer brote lateral visible), evaluado en número de días.

Número de planta	[201]		Media general
	TY-Morado	TY-Anaranjado	
1	228	231	
2	228	231	
3	228	231	
4	228	231	
5	228	231	
6	228	231	
7	228	231	
8	228	231	
9	228	231	
10	228	231	
11	228	231	
12	228	231	
13	228	231	
14	228	231	
15	228	231	
Media	228	231	229,5
Error estándar	±0	±0	

TY-Morado=testigo morado, TY-Anaranjado=testigo anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Para el estadio principal 2, se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación múltiple de diferencias entre valores medios, específicamente para el subestadio 201 (Tabla 17). El ANOVA realizado para esta variable indica que existen diferencias significativas entre los valores obtenidos para cada uno de los tratamientos en condiciones controladas, así como en condiciones a campo abierto, lo cual se corrobora en la comparación múltiple según el test de Duncan (Tabla 17).

Tabla 17. Análisis de la varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre valores medios para el subestadio 201 (primer brote lateral visible) para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.

Cuadrado medio (entre - grupos)	Coefficiente - F	Valor - P	Tratamientos	[201]
2528,35	149,47	< 0,001 ***	TO-Morado	202,40 b c
			TM- Morado	206,27 d
			TX- Morado	204,07 c d
			TO- Anaranjado	199,87 a b
			TM- Anaranjado	203,33 c d
			TX- Anaranjado	197,00 a
			TY- Anaranjado	228,00 e
			TY- Morado	231,00 f
			Media general	208,99
			Error estándar	1,06

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo en invernadero para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo en invernadero para el cultivar anaranjado, TY=Anaranjado=testigo a campo abierto para el cultivar anaranjado y TY-Morado=testigo a campo abierto para el cultivar morado.

* Significativo a nivel 0,05; ** Significativo a nivel 0,01; ***Significativo a nivel 0,001.

Elaboración: La Autora.

3.2.4. Estadio fenológico principal 3: Elongación del tallo.

En este trabajo el tallo de plantas cultivadas en invernadero ha alcanzado el 10% de su longitud final [301], para los tratamientos TO y TM de ambos cultivares, alrededor de los 90 y 100 días, mientras que el 30% de su longitud [303] en aproximadamente 165 días. Se observa una diferencia en el número de días para el testigo anaranjado (TX) con relación al resto de tratamientos, resultando ser el más tardío con un valor de 196 días (Tabla 18). La altura promedio que las plantas presentaron en estas condiciones fué de 1,45 m, considerando que inicialmente fueron podadas a una altura aproximada de 1,15 m.

La escala BBCH establecida para el tomate de árbol (Acosta-Quezada et al., 2016), indica que el tallo de esta especie, alcanza un número de 30 nudos equivalente al 100% y por lo que se considera como inicio del desarrollo del tallo cuando éste presenta alrededor de tres nudos, equivalente al 10% de la longitud final del tallo.

La longitud del tallo de la planta de tomate de árbol y por ende el número de nudos, depende del cultivar, del tipo de técnicas de cultivo (poda), así como de las condiciones ambientales; las plantas de esta especie suelen presentar tallos con una altura que va

desde 116,3 hasta 163,4 cm, con un número de hasta 30 nudos y con una longitud de entre nudos de 3 a 6 cm (Acosta-Quezada et al., 2010) (Figura 20).



Figura 20. Elongación del tallo de la planta de tomate de árbol.
Fuente: Acosta-Quezada et al. (2016)

Tabla 18. Estadio fenológico principal 3 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Elongación del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero, conforme a dos programas de fertilización. Subestadios 301 (el tallo alcanza el 10% de su longitud final), 302 (el tallo alcanza el 20% de su longitud final) y 303 (el tallo alcanza el 30% de su longitud final), evaluados en número de días.

Bloque	Número de planta	TO-Morado			TM-Morado			TO-Anaranjado			TM-Anaranjado			TX-Morado			TX-Anaranjado			Media general
		[301]	[302]	[303]	[301]	[302]	[303]	[301]	[302]	[303]	[301]	[302]	[303]	[301]	[302]	[303]	[301]	[302]	[303]	
I	1	77	150	182	108	150	182	74	138	137	74	133	147	100	138	77	119	147	228	
	2	77	108	171	77	150	164	119	147	147	133	147	161	100	138	77	119	147	228	
	3	77	136	182	108	136	150	74	133	133	119	147	179	77	136	182	119	147	210	
	4	108	134	171	122	150	162	74	119	119	105	119	147	77	136	150	89	147	210	
	5	77	136	150	77	136	150	119	147	147	74	133	147	92	136	150	89	133	147	
II	1	108	136	164	122	150	182	105	133	133	74	179	159	92	136	150	74	119	147	
	2	108	136	150	77	136	150	74	119	119	133	147	193	108	136	150	105	147	210	
	3	77	136	150	77	122	182	74	133	133	74	119	147	122	150	182	89	133	193	
	4	77	122	150	92	122	182	74	147	147	74	119	147	108	136	182	119	147	193	
	5	92	122	182	77	122	150	105	119	119	74	119	147	122	136	164	119	147	193	
III	1	122	136	150	77	134	158	74	133	161	119	147	228	100	138	146	104	141	196	
	2	77	122	150	92	122	182	74	147	210	105	133	147	100	138	146	104	141	196	
	3	108	150	182	77	122	150	119	147	210	74	133	147	100	138	146	104	141	196	
	4	108	150	182	77	136	150	119	147	228	147	210	175	100	138	146	104	141	196	
	5	108	136	164	92	122	150	105	161	228	105	147	179	100	138	146	104	141	196	
Media	93,4	134	164,5	90,1	134	164,7	92,2	138	159,6	98,9	142,1	162,8	99,8	137,8	146,4	104,1	141,4	195,9	133,3	
Error estándar	±4	±3	±4	±4	±3	±4	±5	±3	±8	±7	±6	±7	±6	±2	±9	±5	±3	±9		

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo para el cultivar anaranjado.

Elaboración: La Autora.

En campo abierto el subestadio 303 (30% de la longitud final) se registró a los 210 días, es decir que resulta ser más tardío que en invernadero con aproximadamente un mes y medio (Tabla 19).

Tabla 19. Estadio fenológico principal 3 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Elongación del tallo de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadios 301 (el tallo alcanza el 10% de su longitud final), 302 (el tallo alcanza el 20% de su longitud final) y 303 (el tallo alcanza el 30% de su longitud final), evaluados en número de días.

Número de planta	TY-Morado			TY-Anaranjado			Media general
	[301]	[302]	[303]	[301]	[302]	[303]	
1	92	150	213	74	89	210	
2	92	196	207	74	89	210	
3	77	182	213	179	193	210	
4	108	196	207	97	164	210	
5	77	136	196	133	193	210	
6	92	164	213	161	210	202	
7	77	176	225	89	193	202	
8	108	196	213	74	133	193	
9	92	182	213	89	179	210	
10	92	176	225	74	119	202	
11	122	136	213	74	179	210	
12	122	196	213	105	147	210	
13	77	182	213	74	193	210	
14	150	196	213	74	179	215	
15	136	182	213	89	193	213	
Media	100,9	176,5	211,5	97,4	163,5	208,2	159,7
Error estándar	±6	±6	±2	±9	±10	±2	

TY-Morado=testigo morado, TY-Anaranjado=testigo anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Para el desarrollo del tallo cuando éste alcanzó 9 nudos [303], se realizó además un ANOVA y una comparación múltiple de diferencias entre valores medios (Tabla 20). Los resultados encontrados indican que para este subestadio hay una precocidad significativa, de las plantas establecidas en invernadero, a excepción del testigo anaranjado (TX) que se acerca más al número de días que tardaron las plantas de campo. El hecho de que el crecimiento del tallo sea más rápido en invernadero que a campo abierto se debe a las altas temperaturas presentadas dentro de esta infraestructura, que precisamente cumple con la función de controlar las condiciones ambientales como la temperatura, buscando favorecer las condiciones de desarrollo para el cultivo, el testigo anaranjado de invernadero es el único tratamiento que se comportó diferente en el desarrollo del tallo.

Tabla 20. Análisis de la varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre valores medios para el subestadio 303 (el tallo alcanza el 30% de su longitud final), para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.

Cuadrado medio (entre - grupos)	Coficiente - F	Valor - P	Tratamientos	[303]
9431,38	18,04	< 0,001 ***	TO-Morado	165,33 b
			TM- Morado	162,93 a b
			TX- Morado	146,27 a
			TO- Anaranjado	158,07 a b
			TM- Anaranjado	163,33 a b
			TX- Anaranjado	195,93 c
			TY- Anaranjado	207,80 c
			TY- Morado	212,66 c
			Media general	176,54
			Error estándar	±5,9

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo en invernadero para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo en invernadero para el cultivar anaranjado, TY=Anaranjado=testigo a campo abierto para el cultivar anaranjado y TY-Morado=testigo a campo abierto para el cultivar morado.

* Significativo a nivel 0,05; ** Significativo a nivel 0,01; ***Significativo a nivel 0,001.

Elaboración: La Autora.

Según Richardson y Patterson (1993) citado en Acosta-Quezada et al. (2012); León et al. (2004) la planta de tomate de árbol tiene un crecimiento acelerado durante el primer año, así durante los primeros cinco a siete meses mantiene un estado juvenil en el que es favorecido el crecimiento vegetativo en altura, en esta fase, son importantes los aportes de nitrógeno, fósforo, calcio, microelementos y materia orgánica; éste desarrollo muy activo es característico en la fase juvenil de las plantas de esta especie, que durante el primer año el tallo forma aproximadamente 30 nudos. Por lo expuesto, la evaluación del número de nudos o del porcentaje de elongación del tallo es relevante para relacionar dicho estadio con la aplicación de fertilizantes.

3.3. Desarrollo de los órganos reproductivos

3.3.1. Estadio fenológico principal 5: Emergencia de la inflorescencia.

En este trabajo se ha contabilizado una media de 42 inflorescencias por planta en condiciones de invernadero, mientras que a campo abierto se han contabilizado únicamente 6 inflorescencias por planta; el hecho de que haya un número elevado de inflorescencias en plantas de invernadero, siete veces mayor a las plantas de campo abierto, se debe a que en condiciones controladas, la incidencia del viento es mínima o nula, lo que reduce la caída de las inflorescencias.

Los datos referentes al número de inflorescencias en plantas establecidas a campo abierto, no concuerdan con lo descrito por Acosta-Quezada et al. (2010), quien indica que en cada planta adulta se desarrollan entre 15 y 60 inflorescencias, siendo mucho menor el número de inflorescencias por planta encontrado en el presente estudio, lo cual podría deberse a una mayor incidencia del viento, que en éste ensayo se han registrado rangos de valores medios de velocidad del viento de entre 2,3 a 6,7 m/s, con una media de 3,6 m/s, llegando a registrarse rangos de valores mínimos y máximos de 10,7 – 20,9 m/s; valores que evidencian una alta incidencia negativa del viento que a más de generar caída de flores podría incluso afectar a la arquitectura de la planta, como el resquebrajamiento del tallo (Datos de la estación meteorológica de la UTPL). Lo que concuerda con Jaramillo et al. (2007), quienes indican que la caída de flores se produce cuando la planta está expuesta a vientos fuertes y frecuentes, lo cual evita la polinización normal de la flor; el polen se seca y causa su aborto.

El estadio fenológico principal 5 de acuerdo a la escala extendida BBCH para tomate de árbol está relacionado con la emergencia de la inflorescencia, la que se evidencia cuando apenas se detecta la presencia del primer botón floral de la primera inflorescencia [501] (Figura 21), luego el primer botón floral de la segunda inflorescencia [502] y así sucesivamente, en este estudio hasta la aparición del primer botón floral de la 4 inflorescencia [504].



Figura 21. a) Primer botón visible de la primera inflorescencia de la planta de tomate de árbol, b) Inflorescencia de tomate de árbol con varias flores abiertas, en la que se observa una forma de tipo cima escorpioidea.
Elaboración: La Autora.

Con respecto a las plantas establecidas dentro del invernadero, en valores generales, la primera inflorescencia [501] inicia su desarrollo entre 247 días y 256 días luego de la siembra, valores medios encontrados en los tratamientos TM-Anaranjado y TX-Morado respectivamente, mientras que el inicio del desarrollo de la cuarta inflorescencia podría tomar hasta casi 278 días según lo encontrado en el testigo del cultivar Morado TX-Morado (Tabla 21).

Tabla 21. Estadio fenológico principal 5 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Emergencia de la inflorescencia del tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero conforme a dos programas de fertilización. Subestadios 501 (primera inflorescencia visible, primer botón visible), 502 (segunda inflorescencia visible, primer botón visible), 503 (tercera inflorescencia visible, primer botón visible) y 504 (cuarta inflorescencia visible, primer botón visible), evaluados en número de días.

Bloque	Número de planta	TO-Morado				TM-Morado				TO-Anaranjado				TM-Anaranjado				TX-Morado				TX-Anaranjado				Media general
		[501]	[502]	[503]	[504]	[501]	[502]	[503]	[504]	[501]	[502]	[503]	[504]	[501]	[502]	[503]	[504]	[501]	[502]	[503]	[504]	[501]	[502]	[503]	[504]	
I	1	252	259	259	251	252	251	249	252	256	255	253	256	248	249	249	249	252	259	259	277	249	256	256	262	
	2	256	259	259	251	252	248	248	252	256	245	245	249	248	247	248	245	252	259	259	277	247	251	254	259	
	3	259	259	259	259	252	251	249	248	256	245	249	256	248	247	256	256	265	265	265	301	247	251	249	256	
	4	256	259	259	251	252	252	252	265	256	291	291	298	249	249	249	248	256	252	252	252	247	251	249	249	
	5	256	259	259	251	252	251	248	252	256	255	253	256	248	245	245	248	256	259	259	277	247	251	254	249	
II	1	256	259	259	251	252	251	248	252	256	255	245	245	248	247	248	248	256	259	259	277	247	251	254	259	
	2	256	259	259	248	252	251	249	252	256	255	253	256	248	245	245	245	256	259	259	277	247	251	254	259	
	3	256	259	259	251	252	252	252	252	256	245	249	249	248	247	245	245	256	259	259	277	247	251	254	259	
	4	256	259	259	248	252	251	248	248	256	255	245	245	248	247	248	248	256	259	259	277	245	245	262	291	
	5	256	259	259	251	252	251	249	252	256	245	245	249	248	247	245	245	256	259	259	277	247	251	254	249	
III	1	256	259	259	251	252	251	249	252	256	255	253	256	248	245	245	245	256	258	258	276	247	251	254	259	
	2	256	259	259	251	252	251	249	248	256	255	253	256	249	249	249	249	256	258	258	276	247	251	254	259	
	3	256	259	259	248	252	251	249	252	256	256	256	256	248	247	248	248	256	258	258	276	247	251	254	259	
	4	256	259	259	251	252	251	249	252	256	255	253	256	245	249	249	256	256	258	258	276	247	251	254	259	
	5	256	259	259	251	252	251	249	252	256	255	253	256	248	247	248	245	256	258	258	276	247	251	254	259	
Media		255,5	259,0	259,0	259,8	252,1	250,7	249,3	252,1	256,0	254,5	253,1	255,9	247,7	247,3	247,7	248,0	256,3	258,5	258,5	276,5	247,0	250,5	254,0	259,3	254,1
Error estándar		±4	±0	±0	±3	±0	±1	±1	±1	±0	±8	±6	±6	±1	±1	±1	±1	±4	±7	±7	±8	±2	±6	±3	±7	

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo para el cultivar anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Por otra parte al observar los resultados obtenidos fuera del invernadero (Tabla 22), la primera inflorescencia visible [501] se ha observado en promedio a los 237 días para el cultivar morado (TY-Morado) y 225 días para el cultivar anaranjado (TY-Anaranjado); en tanto que para la cuarta inflorescencia visible [504] se ha contabilizado hasta casi 250 días. Al comparar los valores encontrados para la presencia inicial de las inflorescencias, tanto en condiciones controladas como a campo abierto, resulta que éstas últimas han sido más precoces que aquellas cultivadas en invernadero; por ejemplo para la primera inflorescencia visible hay una diferencia superior a 20 días, en la que las plantas cultivadas a campo abierto toman menos tiempo en alcanzar éste subestadio 501; lo cual igualmente ocurre con el resto de inflorescencias, entre ellas la cuarta inflorescencia [504], en la que hay un valor superior a 40 días de diferencia.

Tabla 22. Estadio fenológico principal 5 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Emergencia de la inflorescencia de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadios 501 (primera inflorescencia visible, primer botón visible), 502 (segunda inflorescencia visible, primer botón visible), 503 (tercera inflorescencia visible, primer botón visible) y 504 (cuarta inflorescencia visible, primer botón visible), evaluados en número de días.

Cultivar	Número de planta	[501]	[502]	[503]	[504]	Media general
TY-Morado	1	237	243	243	244	
	2	237	243	243	244	
	3	262	243	243	244	
	4	255	255	230	244	
	5	198	243	243	244	
	6	230	230	255	255	
	7	237	243	243	230	
	8	237	243	243	244	
	9	230	243	243	244	
	10	237	243	243	244	
	11	255	243	243	244	
	12	230	243	243	244	
	13	230	243	243	230	
	14	237	243	243	262	
	15	237	243	243	244	
Media		237,1	242,5	242,5	244,3	
Error estándar		±5	±3	±7	±4	
TY-Anaranjado	1	225	227	234	236	
	2	225	227	234	236	
	3	169	227	234	236	
	4	225	227	234	169	
	5	225	193	234	262	
	6	169	227	193	250	
	7	225	227	225	236	
	8	264	262	262	262	
	9	257	227	257	236	
	10	225	225	234	236	
	11	225	227	234	236	
	12	225	227	234	236	
	13	264	227	234	236	
	14	225	227	234	236	
	15	264	227	234	236	
Media		224,7	226,7	234,3	235,8	236,0
Error estándar		±4	±8	±3	±6	

TY-Morado=testigo morado, TY-Anaranjado=testigo anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Al analizar los estadios anteriores relacionados con el desarrollo del cultivo, como era de esperar, las plantas cultivadas en invernadero han sido más precoces en crecimiento del tallo y formación de hojas, incluyendo la formación de la copa [estadios principales 1a, 1b y 3]; sin embargo es en el estadio fenológico principal 5 en el que se evidencia un retraso para el inicio de la formación de los órganos reproductivos para el caso de las plantas cultivadas en invernadero, lo cual puede deberse a que la temperatura es mucho más elevada dentro del invernadero que a campo abierto, como se ha mencionado anteriormente con una diferencia promedio de aproximadamente 15,8 °C.

Lo que concuerda con Jaramillo et al. (2007), la temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo de la planta de tomate de árbol está entre 21 y 27 °C, a mayor temperatura los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes están al máximo, siendo excesivos y agotadores para la planta, se presentan desórdenes fisiológicos y se afecta el desarrollo de la floración; incluso cuando estas temperaturas se prolongan ocurre la muerte de la planta. Todo esto se relaciona con lo mencionado por Hedhly et al. (2009) quienes indican que de entre todas las variables ambientales, la temperatura es el factor que más afecta al proceso reproductivo.

Con respecto al análisis de varianza, pese a que las diferencias altamente significativas encontradas con el valor $p < 0,05^*$ que se deben precisamente a la mayor precocidad encontrada en las plantas cultivadas a campo abierto en comparación a aquellas cultivadas en invernadero, a través de los resultados obtenidos en la comparación múltiple de Duncan no se ha encontrado una estructura que diferencie claramente los tratamientos (Tabla 23).

Tabla 23. Análisis de la varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre valores medios para el subestadio 501 (primera inflorescencia visible, primer botón visible) para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.

Cuadrado medio (entre - grupos)	Coefficiente - F	Valor - P	Tratamientos	[501]
400,67	2,3	< 0,05*	TO-Morado	255,93 b c
			TM- Morado	252,00 b c
			TX- Morado	256,06 b c
			TO- Anaranjado	256,00 b c
			TM- Anaranjado	247,93 b
			TX- Anaranjado	244,47 a b
			TY- Anaranjado	225,53 a
			TY- Morado	238,00 a
			Media general	246,99
			Error estándar	±3.41

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo en invernadero para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo en invernadero para el cultivar anaranjado, TY=Anaranjado=testigo a campo abierto para el cultivar anaranjado y TY-Morado=testigo a campo abierto para el cultivar morado.

* Significativo a nivel 0,05; ** Significativo a nivel 0,01; ***Significativo a nivel 0,001.

Elaboración: La Autora.

3.3.2. Estadio fenológico principal 6: Floración.



Figura 22. Primera flor abierta de la primera inflorescencia [601] de la planta de tomate de árbol.
Fuente: Acosta-Quezada et al. 2016

Para las plantas establecidas en invernadero, la presencia de la primera flor abierta, de las primeras cuatro inflorescencias [601,602, 603, 604] (Figura 22) se presenta en un rango de valores de 283 días para la apertura de la primera flor (TM-Morado) hasta 309 días después de la siembra para (TX-Anaranjado) (Tabla 24).

Por otra parte las plantas cultivadas a campo abierto han mostrado su primera flor abierta de la primera inflorescencia en un rango promedio de 251 (cultivar amarillo) y 258 días (cultivar morado) (Tabla 25); mientras que para la cuarta inflorescencia se han encontrado valores de 252 a 271 días, siendo en este caso el cultivar amarillo más precoz que el morado, con una diferencia de aproximadamente 20 días.

Tabla 24. Estadio fenológico principal 6 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Floración del tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero, conforme a dos programas de fertilización. Subestadios 601 (primera inflorescencia, primera flor abierta), 602 (segunda inflorescencia, primera flor abierta), 603 (tercera inflorescencia, primera flor abierta) y 604 (cuarta inflorescencia, primera flor abierta), evaluados en número de días.

Bloque	Número de planta	TO-Morado				TM- Morado				TO-Anaranjado				TM- Anaranjado				TX-Morado				TX-Anaranjado				Media general
		[601]	[602]	[603]	[604]	[601]	[602]	[603]	[604]	[601]	[602]	[603]	[604]	[601]	[602]	[603]	[604]	[601]	[602]	[603]	[604]	[601]	[602]	[603]	[604]	
I	1	310	310	296	301	278	296	296	313	293	293	301	301	293	315	307	307	310	295	299	298	307	321	321	328	
	2	290	289	296	301	296	310	313	324	293	307	310	310	293	293	293	307	310	295	299	298	328	291	302	309	
	3	313	313	313	331	278	296	296	303	286	310	310	321	286	293	307	314	331	331	331	298	279	300	307	321	
	4	290	289	296	301	310	310	310	324	328	293	301	301	307	307	307	310	289	310	310	310	279	286	310	310	
	5	331	289	296	301	282	282	303	313	328	293	301	301	293	300	300	310	282	282	282	296	279	279	286	307	
II	1	282	282	282	296	278	296	303	317	279	293	300	300	328	293	301	305	282	282	296	296	279	286	286	293	
	2	282	282	296	303	278	278	278	278	293	293	301	301	275	275	300	300	282	282	296	296	289	291	302	309	
	3	282	282	296	296	283	310	310	310	293	300	307	314	275	275	307	310	282	310	296	296	279	279	293	293	
	4	282	296	296	303	278	289	303	303	279	279	300	300	275	275	293	293	282	282	296	296	300	300	328	309	
	5	282	282	296	296	278	278	296	296	293	300	300	307	279	279	300	300	282	282	289	296	279	279	286	314	
III	1	282	289	296	296	283	291	298	305	279	279	293	293	293	300	300	300	293	295	299	298	289	291	302	309	
	2	282	289	296	296	282	282	296	303	279	279	293	293	307	307	307	307	293	295	299	298	289	291	302	309	
	3	282	289	296	303	282	282	296	296	314	321	321	301	279	293	293	293	293	295	299	298	289	291	302	309	
	4	282	296	296	296	282	289	296	305	279	279	286	286	300	314	314	321	293	295	299	298	289	291	302	309	
	5	282	282	296	296	282	282	289	296	279	279	293	293	279	279	293	300	293	295	299	298	289	291	302	309	
Media Error estándar	290,3 ±5	291,0 ±3	296,3 ±2	301,1 ±3	283,4 ±3	291,4 ±3	298,9 ±2	305,8 ±4	293,0 ±5	293,3 ±5	301,2 ±3	301,7 ±3	290,8 ±4	293,2 ±1	301,5 ±2	305,1 ±2	293,2 ±6	295,0 ±7	299,5 ±5	298,0 ±2	289,9 ±6	291,0 ±5	302,1 ±6	309,4 ±5	297,4	

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo para el cultivar anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Tabla 25. Estadio fenológico principal 6 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Floración del tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadios 601 (primera inflorescencia, primera flor abierta), 602 (segunda inflorescencia, primera flor abierta), 603 (tercera inflorescencia, primera flor abierta) y 604 (cuarta inflorescencia, primera flor abierta), evaluados en número de días.

Cultivar	Número de planta	[601]	[602]	[603]	[604]	Media general
XY-Morado	1	258	258	268	271	
	2	258	258	268	271	
	3	295	295	295	262	
	4	288	288	288	268	
	5	288	288	268	268	
	6	258	262	262	295	
	7	258	262	262	262	
	8	258	262	262	262	
	9	295	295	295	295	
	10	258	268	268	268	
	11	288	268	268	262	
	12	258	262	277	295	
	13	204	218	262	295	
	14	204	218	268	268	
	15	204	218	262	262	
Media		257,6	264,8	277,9	271,3	
Error estándar		±8	±5	±5	±5	
XY-Anaranjado	1	251	252	252	241	
	2	251	252	252	241	
	3	228	231	231	241	
	4	251	263	263	241	
	5	251	252	252	241	
	6	260	263	263	231	
	7	260	252	252	241	
	8	260	263	263	263	
	9	260	252	252	267	
	10	251	252	252	267	
	11	228	252	252	267	
	12	251	252	252	252	
	13	251	245	245	245	
	14	251	245	245	245	
	15	260	263	252	250	
Media		250,9	251,7	251,7	251,9	265,5
Error estándar		±4	±3	±3	±5	

TY-Morado=testigo morado, TY-Anaranjado=testigo anaranjado.

Elaboración: La Autora.

La floración en plantas a campo abierto ha sido más precoz que en plantas de invernadero, al igual que lo encontrado en la emergencia de la inflorescencia. El hecho de que la presencia del primer botón floral de cada inflorescencia [501-504] haya sido más precoz en plantas ubicadas a campo abierto conlleva una mayor precocidad en la generación de la primera flor abierta [601].

Según Acosta-Quezada et al. (2016) la apertura de la primera flor tiene lugar de cinco a ocho días después que tiene lugar el estadio 5, lo que no concuerda con este trabajo, la apertura de la primera flor se da aproximadamente a los 30 días a campo abierto y en condiciones controladas tarda más de 40 días.

De acuerdo al análisis de varianza, éste ha sido desarrollado únicamente para el subestadio 601 (primera flor abierta), se encontraron diferencias significativas al nivel $p < 0,001^{***}$ debido a la mayor precocidad de las plantas cultivadas a campo abierto, siendo las plantas cultivadas en invernadero más tardías en la floración; esto se evidencia además al realizar la comparación múltiple de Duncan en que se establecen claramente los dos grupos de plantas por su precocidad (Tabla 26).

Tabla 26. Análisis de varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre medias para el subestadio 601 (primera inflorescencia, primera flor abierta) para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.

Cuadrado medio (entre - grupos)	Coefficiente - F	Valor - P	Tratamientos	[601]	
4534,96	14,77	< 0,001 ***	TO-Morado	295,13	b
			TM- Morado	290,80	b
			TX- Morado	289,93	b
			TO- Anaranjado	294,00	b
			TM- Anaranjado	282,93	b
			TX- Anaranjado	293,13	b
			TY- Anaranjado	250,93	a
			TY- Morado	258,13	a
			Media general	281,87	
Error estándar	±4,52				

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo en invernadero para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo en invernadero para el cultivar anaranjado, TY=Anaranjado=testigo a campo abierto para el cultivar anaranjado y TY-Morado=testigo a campo abierto para el cultivar morado.

* Significativo a nivel 0,05; ** Significativo a nivel 0,01; ***Significativo a nivel 0,001.

Elaboración: La Autora.

3.4. Formación, maduración y cosecha de frutos

3.4.1. Estadio fenológico principal 8: Maduración del fruto.



Figura 23. Frutos maduros de tomate de árbol.
Elaboración: La autora.

La determinación del porcentaje de frutos maduros que desarrolla cada planta, en este trabajo según los tratamientos evaluados, es importante para poder conocer la evolución del cultivo con respecto a la maduración de frutos y su respectiva cosecha (Figura 23); lo que implica la disponibilidad de elementos para planificar la cosecha, postcosecha y comercialización como se lo ha mencionado anteriormente. Por ejemplo, con respecto a la producción de frutos en plantas producidas en condiciones controladas el inicio de la cosecha que se consideraría aproximadamente cuando se evidencia al menos el 10% de frutos maduros [801], a la planta le toma un tiempo comprendido entre 476 y 500 días a partir de la siembra, valores encontrados para TO-Anaranjado y TX- Morado, respectivamente. La producción de al menos el 50% de frutos que alcanzan el color típico de la madurez [805], en invernadero, ha tenido un promedio global de 513 días; mientras que el alcance de la maduración igual o superior al 90% [809] se registra hasta más de 530 días a partir de la siembra. Esto implicaría entonces en términos de planificación del cultivo y de cosecha de frutos, que cuando se cultiva tomate de árbol en condiciones controladas, el tiempo que lleva entre el inicio de la cosecha [801] y la cosecha casi total [809], es un lapso prolongado de cosecha de aproximadamente dos meses durante el cual existe una recolección continua de frutos; esto es para la primer producción de la planta y considerando entre cultivares anaranjados y morados (Tabla 27).

Tabla 27. Estadio fenológico principal 8 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Maduración del fruto de tomate de árbol morado y anaranjado, en condiciones de invernadero conforme a dos programas de fertilización. Subestadios 801 (10% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez), 805 (50% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez) y 809 (Totalmente maduro: todas las frutas tienen el color típico de la madurez), evaluados en número de días.

Bloque	Número de planta	TO-Morado			TM-Morado			TO-Anaranjado			TM-Anaranjado			TX-Morado			TX-Anaranjado			Media general
		[801]	[805]	[809]	[801]	[805]	[809]	[801]	[805]	[809]	[801]	[805]	[809]	[801]	[805]	[809]	[801]	[805]	[809]	
I	1	487	513	538	497	514	538	476	509	533	499	504	535	507	522	526	494	512	535	
	2	487	513	538	497	514	538	476	509	535	499	507	535	500	538	526	494	512	535	
	3	497	522	538	497	514	538	476	509	535	499	504	535	500	527	507	494	504	535	
	4	487	513	538	497	522	538	476	509	533	499	507	535	497	522	526	494	512	535	
	5	487	513	538	497	522	538	476	509	533	499	519	535	500	527	538	494	512	535	
II	1	497	513	538	497	514	538	476	519	533	499	507	535	500	527	538	494	504	535	
	2	487	513	538	497	507	538	476	509	533	504	519	535	497	527	526	494	512	535	
	3	487	513	538	497	497	538	476	509	535	499	494	535	500	527	522	494	512	535	
	4	497	522	538	497	522	538	476	509	519	499	504	535	500	527	526	494	519	535	
	5	487	513	538	497	514	538	476	504	535	499	507	535	500	527	526	494	519	535	
III	1	479	507	538	497	514	538	476	494	533	499	507	535	500	527	526	494	512	535	
	2	479	513	538	497	514	538	476	509	535	499	507	535	500	527	526	494	512	535	
	3	487	513	538	497	514	538	476	509	535	499	504	535	500	527	526	494	512	535	
	4	479	507	538	497	514	538	476	509	535	499	504	535	500	527	526	494	512	535	
	5	479	507	538	497	514	538	476	519	535	494	507	535	500	527	526	494	512	535	
Media		486,7	513,0	538,0	497,0	514,0	538,0	476,0	509,0	533,2	499,0	506,5	535,0	500,3	527,3	526,8	494,0	511,5	535,0	513,4
Error estándar		±4	±4	±0	±0	±5	±0	±0	±6	±2	±6	±3	±0	±3	±5	±5	±4	±4	±0	

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo para el cultivar anaranjado.

Elaboración: La Autora.

Con referencia a los datos obtenidos en este trabajo, en las plantas establecidas bajo condiciones controladas, la maduración del fruto tiene lugar después de 216 días de la apertura de la primera flor; mientras que para las plantas ubicadas en campo abierto, la maduración del fruto a partir de la apertura de la primera flor se presenta a los 154 días (Tabla 28). Estos valores encontrados tanto en invernadero como a campo abierto están relacionados con lo mencionado por Acosta-Quezada et al. (2016), quienes indican que el subestadio 801 se presenta de cuatro a siete meses después de la apertura de la primera flor en condiciones de campo abierto, considerando que éste rango es muy amplio.

Al analizar los resultados obtenidos de las plantas cultivadas a campo abierto se ha encontrado de igual forma que en los estadios 5 y 6, la producción de frutos maduros en términos porcentuales ha sido mucho más precoz en estas condiciones que en invernadero. Es así que el inicio de la maduración [801] se ha registrado a un poco más de 400 días de la siembra, y la cosecha casi total de frutos a aproximadamente 430 días (Tabla 28), lo que evidencia una diferencia de aproximadamente dos meses para el inicio de la maduración en la que las plantas producidas a campo abierto son mucho más precoces; así como también para la cosecha casi total de frutos en la que el tiempo es de aproximadamente 100 días (más de tres meses) más tarde en las plantas de invernadero que de las plantas cultivadas a campo abierto.

Tabla 28. Estadio fenológico principal 8 de acuerdo a la escala extendida BBCH: Maduración del fruto de tomate de árbol morado y anaranjado, en campo abierto. Subestadios 801 (10% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez), 805 (50% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez) y 809 (totalmente maduro: todas las frutas tienen el color típico de la madurez), evaluados en número de días.

Número de planta	TY- Morado			TY- Anaranjado			Media general
	[801]	[805]	[809]	[801]	[805]	[809]	
1	410	414	437	417	424	434	
2	410	414	430	417	421	428	
3	410	414	430	417	421	428	
4	410	414	410	417	421	428	
5	410	414	430	417	421	428	
6	410	410	437	417	421	428	
7	410	414	430	417	421	414	
8	410	414	427	417	421	428	
9	410	414	427	417	421	414	
10	410	414	430	417	421	428	
11	410	414	430	414	421	434	
12	410	414	430	417	414	434	
13	410	414	427	424	421	434	
14	410	417	437	417	421	428	
15	410	414	437	414	424	434	
Media	410	413,5	429,9	417,3	420,7	428,3	420,0
Error estándar	±0	±4	±3	±3	±3	±4	

TY-Morado=testigo morado, TY-Anaranjado=testigo anaranjado.

Elaboración: La Autora.

El hecho de que en éste estudio las plantas cultivadas a campo abierto hayan sido mucho más precoces en producción, se debería por una parte a que la formación de flores ha sido también más precoz a campo abierto que en condiciones controladas, pese a que se esperaría que estas últimas sean más rápidas en producir, considerando lo ya mencionado con respecto al estadio 5, que la temperatura dentro del invernadero es más elevada en comparación a la de campo; y tomando en cuenta lo mencionado por Jaramillo et al. (2007), que para el cuajado de frutos la temperatura óptima durante el día es de 23 a 26 °C y durante la noche entre 14 a 17 °C, valores más próximos a lo registrado a campo abierto y considerando en cambio que en invernadero se han registrado valores de temperatura mucho más altos que lo recomendado por Jaramillo et al. (2007), con valores de entre 28 y 35 °C. Según Pringle y Murray (1991) el tomate de árbol es autocompatible y normalmente se autopoliniza, pero necesita la frecuente visita de insectos como las abejas (*Appis mellifera*) para que tenga lugar la polinización.

Los resultados de este trabajo en cuanto a la fructificación, para el caso de las plantas cultivadas en invernadero se debe también a que no se generaron las condiciones adecuadas para la presencia oportuna de abejas polinizadoras; se debe tener en cuenta además que el viento es otro de los vectores de polinización de la planta de tomate de árbol, por lo que la infraestructura del invernadero utilizado en este estudio (paredes de plástico y ventanas de plástico con malla fija saharam), minimizan la dinámica del viento y por ende la polinización por éste factor. Todos estos factores nombrados se considera que han influenciado en una menor precocidad en la formación de frutos del tomate de árbol en invernadero, aunque no en la cantidad ya que ésta ha sido de casi 20 a 22 veces mayor en número de frutos y 65,06% más en peso por fruto que lo encontrado a campo abierto.

En lugares con muy poca agitación del viento como en un invernadero, puede producirse una polinización y cuajado del fruto muy bajo, sin embargo, en cultivo al aire libre existen menores problemas de polinización y cuajado debido al movimiento producido por el viento y a la frecuente visita de insectos a las flores (Sale, 1983 citado en Prohens et al., 1997).

El tiempo que le toma a las plantas cultivadas en invernadero en producir frutos podría reducirse generando mejores condiciones para la entrada de polinizadores en el tiempo oportuno dentro del invernadero; lo que se podría manejar a nivel de diseño del invernadero considerando el tamaño de las ventanas y su regulación o movilidad tanto del plástico como de la malla saharam; lo que no sucedió con el diseño de la estructura utilizada para éste estudio y por lo que fué necesario acondicionar las ventanas durante el desarrollo de este trabajo. Según Cauich et al. (2004) citado en Nates-Parra (2015) en invernaderos con tomates de mesa (*Solanum lycopersicum*), las abejas sin aguijón *Nannotrigona perilampoides* pueden ser una alternativa al uso de *Apis mellifera* y *Bombus* sp.

A través de un análisis de varianza (Tabla 29), se han encontrado diferencias significativas al nivel $p < 0,0001^{***}$ para los tres subestadios evaluados [801, 805 y 809]. Nuevamente estas diferencias encontradas son precisamente por la significativa precocidad en producción de frutos maduros, encontrada en la plantas a campo abierto con respecto a las plantas de invernadero. Al realizar un análisis del test de comparación múltiple de Duncan, las mayores diferencias se encuentran al registrar el 90% de frutos maduros [809], determinándose dos perfiles de precocidad: el primero relacionado con plantas que han sido altamente precoces cultivadas a campo abierto y el segundo perfil consideradas más tardías indistintamente del tratamiento al que han sido sometidas, conformado por las plantas cultivadas dentro de invernadero (Tablas 27 y 28).

Tabla 29. Análisis de varianza factorial y comparación múltiple de diferencias entre valores medios para el para subestadios 801 (10% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez), 805 (50% de los frutos alcanzan el color típico de la madurez) y 809 (Totalmente maduro: todas las frutas tienen el color típico de la madurez) para plantas establecidas en invernadero y a campo abierto.

Cuadrado medio (entre - grupos)	Coefficiente - F	Valor - P	Tratamientos	[801]		[805]		[809]	
21215,5	2094,86	< 0,001 ***	TO-Morado	476,00	c	509,00	c d	533,27	b
30327,7	1516,75	< 0,001 ***	TM- Morado	499,00	e f	506,73	c	535,00	b
36476,0	2725,48	< 0,001 ***	TX- Morado	494,00	d	511,86	d e	535,00	b
			TO- Anaranjado	492,20	d	513,00	e	538,00	c
			TM- Anaranjado	497,00	e	514,00	e	538,00	c
			TX- Anaranjado	500,07		f 527,07	f	533,66	b
			TY- Anaranjado	417,06	b	420,93	b	428,13	a
			TY- Morado	410,00	a	413,00	a	429,93	a
			Media	473,16		489,57		508,87	
			Error estándar	±0,82		±1,15		±0,94	

TO-Morado= tratamiento orgánico para el cultivar morado, TM-Morado=tratamiento mineral para el cultivar morado, TO-Anaranjado=tratamiento orgánico para el cultivar anaranjado, TM-Anaranjado=tratamiento mineral para el cultivar anaranjado, TX-Morado= testigo en invernadero para el cultivar morado, TX-Anaranjado= testigo en invernadero para el cultivar anaranjado, TY=Anaranjado=testigo a campo abierto para el cultivar anaranjado y TY-Morado=testigo a campo abierto para el cultivar morado.

* Significativo a nivel 0,05; ** Significativo a nivel 0,01; ***Significativo a nivel 0,001.

Elaboración: La Autora.

Es importante recalcar que las diferencias en precocidad encontradas obedecen totalmente a las variables meteorológicas por las condiciones en las que han sido cultivadas las plantas, a campo abierto y condiciones controladas y en ningún momento obedecen a la genética del cultivar (morado o anaranjado) ni tampoco a los tratamientos con los cuales se han evaluado las plantas dentro de invernadero.

3.5. Fenología general de las plantas de tomate de árbol

Con el fin de tener una idea clara del desarrollo fenológico de las plantas de tomate de árbol tanto en condiciones controladas como a campo abierto y con respecto a los tratamientos establecidos, en especial a los cultivares evaluados (morado y anaranjado); con los valores promedios de los principales estadios según la escala extendida BBCH específica para la especie, se ha generado un gráfico de líneas que reflejan la evolución fenológica de las plantas de tomate de árbol. Según la Figura 24 se identifican dos patrones relacionados con el tiempo en que le toma a la planta desde la emergencia de las plántulas [009], pasando por la formación de hojas y tallos [109a y 303], así como de brotes laterales (inicio del desarrollo de la copa) [201], hasta la formación de sus órganos reproductivos [501], de frutos y su respectiva maduración y cosecha [809].

Por una parte, las plantas de tomate de árbol cultivadas en invernadero son más precoces durante la etapa de desarrollo foliar [109a] y de crecimiento del tallo [303], indistintamente de los tratamientos de fertilización o del cultivar incluyendo los respectivos testigos, en comparación a los establecidos en campo abierto; a las primeras les toma entre 110 y 118 días en formar las primeras 9 hojas del tallo, mientras que a las segundas de 122 a 126 días, es decir aproximadamente de 7 a 12 días más tardías. Con respecto a la formación de brotes laterales [201] las plantas de invernadero también son más precoces, con una diferencia de casi un mes; en invernadero toma alrededor de 205 días, mientras que a campo abierto 230 días (Figuras 24 y 25).

En cambio, es la formación de los órganos reproductivos en donde las plantas cultivadas a campo abierto, resultan ser más precoces que aquellas cultivadas en invernadero. La diferencia inicia por la formación de las inflorescencias a través de la observación del primer botón floral de la primera inflorescencia [501], en donde las plantas cultivadas a campo abierto forman su primer botón floral de la primera inflorescencia en un rango de 225 a 237 días, en tanto que en invernadero las plantas asumen un rango de 247 a 256 días. De igual forma sucede con la formación de flores abiertas [601], en campo abierto la primera flor abierta se observa a los 266 días y en condiciones controladas a los 297 días, resultando que las plantas de invernadero son más tardías con un diferencia de aproximadamente 30 días.

Finalmente, según la Figura 24, la maduración de los frutos del 90% o más del total de frutos producidos por cada planta [809], ha sido más precoz en plantas establecidas a campo abierto con un valor promedio de 420 días, en comparación con las que han sido establecidas en invernadero que han tardado tres meses más.

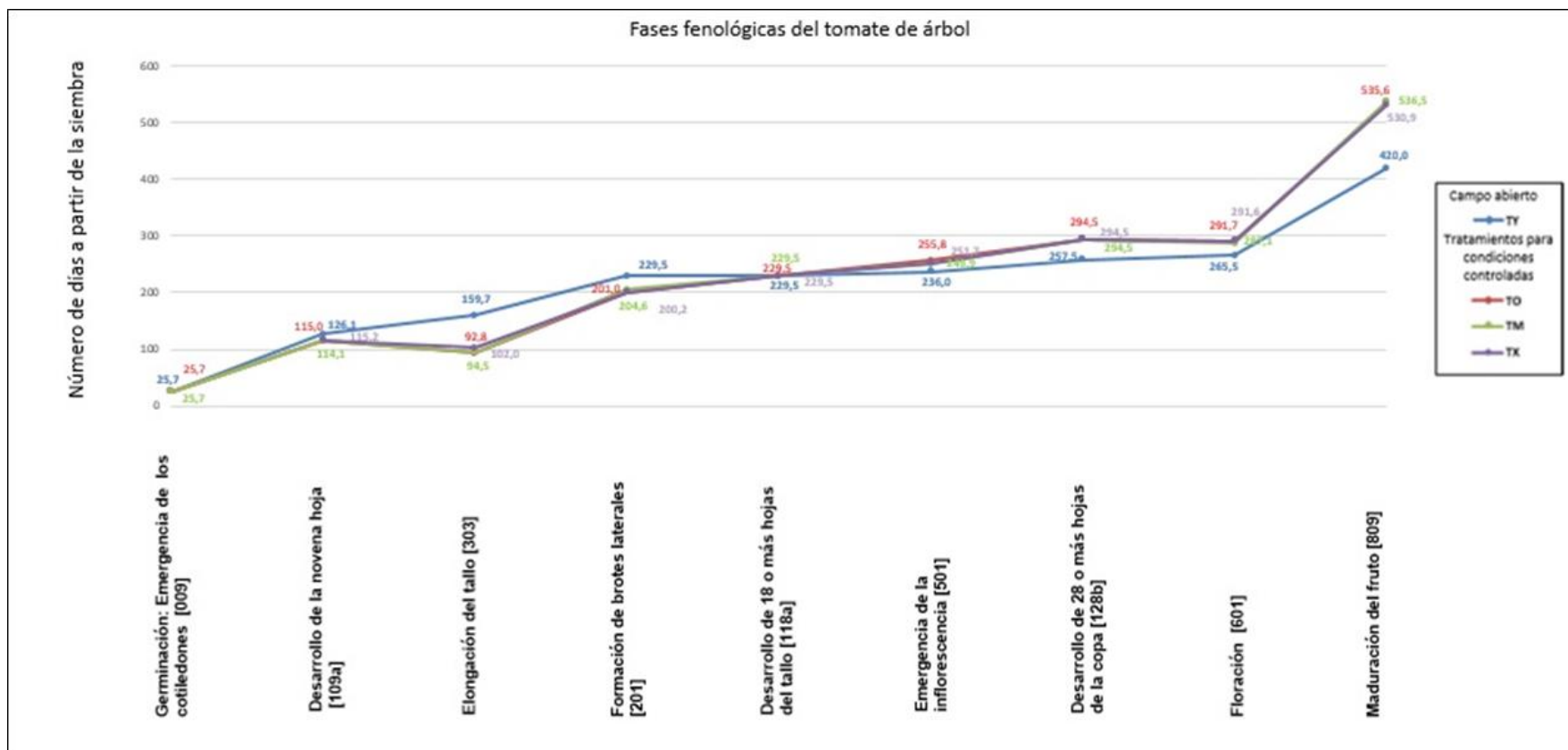


Figura 24. Fenología de la planta de tomate de árbol según la escala extendida BBCH, para tratamientos en condiciones controladas y a campo abierto. TO=tratamiento orgánico, TM=tratamiento mineral, TX= testigo para condiciones controladas y TY=testigo para campo abierto. Elaboración: La Autora.

La Figura 25 esquematiza los principales estadios de la planta de árbol, según la escala extendida BBCH establecida para tomate de árbol.









							
Estadio 0: Germinación.	Estadio 1a: Desarrollo de las hojas del tallo.	Estadio 2: Desarrollo de los brotes laterales.	Estadio 1b: Desarrollo de las hojas de la copa (b).	Estadio 3: Elongación del tallo.	Estadio 5: Emergencia de la inflorescencia.	Estadio 6: Floración.	Estadio 8: Maduración del fruto.

Figura 25. Representación gráfica de los principales estadios del tomate de árbol.
Elaboración: La Autora.

CONCLUSIONES

1. Con respecto al material genético, los cultivares morado y anaranjado elíptico puntón tienen un comportamiento fenológico similar, pese a que se han encontrado ciertas diferencias especialmente al inicio del cultivo (germinación y presencia de las primeras hojas del tallo) al parecer la genética intraespecífica de esta especie genera un patrón similar de sus cultivares con respecto al tiempo de desarrollo y producción.

2. Las plantas de tomate de árbol cultivadas en invernadero debido a las altas temperaturas que se presentan dentro de esta estructura son mucho más precoces y presentan un mayor desarrollo vegetativo durante los primeros estadios del cultivo, que aquellas que se establecen a campo abierto; es decir durante la elongación del tallo, desarrollo de las hojas que se generan de éste y en la copa incluyendo la formación de los brotes laterales (bifurcación o trifurcación). Luego experimentan un retraso significativo con relación a las plantas de campo abierto, con respecto a la formación de sus órganos reproductivos, a la ocurrencia de la polinización y consecuentemente a la fructificación y cosecha; todo esto debido a que la generación de flores en esta especie al parecer esta inducida preferente por valores de temperatura menores que los registrados en invernadero, y a la oportuna visita de polinizadores, considerando que en invernadero existieron menores condiciones para ello aunque esto es manejable. La producción y cosecha de frutos a campo abierto es significativamente más precoz que en invernadero con una diferencia promedio de tres meses; sin embargo se debe considerar que en invernadero se puede ajustar ciertos factores para conseguir una mayor precocidad acompañada de una alta productividad.

3. Las semillas de tomate de árbol tardan entre 65 y 70 días en emerger. En invernadero la primera cosecha de frutos maduros puede tardar hasta 513 días sin importar el cultivar; mientras que a campo abierto este mismo estadio tiene lugar en un rango de 84 a 103 días menos, es decir que a campo abierto la primera cosecha se puede dar en un rango aproximado de 410 a 429 días desde el trasplante, encontrándose además que no existe diferencias en la fenología por causa de los tipos de fertilización aplicados.

4. Como conclusión general, a través de este trabajo ha sido posible establecer el tiempo que le toma en producir a las plantas de tomate de árbol frutos maduros listos para la cosecha de acuerdo a las condiciones en que se cultive, sean controladas o a campo abierto; así como deducir las implicaciones que tiene la determinación del tiempo de cada estadio con respecto a la fitotecnia, comercialización y planificación del cultivo.

RECOMENDACIONES

La autora del presente Trabajo de Titulación, considera plantear recomendaciones considerando dos grupos de intervención en lo relacionado al cultivo de tomate de árbol.

Un primer grupo de acción está relacionado con quienes son parte de entidades académicas y/o de investigación, entre ellas las universidades incluyendo a docentes y estudiantes de carreras afines a la producción agropecuaria, así como otras instituciones relacionadas con el asesoramiento técnico; recomendándose lo siguiente:

1. Definir estrategias que permitan reducir el tiempo de producción de frutos en invernadero, con relación a ciertos estadios fenológicos y según normas estandarizadas como las escalas BBCH; considerando que sí es posible tratándose de condiciones controladas y que la cantidad de frutos producidos es significativamente alta.
2. En lo que respecta a plantaciones a campo abierto también se deben definir estrategias, aunque no necesariamente para reducir la precocidad, sino más bien para controlar ciertas condiciones ante factores como el viento, la temperatura, la humedad ambiental y del suelo, de acuerdo a cada estadio.
3. Incrementar la frecuencia del registro de cada estadio, en éste trabajo se ha seguido un cronograma de muestreo generando para ciertos estadios la disponibilidad de valores homogéneos (número de días) que limitan la disponibilidad de una variabilidad interna de datos y lo cual hace que no necesariamente refleje el comportamiento de las plantas en conjunto. Se recomienda que el seguimiento sea a diario.
4. Establecer condiciones que permitan transferir a los productores éste conocimiento que se ha obtenido a través de la academia, generando en los productores una cultura de evaluación del comportamiento de sus cultivos, utilizando metodologías sencillas y aplicables por el productor.

Un segundo grupo de acción y desde luego a quien servirá de forma directa esta información, está relacionado con los productores de tomate de árbol, a quienes se recomienda lo siguiente:

1. Tomar en cuenta que el registro de información de todo lo relacionado a la producción de sus cultivos genera condiciones para un mejor conocimiento de cada especie y con ello una mejor toma de decisiones en lo relacionado a su planificación y manejo; mientras más

información se tenga a través del tiempo, se dispondrá de información cada vez más representativa y con buenas posibilidades de pronosticar las condiciones de los cultivos.

2. El registro de información debe guiarse en normas estandarizadas a nivel internacional, como es el caso de la escala fenológica BBCH, así como de otras como por ejemplo los descriptores morfológicos; todas estas relacionadas específicamente con la producción de tomate de árbol. Es precisamente por esto la necesidad de que sean las instituciones antes mencionadas aquellas que generen en los productores una cultura de evaluación de sus cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Quezada, P.G., Martínez-Laborde, J.B., Prohens, J. (2010). Variation among tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) accessions from different cultivar groups: implications for conservation of genetic resources and breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58, 943–960.
- Acosta-Quezada, P.G., Martínez-Laborde, J.B., Prohens, J. (2012). Caracterización de recursos genéticos de tomate de árbol (*S. betaceum*). Diversidad, e implicaciones para su conservación y mejora genética. Editorial Académica Española. Madrid.
- Acosta-Quezada, P.G., Raigón, M.D., Riofrío-Cuenca, T., García-Martínez, M.D., Plazas, M., Burneo, J.I., Figueroa, J.G., Vilanova, S., Prohens, J. (2015). Diversity for chemical composition in a collection of different varietal types of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an Andean exotic fruit. *Food Chemistry*, 169, 327–335.
- Acosta-Quezada, P.G., Riofrío-Cuenca, T., Rojas, J., Vilanova, S., Plazas, M., Prohens, J. (2016). Phenological growth stages of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an emerging fruit crop, according to the basic and extended BBCH scales. *Scientia Horticulturae*, 199, 216–223.
- Albornoz, G. (1992). El tomate de árbol en el Ecuador. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Avidan, A. (1994). Determinación del régimen de riego de los cultivos. Calculo de las necesidades de riego, Fascículo 3. Haigud-CINADCO. Israel.
- Basaure, P. (2009). Fenología Vegetal. Consultado el 16 de Febrero del 2016. Recuperado de: <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/18577.html>
- Bernal, J., Lobo, M. (1988). El cultivo de tomate de árbol. En: Instituto Colombiano Agropecuario. Curso Nacional sobre frutales de clima frío. ICA, Medellín.
- Bernal, J., Díaz, C. (2003). Manual Técnico N° 3 Tecnología para el cultivo del tomate de árbol, Ecoregión Andina. Centro de Investigación Andina, Antioquia, Colombia.
- Blank, R., Dance, H., Hampton, R., Olson, M., Holland, P. (1987). Tamarillo (*Cyphomandra betacea*): effect of field-applied fungicides and post-harvest fungicide dips on storage rots of fruit. *New Zealand Journal of Experimental de Agriculture* 15, 191-198.

- Blank, R., Dawson, T., Richardson, A. (1991). A comparison of buprofezin and deltamethrin/oil for control of greenhouse whitefly on tamarillo. Proc. 44th New Zeal Weed and Pest Control Conference: 237-241.
- Bohs, L. (1989). Ethnobotany of the genus *Cyphomandra* (Solanaceae). Economic botany, 43, 143-163.
- Bohs, L. (1991). Crossing studies in *Cyphomandra* (Solanaceae) and their systematic and evolutionary significance. American Journal of Botany 78, 1683-1693.
- Bohs, L. (1994). *Cyphomandra* (Solanaceae) Flora Neotropica. The New York Botanical Garden, 63, 1-175.
- Bohs, L. (1995). Transfer of *Cyphomandra* (Solanaceae) and its species to *Solanum*. Taxon 44, 583-587.
- Bohs, L., Nelson, A. (1997). *Solanum maternum* (Solanaceae), a new Bolivian relative of the tree tomato, Novon 7, 341-345.
- Calvo, V. (2009). Cultivo de tomate de árbol. San José, CR. Consultado el 16 de Marzo del 2015. Recuperado en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00168.pdf>
- Cárdenas-Contreras, Z. (2009). Identificación de híbridos en Lulo y Tomate de árbol mediante el uso de marcadores COSII. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Cauich, O., Quezada-Euan, J., Reyes-Oregel, V., Medina-Peralta, S., Parra-Tabla, V. (2004). Behavior and pollination efficiency of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) on greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in subtropical México. Horticultural Entomology, 97(2), 475-481.
- Cautin, R., Agustí, M. (2005). Phenological growth stages of the cherimoya tree (*Annona cherimola* Mill.). Scientia Horticulturae, 105(4), 491-497.
- Chatfield, S. P., Stirnberg, P., Forde, B. G., Leyser, O. (2000). The hormonal regulation of axillary bud growth in Arabidopsis. The Plant Journal, 24(2), 159-169.
- Cohen, D., van den Brink, R., MacDiarmid, R., Beck, D., Forster, R. (2000). Resistance to tamarillo mosaic virus in transgenic tamarillos and expression of the transgenes in F1 progeny. Acta of Horticulture 521, 43-50.

- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31, 74-85.
- Eagles, R., Gardner, R., Forster, R. (1994). Incidence and distribution of six viruses infecting tamarillo (*Cyphomandra betacea*) in New Zealand. *Nueva Zelanda Diario de producción vegetal y Ciencia Hortícola*, 22, 453-458.
- Espin, S., González-Manzano, S., Taco, V., Poveda, C., Ayuda-Durán, B., González-Paramas, A., Santos-Buelga, C. (2016). Phenolic composition and antioxidant capacity of yellow and purple-red Ecuadorian cultivars of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 194, 1073–1080.
- Feicán, C., Encalada, C., Larriva, W. (1999). El cultivo del tomate de árbol. INIAP-COSUDE Gualaceo, Ecuador.
- Hack, H., Bleiholder, H., Buhr, L., Meier, U., Schnock-fricke, E., Weber, A., Witzemberger, A. (1992). Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen – Erweiterte BBCH-Skala, *Allgemein-Nachrichtenbl. Deut Pflanzenschutz*, 44, 265-270.
- Hallam, D., Liu, P., Lavers, G., Pilkauskas, P., Rapsomanikis, G., Claro, J. (2004). The market for non-traditional agricultural exports. FAO Commod Trade Techn Paper 3. FAO, Rome, Italia.
- Hedhly, A., Hormaza, J., Herrero, M. (2009). Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in Plant Sciences*, 14(1), 30-36.
- Heiser, C. (1969). *Nightshades: the paradoxical plants*. W.H. Freeman, San Francisco, Estados Unidos.
- Hernández, H. (2009). Temperatura crecimiento vegetal. Libro Botánica On Line. Consultado el 3 de Julio de 2016. Recuperado de: http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/crecimiento_vegetal/
- Hernández-Bermejo, J., León, J. (1992). Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492. *Producción y Protección Vegetal* 26. FAO, Roma, Italia.
- Hilge, L. (1996). Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Holdridge, L. (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V. P., Guzmán, M., Zapata, M., Rengifo, T. (2007). Buenas prácticas agrícolas (BPA), Corpoica, FAO producción de tomate bajo condiciones protegidas. Bogotá.
- Judd, M., McAneney, J. (1981). Tamarillo production under irrigation. Wispas (a newsletter about water in the soil-plant-atmosphere system) 18, Nueva Zelanda.
- Kirkham, M. (2005). Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press, Burlington, Estados Unidos.
- León, J. (2002). Estudio pomológico de cinco cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en dos estados de cosecha y tres períodos de almacenamiento (tesis pregrado) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- León, J., Viteri, P. (2003). Generación y difusión de alternativas tecnológicas para mejorar la productividad de tomate de árbol y babaco, en la sierra ecuatoriana. INIAP-PROMSA, Quito, Ecuador.
- León, J., Viteri, P., Cevallos, G. (2004). Manual del cultivo del tomate de árbol N° 61. INIAP, Quito, Ecuador.
- Lester, R., Hawkes, J. (2001). Solanaceae. En: Hanelt P, Institute of Plant Genetics (eds). Mansfeld's encyclopedia of agricultural and horticultural crops (except ornamentals) Crop Research, 4, 1790–1856.
- Lewis, D. (1985). Pollination and fruit set in the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (tesis de maestría), University of Auckland, Auckland, Nueva Zelanda.
- Martínez, A. (2001). Estudio de la condición nutricional en cuatro provincias (Imbabura, Pichincha, Tungurahua y Azuay) y caracterización del sistema radicular del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) (tesis pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Meier, U. (2001). Estadios de las plantas mono-y dicotiledóneas BBCH Monografía, Segunda edición. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura.

- Montalvo, G. (2010). Evaluación de tres formulaciones químicas a base de N-P-K para la floración y fructificación del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad amarilla gigante (tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Morales, J. (2001). Diagnóstico agro socio-económico del cultivo del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt.) en cuatro provincias de la sierra ecuatoriana (tesis pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Morton, J. (1982). The tree tomato or “tamarillo”, a fast-growing, early-fruited small tree for subtropical climates. *Proc Fla State Horticulture*, 95, 81-85.
- Mundarain, M., y Cañizares, A. (2005). Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 5(1), 62-67.
- Nates-Parra, G. (2015). Abejas silvestres y polinización. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 75, 7-20.
- Obando-Narváez, J. (2012). Selección de genotipos mejorados de Tomate de árbol provenientes de semillas resistentes a antracnosis (tesis pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Osorio, G. (1992). Avances en el cultivo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). *Acta Horticulturae* 310, 199-205.
- Pringle, G. (1991). The cytogenetics of the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. and its wild relatives (tesis doctoral), University of Auckland, Auckland, Nueva Zelanda.
- Pringle, G., Murray, B. (1991). Reproductive biology of the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (Solanaceae), and some wild relatives. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 19, 263-273.
- Prohens, J., Ruiz, J., Nuez, F. (1997). El tomate de árbol, un cultivo prometedor para regiones de clima mediterráneo. *Agrícola vergel*, 16 (184), 209-214.
- Prohens, J., Nuez, F. (2000). The tamarillo (*Cyphomandra betacea*): a review of a promising small crop. *Small Fruits Review*, 1, 43-68.
- Rao, V., Rauoof, A. (1970). Pollen and pollination studies in tree tomato (*Cyphomandra betacea* Sendt.). *Journal of Palynology* 6, 70-72

Rawson, H., Gómez, H. (2001). FAO, Trigo Regado, Efectos de la temperatura. Consultado el 3 de julio, 2016. Recuperado de:

http://www.fao.org/search/en/?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&q=factores+ambientales&x=0&y=0&cof=FORID%3A9&siteurl=www.fao.org%2Fag%2Fportal%2Fhome%2Fen%2F&ref=www.fao.org%2Fdocuments%2Fheader%2Fdocrep_redirector_head_cache.asp%3Furl_file%3D%2Fdocrep%2F006%2Fx8234s%2Fx8234s08.htm&ss=3680j1154496j20

Revelo, J., Pérez, E., Maila, M. (2004). Manual ecológico del tomate de árbol en Ecuador N° 65. Consultado el 25 de Febrero del 2016. Recuperado de:

https://books.google.com.ec/books?id=WWwzAQAAMAAJ&pg=PA163&lpg=PA163&dq=manual+ecologico+del+tomate+de+arbol+revelo&source=bl&ots=MARoREr-N6&sig=FnKz94u4_3jWpe0sElyTodiTnh0&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwii9Km1xOHJAhVCFh4KHV_pA2UQ6AEIGjAA#v=onepage&q=manual%20ecologico%20del%20tomate%20de%20arbol%20revelo&f=false

Richardson, A., Patterson, K. (1993). Tamarillo growth and management. The Orchardist New Zeal, 66 (12), 33-35.

Riofrío-Cuenca, T. (2011). Caracterización morfológica y fenológica de diversas accesiones de tomate de árbol *Solanum* sp., colectadas en Ecuador y otros países (tesis pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

Rivas, K. (2009). Compendio de botánica, editorial Rocafuerte. Cuenca

Sale, P. (1983). Tamarillos: orchard management. New Zealand Ministry of Agriculture and Fisheries.

Sale, P. (1987). Whitefly – a recent plague in tamarillos. The Orchardist New Zeal, 60, 211-213.

Santillán, S. (2001). Manual del cultivo sustentable de tomate de árbol. Primera edición, Cuenca, Ecuador.

Schwartz, M. (1999). Para avanzar hasta la plena floración: planificación de la investigación fenológica para el siglo 21. Revista Internacional de Biometeorología, 42, 113-118.

Soria, N. (2006). "Tecnología del cultivo de tomate de árbol". Proyecto SICA. Quito. Consultado el 29 de febrero de 2016. Recuperado de: http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/frutas/tomate%20arbol/tecnologia_%20cultivo.htm

- Tamayo, P. (1996). Enfermedades vírales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav) Sendt), Colombia. ASCOLFI, 22(2), 26-29
- Tamayo, P. (2001). Principales enfermedades del tomate de árbol, la mora y el lulo, No. 12, CORPOICA, Colombia.
- Towle, M. (1961). The ethnobotany of pre-Columbian Perú. Aldine, Chicago, Estados Unidos.
- Vasco, C., Avila, J., Ruales, J., Svanberg, U., Kamal-Eldin, A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). International Journal of Food Sciences and Nutrition 60, 278-288.
- Viera, W. (2002). Evaluación de fungicidas in vitro y pruebas de resistencia de cinco variedades de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) para antracnosis (*Colletotrichum gloeosporoides*) (tesis pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Villalpando, J., Ruiz, A. (1993). Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Lumusa, México.
- Viscarret, M., Botto, E. (1996). Descripción e identificación de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera, Homoptera: Aleyrodidae). Revista Chilena de Entomología 23, 51-58.
- Volpe, C. (1992). Citrus Phenology. In: Proceedings of the Second International Seminar on Citrus Physiology.
- Zadoks, J., Chang, T., Konzak, C. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14, 415-421.

