

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR**  
**ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA**

**“EVALUACIÓN DE VARIABLES PRODUCTIVAS DE INJERTOS DE TOMATE  
TIPO GRAPE (*Solanum lycopersicum*) BAJO INVERNADERO, EN BUENOS  
AIRES, PUNTARENAS”**

**Trabajo de graduación bajo la modalidad de Pasantía para optar al grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en agricultura alternativa**

**Juan Pablo Gutiérrez Acuña**

**Heredia, Costa Rica**

**Abril, 2019**

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

.....

M.Sc. Tomas Marino Herrera

Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....

M.Sc. Carlos Ulate Azofeifa

Representate del Director de la Escuela de  
Ciencias Agrarias

.....

M.Sc. Gerardo Matarrita Venegas

Tutor

.....

Ph.D. Ramón Molina Bravo

Asesor

.....

M.Sc. Juan Mora Camacho

Asesor

.....

Bach. Juan Pablo Gutiérrez Acuña

Postulante

## TABLA DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN .....	1
1. Objetivo General.....	3
2. Objetivos Específicos .....	3
II. MARCO TEÓRICO .....	4
1. Ambiente protegido .....	4
2. Hidroponía.....	4
3. Sustrato .....	5
4. Contexto costarricense.....	5
5. El cultivo de tomate.....	6
<i>Taxonomía del tomate</i> .....	6
<i>Origen</i> .....	6
<i>Morfología</i> .....	7
<i>Tipos de tomate</i> .....	8
<i>Calidad del tomate</i> .....	9
<i>Ventajas del injerto en tomate</i> .....	9
<i>Condiciones ambientales para el cultivo del tomate</i> .....	11
<i>Principales enfermedades del tomate</i> .....	11
<i>Insectos asociados al tomate</i> .....	12
6. Condiciones ambientales y su relación con el crecimiento de plantas de tomate .....	12
<i>Efecto de la temperatura</i> .....	12
<i>Transpiración de la planta</i> .....	13
<i>Diámetro del tallo</i> .....	14
<i>Largo y ancho de la hoja y su relación con el desarrollo de la planta</i> .....	14
7. Parámetros técnicos para el manejo de cultivos bajo invernadero obtenidos a partir de datos climáticos.....	15
<i>Grados día</i> .....	15
<i>Déficit de presión de vapor</i> .....	16
III. METODOLOGÍA .....	17
1. Invernadero y condiciones ambientales de la zona .....	17
2. Material vegetal .....	18
3. Producción de plántulas.....	20

4. Manejo agronómico.....	20
5. Manejo nutricional del cultivo.....	22
6. Equipo de riego y frecuencia de la fertirrigación .....	24
7. Sustratos .....	24
8. Parámetros de rendimiento requeridos por la empresa Del Monte .....	25
9. Variables de rendimiento y frecuencia de muestreos .....	25
10. Variables morfológicas y frecuencia de muestreos .....	26
11. Equipo de medición de las variables morfológicas y de rendimiento .....	26
12. Diseño experimental de cada ensayo .....	27
13. Análisis estadístico .....	28
14. Confidencialidad de los resultados .....	28
IV. RESULTADOS.....	29
V. DISCUSIÓN.....	43
VI. CONCLUSIONES .....	51
VII. RECOMENDACIONES .....	52
VIII. REFERENCIAS .....	53
IX. ANEXOS.....	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cultivares seleccionados para los ensayos .....	18
Tabla 2. Portainjertos utilizados para los ensayos .....	18
Tabla 3. Solución nutritiva por etapa fenológica para el cultivo de tomate tipo grape .....	22
Tabla 4. Cantidad de fertilizantes para hacer la Solución nutritiva por etapa fenológica para el cultivo de tomate grape .....	23
Tabla 5. Evaluación de cinco cultivares de tomate tipo grape en combinación con tres portainjertos durante las primeras siete semanas de cosecha acumuladas .....	30
Tabla 6. Evaluación de dos cultivares de tomate tipo grape en combinación con tres portainjertos durante 28 semanas de cosecha acumuladas .....	33
Tabla 7. Promedio de peso cosechado de dos cultivares de tomate tipo grape DMA y DMB en combinación con tres portainjertos durante 29 semanas de evaluación .....	36
Tabla 8. Estimación de ingresos de los cultivares de tomate tipo grape DMA y DMB en combinación con tres portainjertos durante 30 semanas de cosecha .....	36
Tabla 9. Evaluación del Cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1 con diferentes densidades de siembra durante 15 semanas de cosecha acumuladas .....	38
Tabla 10. Estimación de cosecha e ingresos del cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1 con cinco densidades de siembra durante 30 semanas de cosecha ..	38
Tabla 11. Evaluación del cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1 cultivado con tres diferentes marcas de grow bags durante 21 semanas de cosecha acumuladas	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análisis de los componentes principales de la evaluación de cinco cultivares de tomate tipo grape en combinación de tres portainjertos durante siete semanas de cosecha .....	29
Figura 2. Cultivares de tomate grape descartados por características no deseadas del fruto	31
Figura 3. Análisis de los componentes principales de dos cultivares de tomate tipo grape en combinación de tres portainjertos durante 28 semanas de cosecha .....	32
Figura 4. Tipos de racimo producidos por los injertos con los cultivares DMA y DMB.....	34
Figura 5. Clasificación por el largo del fruto de los injertos con los cultivares DMA y DMB .....	34
Figura 6. Kilogramos cosechados de tomate grape por metro cuadrado por semana. ....	35
Figura 7. Análisis de los componentes principales de la evaluación del cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1 con cinco diferentes densidades de siembra durante 15 semanas de cosecha.....	37
Figura 8. Análisis de los componentes principales de la evaluación del cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1 cultivado con tres marcas de grow bags durante 21 semanas de cosecha.....	39
Figura 9. Clima de Volcán de Buenos Aires durante la evaluación de los ensayos.....	41

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Propiedades físicas y químicas de la fibra de coco.....	61
Anexo 2. Fórmula para calcular los grados día .....	62
Anexo 3. Fórmula para el cálculo del déficit de presión de vapor .....	63
Anexo 4. Cantidad de fertilizantes para lograr la Solución madre por etapa fenológica para el cultivo de Tomate concentrada en una relación 1:100 .....	64

## RESUMEN

El objetivo de la pasantía fue evaluar las variables productivas de cinco cultivares de tomate tipo grape (*Solanum lycopersicum*) en combinación de tres portainjertos, del injerto DMA/DM1 con diferentes densidades de siembra y de marcas de sustrato, para seleccionar el injerto con el mayor desempeño productivo, bajo ambiente protegido. Se realizaron tres ensayos por separado, en todos los ensayos se evaluaron variables morfológicas y de rendimiento. En el primer ensayo se utilizaron cinco cultivares en combinación con tres portainjertos. En el segundo ensayo, se evaluó el injerto DMA/DM1, con cinco diferentes densidades de siembra (4, 4,25, 4,5, 4,75 y 5 ejes/m<sup>2</sup>). En el tercer ensayo se evaluó el injerto DMA/DM1, con diferentes marcas de sustrato (Projar, Riococo y Forteco). Los resultados obtenidos evidencian que los injertos con los cultivares DMA y DMB, independientemente del portainjerto, cumplen con los requisitos de rendimiento y variables morfológicas para la empresa. Los injertos, con los cultivares DME, DMC y DMD, presentaron características no deseadas por la empresa. La densidad de siembra de 4,5 ejes/m<sup>2</sup> con el cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1, presentó el mayor desempeño en las variables evaluadas. Las marcas de grow bags no presentaron diferencias estadísticas en las variables evaluadas del cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1. La información generada en esta investigación es de suma importancia para la empresa debido a que demuestra que se puede producir tomate tipo grape que cumple con los requisitos de rendimiento y calidad ( kg/m<sup>2</sup>, largo de fruto y °Brix ) requeridos por la empresa para poder exportar a Estados Unidos.

**Palabras clave:** tomate tipo grape, invernadero, injertos, densidades de siembra, marcas de sustrato.

## ABSTRACT

The objective of the internship was to evaluate the productive variables of five grape tomato cultivars (*Solanum lycopersicum*) in combination of three rootstocks, of the DMA / DM1 graft with different planting densities and substrate brands, to select the graft with the highest productive performance, under protected environment. Three separate tests were performed, in all the trials morphological and yield variables were evaluated. In the first trial five cultivars were used in combination with three rootstocks. In the second trial, the DMA / DM1 graft was evaluated, with five different planting densities (4, 4.25, 4.5, 4.75 and 5 axes /m<sup>2</sup>). In the third trial, the DMA / DM1 graft was evaluated, with different substrate brands (Projar, Riococo and Forteco). The obtained results show that the grafts with the cultivars DMA and DMB, independently of the rootstock, accomplish the yield requirements and morphological variables for the company. The grafts, with the cultivars DME, DMC and DMD, presented characteristics not desired by the company. The planting density of 4.5 axes /m<sup>2</sup> with the cultivar DMA in combination with the rootstock DM1, showed the highest performance in the variables evaluated. The grow bag brands did not show statistical differences in the evaluated variables of the DMA cultivar in combination with the DM1 rootstock. The information generated in this research is very important to the company because it demonstrates that grape type tomatoes can be produced and accomplish the yield and quality requirements (kg / m<sup>2</sup>, fruit length and ° Brix) required by the company to be able to export to the United States.

**Keywords:** grape tomato, greenhouse, grafts, planting densities, grow bags brands.

## **DEDICATORIA**

Esta pasantía la dedico a mi padre Tomas Gutiérrez y a mi madre Nidia Acuña que me han apoyado incondicionalmente durante toda mi vida. Por todo el amor, enseñanzas y consejos que me han formado como persona y por enseñarme a nunca rendirme para cumplir las metas que me proponga en la vida. A mis hermanos Tomas, Alberto y Susana que siempre me apoyan y me inspiran a superarme como profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Don Daniel Cardona, por brindarme la oportunidad de realizar la pasantía en los invernaderos de Del Monte. A mi tutor MSc. Gerardo Matarrita por ayudarme en la elaboración de mi trabajo final de graduación. A la Ing. Ligia Barrantes por su amabilidad, ayuda incondicional y por compartir su conocimiento durante toda la pasantía. Al Ing. Wagner Morales por la ayuda brindada durante todo el proceso.

Agradezco a mis asesores PhD. Ramón Molina y MSc. Juan Mora por ayudarme en la parte estadística y en la elaboración de la pasantía. En general agradezco a todos los académicos y funcionarios de la Universidad Nacional que de alguna u otra manera ayudaron durante todo el proceso de enseñanza universitaria.

Agradezco de forma muy especial a Lucrecia Gutiérrez y Rafael Vargas por recibirme en su hogar con mucha amabilidad durante toda la pasantía en Buenos Aires. A Doña Ana Méndez por prepararme todas las comidas diarias con mucho amor y sabor, y a todos los miembros de la familia Gutiérrez Méndez por tratarme como si fuera parte de la familia.

## I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es considerada como una de las hortalizas de mayor importancia en muchos países del mundo, por el sinnúmero de subproductos que se obtiene de este y las divisas que aporta. Este fenómeno ha originado la incorporación de vastas extensiones de tierra al cultivo del tomate y la necesidad de utilizar las tierras, hasta ahora consideradas menos aptas para el cultivo, debido a las condiciones climáticas adversas. Por lo tanto, para lograr un considerable incremento en los rendimientos, es importante seleccionar los genotipos específicos para cada zona ecológica (Josafad, Mendoza y Borrego, 1998).

Otras formas de producción de hortalizas, como los sistemas de cultivo protegido, suponen una ventaja comparativa respecto al campo abierto, ya que el sistema favorece la alta productividad de los cultivos y facilita el control de plagas y enfermedades. Este tipo de sistema de producción ha sido desarrollado principalmente en zonas con clima templado; se busca como objetivo proteger a las plantas de las condiciones adversas de un clima con bajas temperaturas en el invierno. Por esa razón, tales sistemas de producción se desarrollan en estructuras aisladas de cultivo, llamadas invernaderos, que cuentan con equipos para calefacción, aplicación de CO<sub>2</sub>, riego automatizado y otros, que permiten la producción de hortalizas en un ambiente controlado (Vargas, 2011).

Según Marín (2010), en Costa Rica la producción hortícola, bajo ambientes protegidos, se inició a finales de los años 80 del siglo XX, principalmente dirigida hacia la exportación de plantas ornamentales y flores. Según el autor, en el año 2003 el 89 % de los invernaderos del país estaban localizados en la Región Central (Occidental y Oriental). En ese año las principales hortalizas que se cultivaban bajo ambiente protegido, eran chile dulce y tomate, las que ocupaban un 28 % y 11 % del área de los invernaderos del país, respectivamente. En el caso del tomate cultivado bajo invernadero, se cultivan genotipos principalmente de crecimiento indeterminado, de diferentes tamaños de fruto: pequeños ('cherry' o 'uva'), medianos, y grandes (gordos) (Monge, 2015).

El comportamiento de un genotipo bajo un ambiente protegido, no necesariamente coincide con el que tiene a campo abierto, dado que las condiciones climáticas son muy diferentes. Es

aconsejable evaluar diferentes genotipos en cada invernadero, para escoger el que mejor se comporta en esas condiciones, según el mercado de destino (Castellanos, 2009 citado por Monge, 2014). Además, los tipos de chiles y tomates para exportación son diferentes a los que se utilizan para el mercado local; por ello, es necesario utilizar nuevos genotipos que en general no han sido evaluados en el país bajo condiciones tropicales (Lopez, 2008a).

En Volcán de Buenos Aires de Puntarenas la empresa Del Monte tiene un proyecto llamado DM Vegetales de 10 ha de producción bajo invernadero de chile tipo Bell para exportación a los Estados Unidos. Por motivos de mercado han tenido que cambiar su cultivo y actualmente se encuentran en un proceso de prueba de diferentes injertos de tomate tipo grape, para seleccionar los materiales con mayor rendimiento y variables morfológicas, asociadas a la producción, bajo las condiciones climáticas de la zona.

La empresa tiene invernaderos en Guatemala con producción de tomate tipo grape y ya pasaron por el proceso de selección de sus injertos con el mayor desempeño en variables morfológicas y de rendimiento para esa zona y determinaron que el injerto DMA/DM2 es el de mayor desempeño; pero las condiciones ambientales de los dos proyectos son diferentes. En Costa Rica no existen estudios sobre el rendimiento de materiales de tomate tipo grape bajo invernadero, cultivado en fibra de coco con fertirrigación. Una mínima diferencia del costo/beneficio del sustrato y la densidad de siembra puede repercutir significativamente en la economía de la empresa. Por lo tanto, el propósito de esta pasantía es evaluar los diferentes injertos, para poder seleccionar los materiales de tomate tipo grape que cumplan con los requisitos productivos y de calidad, de la empresa del Monte, para exportar a los Estados Unidos.

## **Objetivo general**

Evaluar las variables productivas de cinco cultivares de tomate tipo grape (*Solanum lycopersicum*) en combinación de tres portainjertos, del injerto DMA/DM1 con diferentes densidades de siembra y de marcas de sustrato, para seleccionar el injerto con el mayor desempeño productivo bajo ambiente protegido de Del Monte, en Buenos Aires de Puntarenas.

## **Objetivos específicos**

Evaluar cinco cultivares de tomate tipo grape en combinación de tres portainjertos mediante la medición del rendimiento y variables morfológicas, asociadas a producción, para seleccionar el injerto con mayor desempeño productivo y más adaptado a las condiciones climáticas de la zona.

Determinar la densidad óptima entre plantas del injerto DMA/DM1 para el mayor rendimiento y con características morfológicas asociadas a producción, por medio de cinco pruebas de densidades (4, 4,25, 4,5, 4,75 y 5 ejes/ m<sup>2</sup>).

Determinar la marca comercial de sustrato de fibra de coco que brinde al injerto DMA/DM1 el mayor rendimiento y características morfológicas, asociadas a mayor producción

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **1. Ambiente Protegido**

El ambiente protegido se define como las estructuras o construcciones cerradas con materiales transparentes a la radiación solar y dentro de las cuales mantiene un microclima artificial (Méndez y Marín, 2014). Además, permite aumentar al máximo la capacidad de producción de un cultivo, optimizando el ambiente, el manejo de la planta, el riego, la nutrición y la sanidad, desde la germinación hasta la cosecha.

### **2. Hidroponía**

La hidroponía se define como el cultivo de plantas, al colocar las raíces en soluciones nutritivas líquidas más que en el suelo. Algunos antiguos usos de la hidroponía incluyen los jardines flotantes de los aztecas y chinos. Con el fin de cultivar alimentos en tierras pantanosas, los aztecas diseñaron jardines flotantes hechos de balsas de caña, que estaban ancladas a los fondos del lago o árboles fuertes. Aunque la hidroponía ha existido por siglos, no recibió su nombre hasta los años treinta. Fue W.F. Gericke de la Universidad de California que acuñó por primera vez el término Hidroponía (McDonald, 2015).

Los cultivos hidropónicos pueden dar una calidad sanitaria mejor al cultivo convencional basado en el suelo; permite obtener cultivos sin residuos del suelo y que estén listos para ser mínimamente procesados. Esta característica podría hacer que el cultivo hidropónico sea particularmente eficaz en la producción de cultivos destinados al procesamiento mínimo, debido a la simplificación de las operaciones de lavado y tratamientos de aguas residuales (Manzocco, et al., 2011). Además, permite buen control sobre los factores ambientales, el crecimiento y desarrollo, obtención de altos rendimientos y menos uso de pesticidas (Suvo, Ahamed, Haque, Chakrobarti y Biswas, 2017). Por otro lado, la biomasa y el contenido de aceites esenciales aumentan en comparación de los cultivados en el suelo (Vimolmangkang, Sitthithaworn, Vannavanich, Keattikunpairoj y Chittasupho, 2010).

### 3. **Sustrato**

Según el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA, 2008), los sustratos están siendo usados de forma creciente como medio de cultivo en los sistemas de producción más intensivos de muchas zonas del mundo, sobre todo en cultivos en invernadero bajo condiciones de producción cercanas al óptimo. Ello es debido, entre otras razones, a que los sustratos mejoran la absorción de agua y nutrientes y la disponibilidad de oxígeno por el sistema radicular. Las características teóricas de las propiedades físicas y químicas de la fibra de coco utilizada como sustrato, se encuentran en el anexo 1.

El término *grow bag* hace referencia a una bolsa de plástico grande que viene llena con un sustrato y se usa para cultivar plantas, generalmente tomates u otras hortalizas. El medio de crecimiento generalmente se basa en un material orgánico sin suelo, como turba, fibra de coco, desechos verdes compostados, corteza compostada o astillas de madera compostadas o una mezcla de estos. La plantación se lleva a cabo primero colocando el *grow bag* plano en el piso, luego cortando los orificios de acceso en la superficie superior, en la que se insertan las plantas (Maher, Prasad y Raviv, 2008). La importancia de evaluar diferentes marcas de sustrato con las mismas características, radica en comparar el precio de estos y su efecto en el rendimiento, para poder seleccionar el de menor precio, sin afectar la producción.

### 4. **Contexto costarricense**

En Costa Rica, la producción agrícola, bajo ambientes protegidos, se inició a finales de los 80, principalmente dirigida a la producción de plantas ornamentales y flores. En los últimos años, se han desarrollado pequeños proyectos de producción de hortalizas en ambientes protegidos, incluso unos pocos con fines de exportación (Marín, 2010).

Alajuela y Cartago son las provincias con mayor cantidad de agricultura protegida; cubren en conjunto el 80% de la superficie utilizada con ese fin. Guanacaste es la provincia con menos áreas protegidas, con apenas 1 % de la superficie relativa. Es importante resaltar que Guanacaste y la parte centro-norte de Puntarenas cuentan con suficientes horas luz y terrenos con topografía adecuados para generar proyectos de impacto potencial. Así mismo, el sur de Puntarenas (Brunca) y Limón, pese a sus condiciones de poca luminosidad general, poseen la ventaja de cercanía con puertos y megaproyectos; estos presentan cualidades específicas

para ciertos productos. De alguna forma se ven los efectos de las grandes variaciones agroclimáticas y topográficas del país (Méndez y Marín, 2014).

A nivel de consumo, el tomate para mesa tiene amplia aceptación en Costa Rica, es utilizado en hogares, restaurantes y hoteles. Por sus propiedades organolépticas, nutricionales y hasta medicinales, forma parte de la dieta del costarricense y está incluido dentro de la canasta básica, con un consumo por año per cápita de 18,6 kg (López, 2008b). En términos socioeconómicos, la producción es muy importante para el país; existen alrededor de 1000 productores en diversas zonas, con un área destinada de 945 hectáreas. Los rendimientos productivos promedio están del orden de 150 t/ha-1 bajo invernadero y 45 t/ha-1 en campo abierto (Fallas, 2013).

## 5. El Cultivo de tomate

### *Taxonomía del tomate*

Nombre Científico: Magnoliophyta

Clase: Dicotiledonea

Orden: Solanales

Familia: Solanacea

Género: *Solanum*

Especie: *Lycopersicum*

Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2017)

### *Origen*

El origen del género *Lycopersicum* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecía como mala hierba entre los huertos. Durante el Siglo XVI se consumían

en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero por esa época ya habían sido llevados a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del Siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá (EcuRed, 2016).

### ***Morfología***

Planta: Según el instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA, 2016) es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas).

Raíz: El sistema radical consiste en una raíz principal de la que salen raíces laterales y fibrosas; forma un conjunto que puede tener un radio hasta de 1.5m. En el cultivo, sin embargo, las labores de trasplante destruyen la raíz principal y lo más común es que presente una masa irregular de raíces fibrosas (León, 1987).

Hojas: son cortas, de tamaños medios o largos y tipo patata. Son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos. El haz es de color verde y el envés de color grisáceo, su tamaño depende de las características genéticas de la variedad. En tomates más rústicos el tamaño de sus hojas es más pequeño (Sañudo, 2013).

Inflorescencia: La inflorescencia más común en el tomate es una cima racemosa, generalmente simple en la parte inferior de la planta y más ramificada en la superior. Las flores se abren sucesivamente, de modo que en la misma inflorescencia puede haber tanto flores como frutos, en diferentes etapas de desarrollo. Las flores tienen el pedúnculo corto y curvo hacia abajo, por lo que asumen una posición pendiente. El pedúnculo presenta al centro un engrosamiento que corresponde a la superficie de abscisión y es muy corriente en esta especie que un gran número de flores caiga prematuramente (León, 1987).

Fruto: Es una baya bilocular o plurilocular, subsférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 g. El fruto está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. En estado inmaduro es verde y, cuando madura, es rojo (INTA, 2016).

### ***Tipos de Tomate***

Clasificación de los tipos de tomate según el Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI, 2017a):

Tomate tipo Saladette o Roma: Este tipo de tomate se caracteriza por su forma ovalada, tiene pulpa abundante. Se destina principalmente para consumo en fresco. En el mercado de semillas existe una gran cantidad de cultivares de tomates saladettes con diferentes propiedades organolépticas (sabor, textura, etc).

Tomate tipo Bola, Redondo o Beef: Como su nombre lo indica, es un tomate redondo, grande y con mucha pulpa (carnoso), ideal para las salsas, ensaladas y para emparedados. El diámetro promedio del tomate bola oscila entre 54 a 90 mm. Su destino principalmente es el mercado de exportación, ya que es el tipo de tomate demandado por el consumidor norteamericano.

Tomate en Racimo o TOV (Tomatoes On The Vine): El tomate en racimo, también conocido como TOV es una especialidad de los tomates bolas, que se caracterizan porque la cosecha se realiza en ramilletes y la presentación comercial es en racimos de 4 o 5 frutos. Cabe destacar que los productores están diversificando los tamaños y formas de los tomates en Racimo (TOVs).

Tomate tipo Cherry o Cereza: Uno de los tomates más conocidos y apreciados por su excelente textura y sabor. Se caracteriza por tener un alto contenido de azúcar y los diámetros de los frutos fluctúan entre 20 a 35 mm. Su recolección generalmente se realiza uno a uno y en racimo (TOV Cherry). Los frutos son de color rojo o amarillo.

Tomate tipo Cocktail: Una especialidad de tomates caracterizada porque los frutos son redondos o aperados, el diámetro de estos va de 35 a 45 mm. Aunque todavía es poco importante su participación en el mercado en fresco, es apreciado por tener una excelente

consistencia. Su destino es el mercado gourmet, donde se utiliza principalmente para las ensaladas.

Tomate tipo Uva o Grape: Tomate de especialidad cuyos frutos tienen forma de uva y presenta tamaño intermedio entre los dos anteriores. La recolección comúnmente es en ramillete y una de sus características es el alto contenido de °Brix.

### ***Calidad del tomate***

La calidad de productos frescos de frutas y vegetales es una combinación de atributos, propiedades o características que para el consumidor determina su valor. Los parámetros de calidad incluyen apariencia, textura, sabor y valor nutricional (Lamikanra, 2002). La calidad del tomate para el mercado fresco está determinada por la apariencia, firmeza y sabor; mientras que la calidad del tomate procesado está determinada principalmente por sólidos solubles, color, pH y firmeza (Araujo, *et al.*, 2014).

### ***Ventajas del injerto en Tomate***

La horticultura intensiva tiene como característica primordial, la obtención de altos rendimientos. En este intento de lograr mejores cosechas, se puede caer en problemas graves como la infestación del suelo con nemátodos, hongos fitopatógenos (*Fusarium*, *Phytophthora*, *Phytium*, etc.) y bacterias devastadoras como el *Clavibacter michiganensis*, causante del cáncer bacteriano en tomate. Otra alternativa viable para hacer frente a problemas por infestación de hongos fitopatógenos, nemátodos y bacterias, es el uso de injertos. Esta tecnología tiene como principal ventaja que no contamina al ambiente, además de incrementar la tolerancia a altas y bajas temperaturas, tolerancia a la salinidad del suelo y/o agua y tolerancia a condiciones de sequía e incrementa el vigor de la planta y el rendimiento; esto conlleva una mayor absorción de nutrientes y contenido mineral en la parte aérea. Las plantas injertadas tienen una mayor capacidad de absorción de nutrientes y agua; es por ello que generalmente se manejan de dos tallos (INTAGRI, 2015).

Según el mismo autor, esta tecnología en hortalizas, se ha llevado a cabo de manera exitosa en cultivos como el tomate, pimiento, sandía, melón y berenjena; a continuación se presentan los pasos por seguir para llevarlo a cabo en el cultivo de tomate.

- Se siembra primero el portainjertos (patrón) en bandejas de 200, 128 o 50 cavidades y a los 2 a 5 días (dependiendo de la estación y del cultivar) se efectúa la siembra de la variedad por injertar.
- Se realiza el injerto cuando el patrón y la variedad tengan un grosor de 1.4-2.2 mm de diámetro en el tallo; es necesario que ambas plantas tengan el mismo grosor de tallo aproximadamente. Los cortes del patrón y la variedad a injertar se realizan en diagonal a 45° por debajo de las hojas de los cotiledones. Ambas partes se sujetan y se unen mediante pinzas de silicón.
- Se colocan las plantas injertadas en un ambiente de 23-27 °C, con humedad relativa entre 75 a 85% y a baja radiación durante 7 días. Se inicia la aclimatación a partir del 4to día de injertado, que consiste en ir abriendo la cámara para reducir paulatinamente la humedad relativa. Si la planta responde con marchitez al llevar a cabo esta acción, hay que darle un poco más de tiempo.
- Después de 7 días se lleva al invernadero de plántulas para su acondicionamiento, se puede llevar a una zona de menor radiación para evitar un cambio brusco, de 2 a 3 días y posteriormente, colocarla a una zona donde se mantiene de 7 a 10 días, en caso de usar un solo tallo por planta injertada.
- Cuando se lleva a dos tallos, la planta injertada se despunta en el invernadero de plántula y se obtienen los dos tallos, al salir un brote en la axila de cada una de las dos hojas cotiledóneas. También se puede despuntar más arriba para obtener los brotes en las axilas de las hojas, lo mejor es realizar el corte de la variedad arriba de los cotiledones. Cuando se obtienen dos brotes por planta, se usan charolas de 100 cavidades para evitar la competencia por luz.

### ***Condiciones Ambientales para el cultivo del tomate***

Las condiciones ideales para el cultivo de tomate se han descrito como: temperatura promedio de 24 a 25 grados Celsius, alta luminosidad y humedad relativa que oscile entre los 40 a 60 %. Sin embargo, esas condiciones no siempre se encuentran en el campo abierto, por lo que el sistema de cultivo protegido podría brindar tales condiciones al cultivo, además de control del agua, nutrición vía fertirriego, manejo de la calefacción, enfriamiento o humificación a través del uso de dispositivos o equipo, que permita modificar tales variables ambientales. Es por eso, entre otras razones, que en Holanda, los cultivos de tomate en invernadero han alcanzado altas productividades, donde se ha determinado una estrecha relación de la temperatura con el número de frutos por racimo (Vargas, 2011).

Según Castellanos (citado en Vargas, 2011), el tomate es insensible al fotoperiodo, necesita de buena iluminación que influye en la distribución de asimilados en la planta y se considera como una radiación total diaria alrededor de  $0.85 \text{ MJ/m}^2$  para el cuajado de frutos y la floración. Se puede compensar la falta de radiación con un suplemento adicional de  $\text{CO}_2$  al aire circundante; existen muchos cultivares adaptados para desarrollar una óptima floración en radiaciones bajas. El manejo de la biomasa a través de la poda y la densidad de siembra, contribuyen a la interceptación de la luz por parte del cultivo, en condiciones de invernaderos que poseen plásticos para retener calor, se provoca también una disminución en la radiación solar que afecta los rendimientos y la calidad de la luz; tampoco es tan importante para el tomate, sino que adquiere mayor relevancia la radiación integral térmica diaria.

### ***Principales enfermedades del tomate***

*Oidium* sp: Mildiú polvoso (Arauz, 1998).

TLCSiny: El virus del mosaico dorado (Fallas, 2013).

*Ralstonia solanacearum*: La marchitez bacteriana (Fallas, 2013).

### ***Insectos asociados al tomate***

Según Saunders, Coto y King (1998) las principales plagas del tomate son:

*Tuta absoluta* (Lepidóptera: Gelechiidae), el gusano alfiler.

*Liriomiza* sp. (Díptera: Agromyzidae), el gusano rayador.

*Bemisia tabaci* (Homóptera:Aleyrodidae), la mosca blanca .

*Agrotis ipsilon* (Lepidóptera:Noctuidae), el gusano cortador del suelo.

*Tetranychus urticae* (Acariforme:Tetranychidae), la araña roja.

## **6. Condiciones Ambientales y su relación con el crecimiento de plantas de Tomate**

### ***Efecto de la temperatura***

La respiración al ser una reacción química se ve afectada por la temperatura. Cambios en esta variable ambiental tendrá un efecto en todos los procesos metabólicos termosensitivos en la célula; estos conducen a la modificación de componentes estructurales de la célula (Went, 1953). Al ser las plantas inmóviles, deben adaptar su metabolismo a los cambios en la temperatura para minimizar el daño y las perturbaciones en el crecimiento. Por lo tanto las diferencias bioquímicas se han atribuido a la temperatura y otros factores climáticos (Hughes y Dunn, 1990).

En condiciones constantes de temperatura del día (TD) y la temperatura nocturna (TN), el crecimiento de la extensión del entrenudo en tomate y crisantemo, y probablemente en otras especies como el lirio, es determinado por la TD y TN absolutos, en lugar de por diferencia TD/TN (DIF). DIF ha demostrado ser extremadamente un concepto útil y fácilmente comprensible que ha alentado a los cultivadores a practicar la manipulación de la temperatura para controlar la altura de la planta, pero es simplemente una parametrización diferente de los efectos de la temperatura del día y la noche, que oscurece la verdadera importancia de las temperaturas absolutas a las cuales crecen las plantas. La respuesta a TD es algo más complicado cuando la temperatura no es constante (Langton y Cockshull, 1997).

Las plantas de tomate tienen, dentro de ciertos límites, la capacidad de integrar la temperatura. Sin embargo, fluctuaciones en la temperatura, pueden afectar el patrón de rendimiento del cultivo, la velocidad de desarrollo de procesos como la maduración de la fruta, que está determinada en gran medida por la temperatura (Adams, Cockshull y Cave, 2001).

### ***Transpiración de la planta***

Estudiar el proceso de la transpiración puede tener varias justificaciones, pero, desde un punto de vista muy aplicado se puede decir que la principal pérdida económica y el fracaso de los cultivos del mundo se deben a la presencia de déficits hídricos producidos por el exceso de la transpiración (Bieto y Talón, 2008).

La transpiración es principalmente un proceso de evaporación desde la carpeta vegetal y más específicamente desde las estomas; también es un proceso controlado por factores físicos y fisiológicos. En síntesis, la transpiración es el proceso dominante en las relaciones hídricas de una planta y altas tasas de transpiración conlleva a una intensa absorción de CO<sub>2</sub> (De Oliveira, Fernandes y Rodrigues, 2005).

Tradicionalmente se presenta la transpiración como un proceso de pérdida de agua, pero es una visión un poco simple. Incluso la transpiración es un mecanismo eficiente de transporte de nutrientes a las diferentes partes de las plantas y también cumplen un papel vital en la regulación térmica, pues la energía requerida para el cambio de fase del agua de su estado líquido a gaseoso genera una sensación refrigerante para las plantas (Bieto y Talón, 2008).

La tasa de transpiración depende del suministro de energía para evaporar el agua, el gradiente de presión de vapor y principalmente de la magnitud de la resistencia a lo largo del tejido vascular de la planta (Larqué y Trejos, 1990). De hecho, la diferencia de presión de vapor de agua entre la hoja y el aire, es la fuerza conductora del proceso de transpiración. La presión de vapor del aire, se relaciona con la humedad absoluta y la temperatura y la presión de vapor de la hoja se asocia con la temperatura y el potencial hídrico (Bieto y Talón, 2008).

### ***Diámetro del tallo***

Medir las variaciones del diámetro del tallo (DD) resulta del transporte radial de agua entre el xilema y tejidos de almacenamiento circundante. En los árboles, el mecanismo de interacción entre DD y el estado del agua se ha estudiado extensamente (De Swaef y Steppe, 2010). La evaluación del estado hídrico de la planta en cultivos hortícolas, donde utilizan medición continua de variaciones del diámetro del tallo, ha sido ampliamente estudiada recientemente (Gallardo, Thompson, Valdez y Fernández, 2006). Los tallos de las plantas se contraen durante el día debido a la incorporación de agua desde el floema al flujo de transpiración y se expande por la noche como resultado de la rehidratación del tallo y el crecimiento de la planta (Molz y Klepper, 1973). Plantas experimentando estrés hídrico generalmente muestran mayores contracciones diarias del tallo y menores tasas de crecimiento del tallo, en comparación con las plantas bien irrigadas (Gallardo, *et al.*, 2006).

El diámetro del tallo en la práctica es muy importante, ya que plantas con tallos muy delgados son más propensos a quebrarse con el descuelgue y por ende afectar los rendimientos; por lo tanto, la empresa Del Monte busca injertos con el mayor diámetro posible.

### ***Largo y ancho de la hoja y su relación con el desarrollo de la planta***

El análisis de crecimiento y las medidas fotosintéticas y de transpiración son a menudo relacionados con el área foliar. Hoy en día, es posible usar medidores de área no destructivos para mediciones de área de una sola hoja. A menudo el equipo es caro o no es útil para hojas grandes, y las hojas tienen que ser cosechadas para mediciones. Incluso si la destrucción de la hoja o la planta es posible, el área de la hoja entera para las mediciones consumen demasiado tiempo y se requieren mediciones más simples. Por lo tanto, las mediciones no destructivas del área foliar son necesarias para evaluar la planta en crecimiento y desarrollo con el tiempo. Tales medidas son necesarias no solo en invernaderos y cámaras climáticas, también para horticultura, investigaciones agrícolas y forestales. Entre las mediciones no destructivas, el área foliar no se mide directamente, sino por las características de las hojas que son más simples o más rápido de medir, por ejemplo, longitud de la hoja, ancho de la hoja, longitud del pecíolo, o alguna combinación de estas características (Kovanda, *et al.*, 1995).

La longitud total de la hoja explica el 75% de la varianza del área foliar del tomate, la longitud desde el raquis al extremo distal tiene la misma varianza del 75%, el ancho es un mejor estimador del área foliar explica el 90% de la varianza (Schwarz y Kläring, 2001); algunos factores climáticos como la temperatura, influyen fuertemente en la expansión de la hoja (Kovanda, *et al.*, 1995).

## **7. Parámetros técnicos para el manejo de cultivos bajo invernadero obtenidos a partir de datos climáticos**

### ***Grados día***

Según Méndez (2015), el tiempo fisiológico se basa en la premisa de que un organismo necesita una cantidad dada de energía, representada por la suma de grados día, necesarios para alcanzar una determinada fase fenológica o incluso el ciclo completo, ya que hay una relación lineal entre la temperatura y el crecimiento del organismo. La ventaja del tiempo fisiológico, es que los grados día acumulados para los eventos fenológicos en un genotipo, son relativamente constantes e independientes de la fecha de siembra y localidad. Los grados día (GD), es la diferencia entre la temperatura media del día para una localidad dada y una temperatura base y se puede calcular para un periodo de tiempo, (día, semana, mes), una parte o todo el ciclo de cultivo. Los grados día acumulados (GDA) son la suma de los grados de cada día en un periodo de tiempo. Los GDA permiten calcular la demanda energética necesaria para avanzar a la próxima etapa de crecimiento y representan una forma de expresar la demanda de energía. Establecer la demanda energética de cada fase de cultivo permite al técnico y al productor proyectar el crecimiento de una planta cuando se cultiva en condiciones de temperatura diferente, en especial considerar el efecto del desajuste climático; entonces, sería posible predecir la duración del ciclo, la floración, la fructificación o el rendimiento, bajo nuevas condiciones. La fórmula para calcular los grados día se explica en el anexo 2.

### ***Déficit de presión de Vapor***

Para el manejo de la humedad en un invernadero, generalmente es utilizado el concepto de humedad relativa (% HR), con respecto a una temperatura ambiental determinada, estimada como porcentaje de la capacidad máxima de saturación de agua del aire. Desde una mirada agronómica, es de mayor utilidad referirse a la humedad como déficit de presión de vapor (DPV). Este concepto es útil para el manejo climático de invernaderos, al representar un valor integrativo de las variables climáticas del invernadero como la temperatura y la humedad ambiental actuales, al integrarlas en un solo valor (Beluzán, 2013). El Déficit de presión de vapor (DPV) mide la presión ejercida (kPa) por el vapor de agua en el aire y lo compara con el punto de saturación teórico del aire. El déficit es la diferencia entre la presión de vapor actual y el valor de presión de vapor saturado (Connor, 2018).

El déficit de presión de vapor (DPV) es usado para evaluar qué tan seco se encuentra el aire en un momento dado. Si el aire es muy seco, la fotosíntesis es detenida para proteger a la planta del agotamiento por transpiración y si es muy húmedo se favorece la aparición de enfermedades (Connor, 2018). La pérdida de agua por parte de la planta es dependiente del DPV, al aumentar el DPV el ambiente se seca, la planta comienza a transpirar hasta llegar a 2 kPa; posteriormente se detiene la transpiración, al cerrar sus estomas, para no perder agua que podría plasmolizar sus células e interferir en su crecimiento. Por lo anterior, el DPV podría ser usado como indicador (de manera indirecta) de un grado de estrés hídrico en el cultivo, ya que cuando el valor del DPV es alto, existe una baja presión de vapor (la planta requiere de agua); la humidificación del ambiente es necesaria, para evitar daños por falta de agua (Beluzán, 2013). El déficit de presión de vapor recomendado para la etapa vegetativa de tomate es de 0,85 kPa, para etapa de floración de 1,32 kPa, un DPV de 1,82 indica un ligero estrés en la planta y por arriba de 2 kPa, las plantas se encuentran bajo mucho estrés (Connor, 2018). Para este cálculo existen varios métodos, pero es recomendada por su exactitud la ecuación de Penman-Monteith (anexo 3).

### **III. METODOLOGÍA**

La etapa de evaluación de los injertos se llevó a cabo durante cosecha en el invierno, del 29 de mayo del 2018 hasta el 9 de enero del 2019, en Volcán de Buenos Aires, con el fin de evaluar variables productivas y seleccionar los de mayor desempeño.

#### **1. Invernadero y condiciones ambientales de la zona**

Según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2016) el distrito de Volcán de Buenos Aires tiene una radiación promedio de  $4.4 \text{ MJ/m}^2$ , la humedad relativa promedio durante todo el año es de 85%, la temperatura máxima es de  $31^\circ\text{C}$ , la temperatura mínima es de  $20,5^\circ\text{C}$ , temperatura promedio es de  $26^\circ\text{C}$  y una precipitación total de 2950 mm. El invernadero de la empresa Del Monte está ubicado en Cordoncillo de Volcán de Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica, a una altitud de 750 msnm, ubicado en latitud  $9^\circ 16' 0.52''\text{N}$  y longitud  $83^\circ 28' 23.46''\text{O}$ .

El experimento se realizó en un invernadero de 8 gabletes con un área productiva total de  $3225,6 \text{ m}^2$  (cada gablete tiene un área productiva de 42m de largo por 9,6m de ancho), de estructura metálica con plástico difuso y antigoteo; también tiene un sistema de fertirriego automatizado marca Netafim. El invernadero cuenta con equipo de registro del clima marca Priva que registra la humedad relativa (%) con un higrómetro, temperatura mínima, máxima y el promedio ( $^\circ\text{C}$ ) con un termómetro y la radiación acumulada por día ( $\text{MJ/m}^2$ ) con un piranómetro; además, tiene un pluviómetro que registra la precipitación (mm) y activa el cierre de las ventanas zenitales, cuando empieza a llover. Estos datos se almacenan en una computadora para tener registros diarios del clima. Se calcularon dos parámetros a partir de estos datos climáticos de temperatura y humedad, los grados día acumulados en la etapa de producción ( $\Sigma\text{GD}$ ) y el déficit de presión de vapor (DPV), que se obtuvieron con las fórmulas expuestas en el anexo 2 y 3, respectivamente.

## 2. Material vegetal

Se utilizaron cinco Cultivares de tomate tipo grape (*Solanum lycopersicum*) en combinación de tres portainjertos.

Tabla 1

*Cultivares seleccionados para los ensayos*

<b>Cultivares</b>	<b>Tipo de tomate</b>
1) DMA	Grape
2) DMB	Grape
3) DMC	Grape
4) DMD	Grape
5) DME	Grape

**Nota:** Fuente: Del Monte (2018).

Tabla 2

*Portainjertos utilizados para los ensayos*

<b>Portainjertos</b>	<b>Tipo de tomate</b>
1) DM1	Portainjerto
2) DM2	Portainjerto
3) DM3	Portainjerto

**Nota:** Fuente: Del Monte (2018).

## Características de los Cultivares

A continuación se presentan las características de los cinco cultivares de tomate grape y los tres portainjertos, según Del Monte (2018):

DMA: Cultivar generativo con un buen equilibrio entre el vigor y la vegetación con mínima caída de fruta. Alto potencial de producción, debido a la alta velocidad de producción. Tomate con un alto valor Brix y la calificación más alta de dulzura en los estudios de consumo. Frutas uniformes y una excelente vida útil. Pulpa firme que asegura una larga vida de anaquel. Alta tolerancia al “micro cracking”.

DMB: Es un tomate de uva líder que es rojo brillante, tiene excelente sabor, vida útil y resistencia al agrietamiento. Es una planta indeterminada que tiene buen vigor y produce rendimientos iniciales impresionantes con conjuntos continuos y racimos completos de fruta muy firme de excelente calidad. DMB es ideal para la cosecha de frutas individuales y está adaptado para la producción en interiores y exteriores con excelente resistencia al agrietamiento.

DMC: Cultivar de tomate uva con posibilidad de recolección en rama o para suelto. Ramos uniformes con potentes partes verdes. Frutos con forma "olivette" de color rojo intenso, buena vida comercial y un gran sabor, sin tendencia al rajado y muy buen comportamiento en ciclos de cultivo largo.

DMD: Cultivar generativo y de porte abierto muy adaptado a zonas mediterráneas. Frutos cherry pera “blocky” muy atractivos, con peso promedio de 10 gramos. Excelente sabor y °Brix entre 8 - 9.

DME: Cultivar de tomate grape para recolección en rojo. Planta abierta, de entrenudos medios y excelente vigor, que permite hacer un ciclo de cultivo largo. Gran facilidad de cuaje con altas temperaturas y posibilidad de recolección en ramillete, con un color rojo intenso en la maduración. Cultivar Indicada para trasplantes tempranos y ciclo de producción en largo.

DMI: Portainjerto para tomate con gran vigor y sistema radicular potente. Buen comportamiento en ciclos de cultivo largo y gran producción de frutos de buena calidad, resistencia genética al virus del mosaico del tomate, *fusarium oxysporum lycopersici*, *Pyrenochaeta Lycopersici*, *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae* y *Meloidogyne spp.*

DM2: Se trata de un cultivar de portainjertos para su utilización, tanto en tomate como berenjena, mejor comportamiento a las bajas temperaturas y en condiciones de alta salinidad, resistencia genética al virus del mosaico del tomate, *fusarium oxysporum lycopersici*, *Pyrenochaeta Lycopersici*, *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae* y *Meloidogyne spp.*

DM3: Portainjerto de hábito extra vegetativo, que presenta una excelente cobertura foliar para condiciones de alta luminosidad y altas temperaturas; permite alargar los ciclos productivos y aporta más crecimiento a los racimos de tomate.

### 3. Producción de Plántulas

El almácigo de los injertos se realizó por medio de la empresa Villaplants. El almácigo se trasplantó a “grow bags” de fibra de coco marca Forteco de 1 m de largo, 20 cm de ancho y 15 cm de altura. La distancia de siembra fue de 0,263m entre plantas y de 1.6 m entre hileras, para una densidad de 2,37 plantas/m<sup>2</sup> que corresponden a 4,75 ejes/m<sup>2</sup> (2 ejes por planta), para un total de 7644 plantas (2,37plantas/m<sup>2</sup> \*3225,6m<sup>2</sup>) dentro del invernadero.

### 4. Manejo agronómico

Después de trasplantadas las plántulas, se realizaron labores todos los días dentro del invernadero (todos los ensayos tuvieron el mismo manejo) según lo establecido en la guía de manejo de tomate grape de la empresa (Del Monte, 2018):

Trasplante: 5 días antes del trasplante se realizaron riegos diarios con agua sin solución a los “grow bags” para asegurar que el sustrato estuviera bien hidratado antes de la siembra.

Entutorado y descuelgue: Se colocaron cuerdas (tutores) con clip para sostener y guiar las plantas en un crecimiento vertical; una vez que las plantas estaban cerca de alcanzar la altura máxima (4.5m), se procedió a realizar el descolgado cada semana.

Cosecha: se realizó una cosecha por semana antes del descuelgue de las plantas, únicamente de frutos bien maduros, para que lograran acumular la mayor cantidad de azúcares.

Podas: una vez que las plantas estuvieran establecidas dentro del invernadero, se cortó el meristemo apical para lograr dos ejes por planta. Conforme el cultivo fue desarrollándose, antes de cada descuelgue, se quitaron las hojas, yemas vegetativas laterales y racimos cosechados, que quedaron sobre el sustrato, hasta el nivel de la planta.

Polinización: para ayudar a la polinización dentro del invernadero, se introdujeron colmenas de abejorros (del género *Bombus*) de la marca “Koppert biological system”. También se realizaron golpes al tutor con una varilla, dos veces al día, durante la mañana (8:30am) y durante la tarde (1pm), para aumentar la polinización.

Manejo de Plagas: la empresa se encuentra bajo certificación de GLOBAL GAP para las buenas prácticas agrícolas; por lo tanto, se trató de hacer un control de plagas y enfermedades lo más amigable con el ambiente. Para el control de insectos se colocaron trampas en los alrededores de los invernaderos para bajar poblaciones de lepidópteros y que sus larvas no llegarán a las naves. Dentro del invernadero hay intractores de aire en cada puerta de entrada que sirven para reducir la introducción de insectos que vayan sobre la ropa de los trabajadores. Se colocaron trampas amarillas pegajosas para reducir la población de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) que lograron entrar a los invernaderos. Para el control preventivo de ácaros, trips y cochinillas se utilizó un acaro depredador *Ambliseius zwirki* de la marca “Koppert Biological Systems”, además de aplicaciones cada 15 días de hongos entomopatógenos, como *Bauveriana bassiana*, *lecanicillium spp*, entre otros, Se utilizaron insecticidas comerciales cuando hubo aumento en alguna de estas plagas.

Manejo de enfermedades: se realizaron muestreos semanales para identificar posibles enfermedades, se hizo un manejo preventivo con hongos y bacterias antagonistas como *Trichoderma harzianun* y *Bacillus subtilis* contra enfermedades de sustrato como fusarium. Para enfermedades como el mildiu y otros hongos, se utilizaron fungicidas preventivos y curativos a base de extracto de árbol de té (*Melaleuca alternifolia*), llamado Timorex, extracto de cítricos (Kilol), entre otros.

## 5. Manejo nutricional del cultivo

La nutrición fue basada en la solución nutritiva propuesta por Del Monte para tomate tipo grape. Como todos los ensayos estuvieron en el mismo invernadero, la fertirrigación fue la misma para todos. En el anexo 4 se puede ver la cantidad de fertilizante utilizada para lograr cada solución madre.

Tabla 3

*Solución nutritiva por etapa fenológica para el cultivo de tomate tipo grape*

Nutrimento	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa Gral.
	DT a 1er cuaje	1er al 3er cuaje	3er al 5to cuaje	5to en adelante
mmol/ L				
Nitratos	7	10	13	16
Amonio	0,5	1	1	1
Fósforo	1,5	2	2	2
Potasio	4,5	8	10	13
Calcio	4	4,5	5	6
Magnesio	2	3	3	4
Sulfatos	2	4	4	5
Carbonatos	0,5	0,5	0,5	0,5
Sodio	< 5	< 5	< 5	< 5
Cloro	2	2	3	3
Hierro	0,025	0,025	0,025	0,025
Manganeso	0,02	0,02	0,02	0,02
Zinc	0,007	0,007	0,007	0,007
Boro	0,045	0,045	0,045	0,045
Cobre	0,001	0,001	0,001	0,001
Molibdeno	0,005	0,005	0,005	0,005
CE	1,4	2	2,4	3
pH	5,8	6	6	6

**Nota:** DT= Día de trasplante. Fuente: Del Monte (2018).

Tabla 4

*Cantidad de Fertilizantes para hacer la Solución nutritiva por etapa fenológica para el cultivo de tomate grape*

Fertilizante	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa Gral.
	DT a 1er cuaje	1er al 3er cuaje	3er al 5to cuaje	5to en adelante
<b>Solución A</b>				
mg fertilizante / L agua				
Nitrato de calcio	400	530	680	1200
Nitrato de Potasio	285	461	610	294
Cloruro de Potasio	0	149	100	225
Ácido nítrico	0,150 ml	0,148 ml	0,148 ml	0,148 ml
<b>Solución B</b>				
Sulfato de potasio	7	110	55	440
Sulfato de magnesio heptahidratado	493	740	740	986
Fosfato Monopotásico	204	272	272	272
<b>Solución C</b>				
Cloruro de Calcio	225	215	195	0
<b>Solución D</b>				
<b>Micronutrientes</b>				
Quelato de manganeso	3,4	3,4	3,4	3,4
Quelato de zinc	1,38	1,38	1,38	1,38
Quelato de cobre	0,25	0,25	0,25	0,25
Ácido bórico	2,78	2,78	2,78	2,78
Auge de molibdeno	0,015	0,015	0,015	0,015
Quelato de hierro	0,010	0,010	0,010	0,010
<b>pH solución final</b>	5,8	6	6	6
<b>EC solución final</b>	1,4	2	2,4	3

**Nota:** Fuente: Del Monte (2018)

## 6. Equipo de riego y frecuencia de la fertirrigación

El equipo de fertirriego es marca Netafim. Inicia desde el cuarto de preparación de las soluciones madre y se hace en tanques de 2000 L a una concentración 1:100, que son inyectadas con electroválvulas que liberan un 1% de la solución nutritiva en el caudal del agua entrante a una tasa de 10ml por litro, que se direcciona hasta el invernadero con tubería de polietileno de alta densidad hasta llegar al gotero.

El sistema de riego tuvo para cada planta un gotero autocompensado con un caudal de 2 L/h y su tiempo de riego será de 2 minutos (270ml por grow bag). Se realizaron ajustes al volumen de descarga y concentración de la solución nutritiva basada en el registro diario de parámetros de pH, EC y volumen de lo lixiviado. La frecuencia del fertirriego estuvo determinada por la radiación solar medida a través de un piranómetro, se activó el riego apenas alcanzó una radiación acumulada de  $120 \text{ J/cm}^2$  (Del Monte, 2018).

## 7. Sustratos

Las marcas de los grow bags utilizados, fueron formulados según las especificaciones de la empresa Del Monte en 30% polvo y 70% chips de coco, con dimensiones de 1 m de largo, 15 cm de ancho y 12 cm de altura. Todos los sustratos estaban desinfectados y listos para usar, solo se sometieron a hidratación con el sistema de riego (solo agua) durante cinco días antes del trasplante. Las características de cada marca, según Del Monte (2018), se muestran a continuación:

Projar: Golden Grow (Projar) son unas placas de cultivo que se utilizan principalmente para el cultivo hidropónico protegido en invernaderos. Su composición es ideal para climas cálidos con elevados periodos de radiación solar (clima tropical). Golden Grow Hydroponics Grow Bag tiene un ciclo o frecuencia de irrigación media – alta, con un 25% de porosidad llena de aire. Está especialmente indicado para el cultivo de tomate, pepino, melón, sandía o ciertas flores decorativas. Esta marca tiene el precio más alto por grow bag aproximadamente \$2,95.

Riococo: las planchas de fibra Riococo 300, para cultivares de tomate brindan un desarrollo radical más rápido y tallos más sanos. Esto resulta en un mayor número de floraciones e

incrementan la producción de tomate. Tienen una capacidad de retención de agua de 5,42L/kg y una porosidad llena de aire del 25%. Esta marca de grow tiene un precio aproximado de \$2,7.

*Forteco*: Un aspecto importante de la calidad de las planchas de coco Forteco es su alta capacidad de retención de aire. En consecuencia, las planchas tienen una capacidad de drenaje importante, lo que a su vez se traduce en una excelente conducción del cultivo, una vez se haya llegado a la saturación completa con agua, tiene un porcentaje de aire del 25 %. Dura incluso más de una temporada, las plantas producen raíces muy fácilmente en las planchas de coco Forteco, gracias a su exclusiva relación aire/agua. Este grow bag tiene un precio aproximado de \$2,7.

#### **8. Parámetros de rendimiento requeridos por la empresa Del Monte**

El mercado destino del tomate en Estados Unidos exige dos requerimientos: el largo del fruto debe ser de una pulgada (se aceptará un mínimo de 2 cm y máximo de 3,5 cm) y con mínimo 8 °Brix. Además, la empresa ocupa injertos que produzcan durante mínimo 30 semanas con un promedio general de 400g/m<sup>2</sup>/semana como mínimo para poder cumplir con las metas económicas de Del Monte. En este estudio el término “injerto con mayor productividad” se refiere al injerto que tenga el mayor rendimiento productivo, °Brix, y tamaño del fruto dentro del rango dado por el comprador, además de tener el menor crecimiento del eje, mayor número de racimos por eje, mayor grosor de eje además del mayor ancho y largo de la hoja.

#### **9. Variables de rendimiento y frecuencia de muestreos**

Se evaluaron las siguientes variables de rendimiento basado en los requerimientos de la empresa Del Monte.

*Rendimiento por eje*: Se pesó la cosecha una vez por semana de 10 ejes en todos los injertos.

*Rendimiento por hectárea*: se estimó a partir del rendimiento por eje.

*Peso promedio del fruto*: se midió el peso total de los frutos y su cantidad para obtener el promedio de peso de cada clasificación del largo del fruto.

°Brix: Se midieron los °Brix, de diez frutos maduros con un refractómetro, cada tres semanas, únicamente en el ensayo 1.

Clasificación por el largo del fruto: se clasificaron cada tres semanas la cosecha de los diez ejes de cada tratamiento por tamaños, según el largo del fruto (menor a 2, de 2 a 2,5, de 2,5 a 3, de 3 a 3,5 y mayor de 3,5 centímetros). Únicamente en el ensayo 1.

#### **10. Variables morfológicas y frecuencia de muestreos**

A partir de los descriptores propuestos por el Instituto Internacional de Recursos Genéticos de Plantas (IPGRI, 1996) para el cultivo de tomate, se seleccionaron las siguientes variables morfológicas por evaluar:

Altura de la planta: se marcó semanalmente con un pilot en la cuerda tutor el crecimiento hasta donde se encuentra el meristemo apical de todos los tratamientos y posteriormente se midió con un metro el crecimiento por semana.

Largo de hoja: se midió semanalmente el largo de la hoja desde la unión del peciolo con el tallo hasta el ápice, ubicada en el medio de la altura de la planta.

Ancho de la hoja: se midió semanalmente el ancho de la hoja en los dos extremos más distales, ubicada en el medio de la altura de la planta.

Grosor del tallo: se midió semanalmente el grosor del tallo entre el espacio del último o penúltimo racimo fecundado y la hoja.

Racimos por eje: Se contaron los racimos que tenía cada eje por semana.

Frutos por eje: Se contaron el número de frutos verdes que tenía cada eje por semana.

#### **11. Equipo de medición de las variables morfológicas y de rendimiento**

El peso de los frutos se obtuvo con una balanza electrónica marca Rice lake, modelo Versa portion RLP- 30S de 15000 gramos de capacidad, con una incertidumbre de 5 gramos. Los °Brix se determinaron con un refractómetro manual marca Atago. La altura, largo y ancho

de la hoja se midió con un metro marca Stanley y el grosor del tallo se midió con un bernier digital marca Fisher scientific, con una incertidumbre de 0.1mm.

## 12. Diseño experimental de cada ensayo

La empresa Del Monte realizó tres ensayos por separado dentro del mismo invernadero, para evaluar variables de rendimiento y morfológicas relacionadas con la producción de los injertos. El modelo matemático para un diseño completamente al azar es

$$y_{ij} = \mu_i + E_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, r$$

Donde  $y_{ij}$  es la observación de la  $j$ -ésima u.e. del  $i$ -ésimo tratamiento,  $\mu_i$  es la media del  $i$ -ésimo tratamiento,  $E_{ij}$  es el error experimental de la unidad  $ij$ . Suponemos que hay  $t$  tratamientos y  $r$  repeticiones en cada uno.

### Ensayo 1

Se evaluaron semanalmente todas las variables de rendimiento y morfológicas de cinco cultivares de tomate tipo grape, en combinación de tres portainjertos (15 combinaciones de injertos) cultivado en sustrato de fibra de coco marca Forteco con una densidad de siembra de 4,75 ejes/m<sup>2</sup>, con un área total del ensayo de 31,5m<sup>2</sup> (2,1m<sup>2</sup> por injerto), por medio de un diseño completamente al azar, dentro de las hileras cultivadas de cada material vegetal. La unidad observacional fue un eje de una planta y estaban distribuidas juntos y en línea recta y la unidad experimental fueron 10 ejes. Este ensayo fue de un factor (Portainjerto/Cultivar) con 15 niveles.

### Ensayo 2

Tuvo un diseño completamente al azar y fue para evaluar las variables morfológicas y de rendimiento con la variante que se realizó con cinco diferentes densidades de siembra (4 (1,6m\*0,31m), 4,25 (1,6m\*0,294m), 4,5 (1,6m\*0,278m), 4,75 (1,6m\*0,263m) y 5 (1,6m\*0,250m) ejes/ m<sup>2</sup>), en sustrato marca Forteco con un área experimental total de 10,5m<sup>2</sup> (2,1m<sup>2</sup> por tratamiento), únicamente con el injerto DMA/DM1. A la empresa Del Monte le interesa este injerto en específico, debido a que el cultivar DMA se destaca en rendimiento, calidad de fruto y variables morfológicas. La Unidad observacional es un eje de una planta y

estarán distribuidos los ejes juntos y en línea recta; la unidad experimental es de diez ejes. Este ensayo es un factor (densidad de siembra) con cinco niveles (4, 4,25, 4,5, 4,75 y 5 ejes/m<sup>2</sup>).

### Ensayo 3

El tercer ensayo tuvo un diseño completamente al azar, con una densidad de siembra de 4,75 ejes, y fue para evaluar semanalmente las variables morfológicas y de rendimiento del injerto DMA/DM1, con la variante que se utilizaron tres marcas comerciales distintas de grow bags con sustrato de fibra de coco (Forteco, Projar y Riococo) con las mismas características de granulometría. Se cambia la marca comercial, para verificar que no existan diferencias en la variables evaluadas, previo a realizar una compra. Esto, debido a que una mínima rebaja en el precio del grow bag, es muy significativo en términos financieros para la empresa, debido a la gran extensión (10 ha). La Unidad observacional fue un eje de una planta y estaban distribuidos juntos los ejes y en línea recta, la unidad experimental fueron diez ejes. Este ensayo fue de un factor (marca sustrato) con tres niveles (Forteco, Riococo, Projar).

### **13. Análisis estadístico**

Se analizó el acumulado de las variables evaluadas por medio de un análisis de varianza (ANOVA). Se probaron las suposiciones del ANOVA por medio de un gráfico Q-Q y un gráfico de los residuales vs los datos predichos. Para las comparaciones múltiples entre estas, se realizó con una prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ). Los análisis de los datos se realizaron en el programa estadístico R Studio.

### **14. Confidencialidad de los resultados**

Los resultados obtenidos de la pasantía se exponen ante la CTFG, para no interferir con el proceso de evaluación. Sin embargo, todo cultivar o portainjertos de tomate será referido en el documento final con un código establecido, con el propósito de salvaguardar el resultado de la investigación; este es de uso exclusivo para la compañía, amparado en el artículo 30 de confidencialidad en el reglamento de trabajos finales de graduación de la Universidad Nacional.

#### IV. RESULTADOS

##### Ensayo 1

Dentro de las variables evaluadas (Figura 1 y tabla 5) se observó que los injertos con el cultivar DMD, tuvieron mayor grosor de eje y mayor producción por semana. Los injertos con los cultivares DMA y DMB, tuvieron mayor número de frutos en el eje y los frutos cosechados fueron los de mayor °Brix. Por otro lado, los injertos con los cultivares DME y DMC, son los que mantuvieron mayor número de racimos por eje, además de tener menor crecimiento; los injertos con el cultivar DMB, fueron los de mayor largo de hoja.

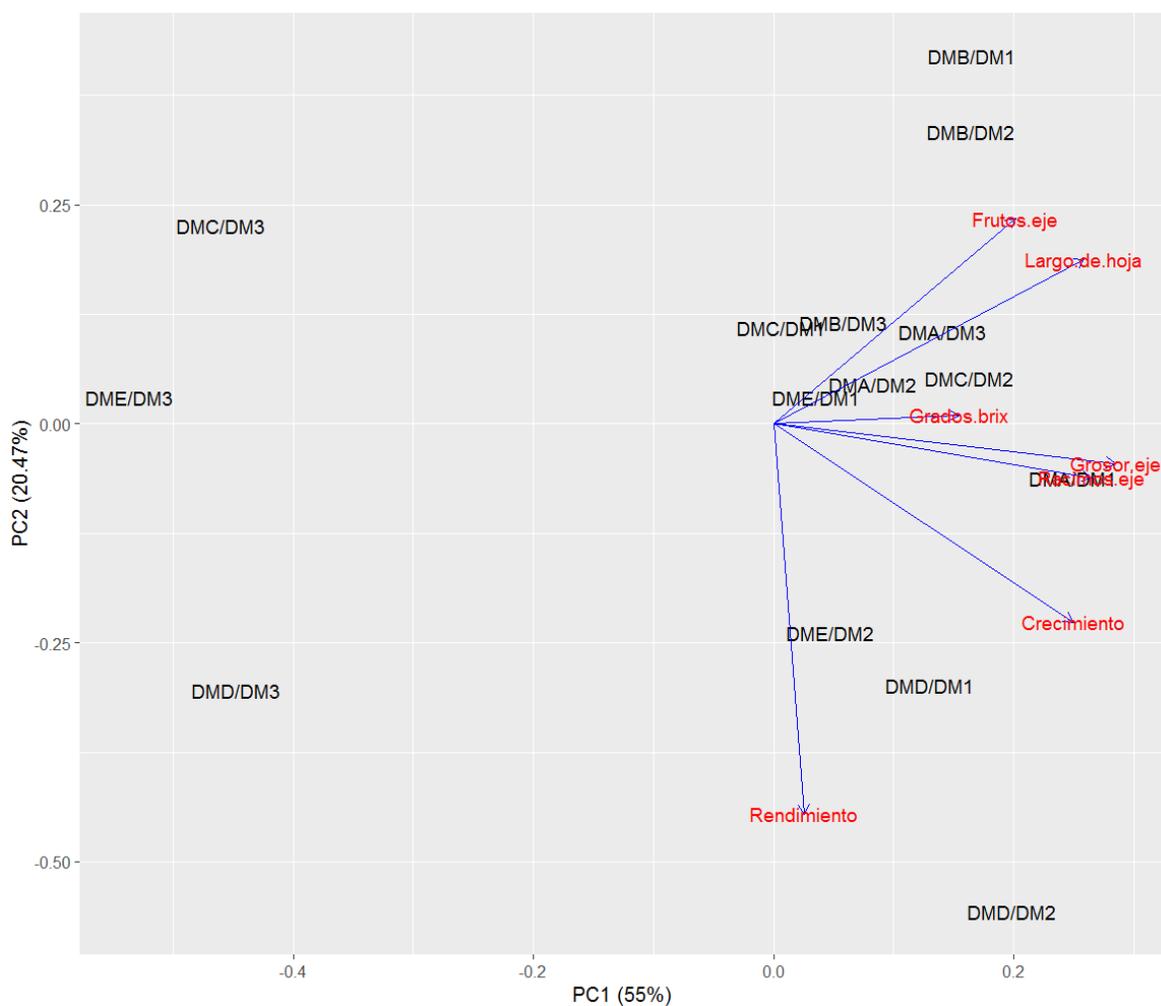


Figura 1. Análisis de los componentes principales de la evaluación de cinco cultivares de tomate tipo grape, en combinación de tres portainjertos, durante siete semanas de cosecha

Tabla 5

*Evaluación de cinco cultivares de tomate tipo grape en combinación con tres portainjertos durante las primeras siete semanas de cosecha acumuladas*

Injerto	Promedio kg/m <sup>2</sup> /semana	°Brix	Crecimiento <sub>cm</sub>	Frutos eje	Racimos eje	Largo de hoja <sub>cm</sub>	Grosor eje <sub>mm</sub>
DMC/DM1	0,48	7,16 h	217,8 abc	471,1 bcde	45,7 cd	281 bcd	46,1 a
DMC/DM3	0,48	7,09 h	186,1 fg	480,8 bcd	41,8 ef	226 f	36,8 b
DMC/DM2	0,53	8,49 defg	217,1 bcd	534,9 ab	50,7 ab	284 bc	45,2 a
DME/DM1	0,49	7,81 efgh	209,8 cde	466 bcde	51,2 a	259 e	46,4 a
DME/DM3	0,51	7,65 fgh	180,3 g	385,1 e	40 f	222 f	38,8 b
DME/DM2	0,55	7,56 gh	223,2 abc	413,4 cde	49,9 ab	275 cde	45,8 a
DMA/DM1	0,56	10,36 ab	220,9 abc	555,1 ab	50,6 ab	270 cde	47 a
DMA/DM3	0,5	10,45 ab	211,7 bcde	505 abc	48,6 abc	273 cde	46,6 a
DMA/DM2	0,46	10,71 a	222,4 abc	428,9 cde	45,9 cd	267 de	47,2 a
DMB/DM1	0,48	9,52 bcd	201,6 def	577,5 a	47,4 bcd	306 a	45,6 a
DMB/DM3	0,51	9,86 abc	212,3 bcde	494,2 abc	45 de	284 bc	45 a
DMB/DM2	0,46	8,66 def	213,3 bcde	554,1 ab	47,9 abcd	294 ab	46,6 a
DMD/DM1	0,59	9,30 cd	226,2 ab	469 bcde	47,8 abcd	266 de	47,3 a
DMD/DM3	0,59	8,78 de	197,7 ef	389,6 de	40 f	213 f	38,7 b
DMD/DM2	0,67	8,72 de	233,6 a	491,1 abc	50,3 ab	263 e	47,3 a

**Nota:** °Brix se evaluó una semana y el resto de variables siete semanas.

Durante las primeras siete semanas de evaluación se observaron algunas características no deseadas del fruto en algunos de los injertos evaluados; esto generó que se descartaran del estudio. Los injertos con el cultivar DMC (figura 2a) se descartaron, debido a que sus frutos eran tan redondeados que su forma asemejó más a un tomate tipo cherry que a un tomate tipo grape, además de producir frutos con un nivel de azúcares solubles en el límite mínimo de 8 °Brix requerido por el comprador en Estados Unidos.

Los injertos con el cultivar DME (figura 2b) se descartaron debido a que una alta cantidad de los frutos cosechados fueron de un tamaño muy pequeño que no cumplen con el requisito mínimo de 2cm de largo del fruto. Estos tampoco cumplen con el mínimo requerido de 8

°Brix, demandado por el comprador en Estados Unidos. Por último se descartaron los injertos con el cultivar DMD (figura 2c), aunque estos fueron los injertos con mayor producción por metro cuadrado. Sus frutos tienen muy poca firmeza, lo que aumentaría las pérdidas postcosecha debido a la gran distancia que deben recorrer los frutos, para llegar a su destino en Estados Unidos.

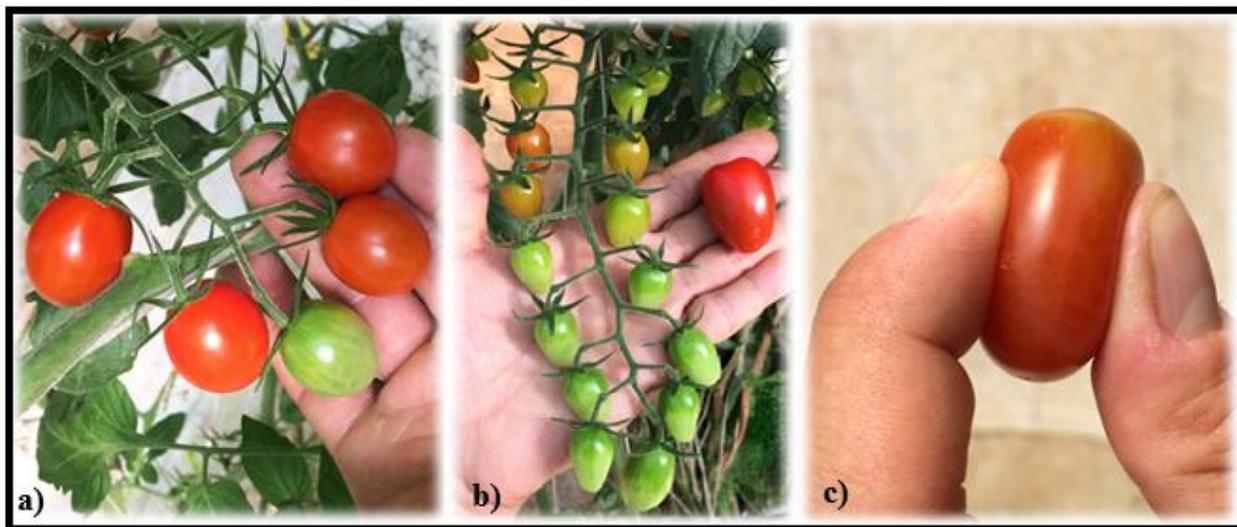


Figura 2. Cultivares de tomate grape descartados por características no deseadas del fruto

**Nota:** figura 2a frutos del injerto DMC/DM2. Figura 2b frutos del injerto DME/DM1 (izquierda) y fruto DMA/DM1 (derecha). Figura 2c fruto del injerto DMD/DM1.

Después de 28 semanas de evaluación (Figura 3 y tabla 6), los injertos con DMB y DMA fueron los materiales que cumplen con los requerimientos productivos y de calidad de la empresa Del Monte. DMB tuvo mayor desempeño en la mayoría de variables evaluadas, peso cosechado, frutos cosechados, frutos eje, largo y ancho de la hoja. Sin embargo, DMA tuvo un mayor desempeño en el grosor del eje, °Brix y menor cantidad de frutos sin valor comercial.

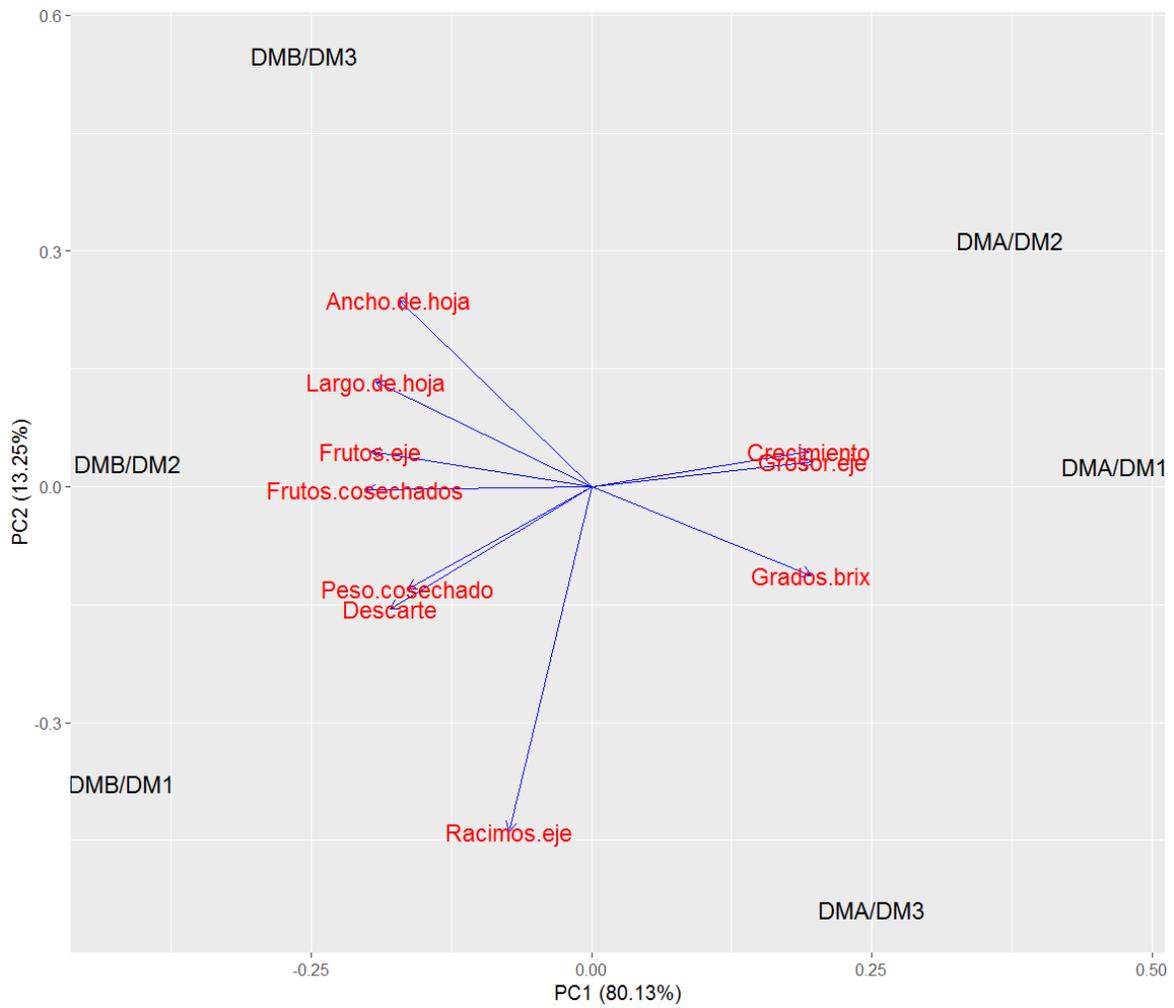


Figura 3. Análisis de los componentes principales de dos cultivares de tomate tipo grape en combinación con tres portainjertos, durante 28 semanas de cosecha.

Tabla 6

*Evaluación de dos cultivares de tomate tipo grape en combinación con tres portainjertos durante 28 semanas de cosecha acumuladas*

Injerto	Peso cosechado g	Frutos cosechados	°Brix	Promedio °Brix	Promedio descarte %	Crecimiento cm	Frutos eje	Racimos eje	Ancho de hoja cm	Largo de hoja cm	Grosor eje mm
DMA/DM1	1923,4 b	263,2 b	162,9 a	9	1,6	960,7 a	1857,5 b	207,1 ab	603,9 bc	1059,6 b	217 a
DMA/DM3	2099,2 ab	281,5 b	161,7 a	8,9	1,8	906,5 b	1891,3 b	210,7 a	589,9 c	1051,7 b	209 ab
DMA/DM2	2018,9 ab	270,9 b	160,6 a	8,9	0,9	922,6 b	1725,8 b	203 b	609,8 bc	1059,8 b	210 ab
DMB/DM1	2175,3 a	367,2 a	147,7 b	8,2	4,1	849,6 c	2614,3 a	210,6 a	646,9 ab	1157,4 a	191 c
DMB/DM3	2120,1 ab	341,5 a	146,5 b	8,1	1,9	872,8 c	2594,7 a	204,5 ab	691,7 a	1175,5 a	199 bc
DMB/DM2	2092,4 ab	362,4 a	146,2 b	8,1	3,7	858,2 c	2717,4 a	209,5 ab	691,7 a	1179,3 a	193 c

**Nota:** °Brix se evaluó durante 18 semanas.

El tipo de racimo producido entre los injertos con los cultivares DMB y DMA presentan diferencias en su forma, los injertos con DMA produjeron mayoritariamente racimos simples y DMB produjeron mayoritariamente racimos compuestos (figura 4). Por otro lado la distribución del tamaño de los frutos (figura 5) varío entre injertos, siendo los injertos con el cultivar DMA los que produjeron frutos más largos (en su mayoría entre 2,5 y 3,5 cm de largo), mientras que los injertos con el cultivar DMB presentaron frutos más pequeños (en su mayoría entre 2 y 3 cm de largo).



Figura 4. Tipos de racimo producidos por los injertos con los cultivares DMA y DMB

**Nota:** figura 4a racimo simple producido por los injertos con el cultivar DMA. Figura 4b racimo compuesto producido por los injertos con el cultivar DMB.

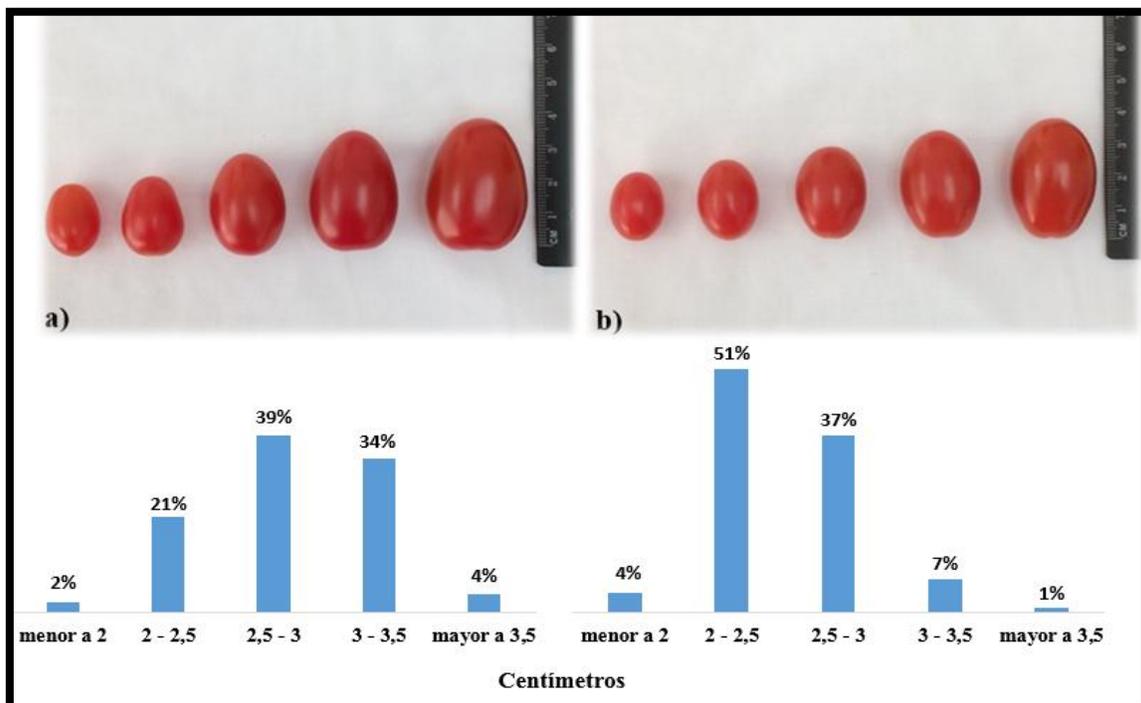


Figura 5. Clasificación por el largo del fruto de los injertos con los cultivares DMA y DMB

**Nota:** Figura 5a frutos del injerto DMA/ DM1 (izquierda). Figura 5b frutos del injerto DMB/ DM1 (Derecha).

En la Figura 6 y la tabla 7, se evidencia que los injertos con el cultivar DMB y DMA tuvieron un rendimiento promedio por semana de 0,455 a 0,473 kg/m<sup>2</sup> y 0,441 a 0,466 kg/m<sup>2</sup> respectivamente. Además, se observa cómo después de la semana 25 de cosecha, el rendimiento por metro cuadrado desciende por debajo del mínimo requerido por la empresa. En la tabla 8, se observa que los injertos con el cultivar DMB generan mayores ingresos a la empresa entre 136 y 142 millones, mientras que los injertos con el cultivar DMA generan entre 132 y 139 millones por ciclo de cultivo de 30 semanas. Sin embargo, el injerto DMA/DM3 presenta un rendimiento muy parecido a los injertos con el cultivar DMB. Cabe recalcar que las estimaciones de rendimiento e ingresos son meramente para demostrar el impacto económico que genera la diferencia de peso cosechado entre injertos, pero el rendimiento varía mucho entre las estaciones de verano e invierno, además de su precio de venta que varía de si es para exportación o consumo nacional.

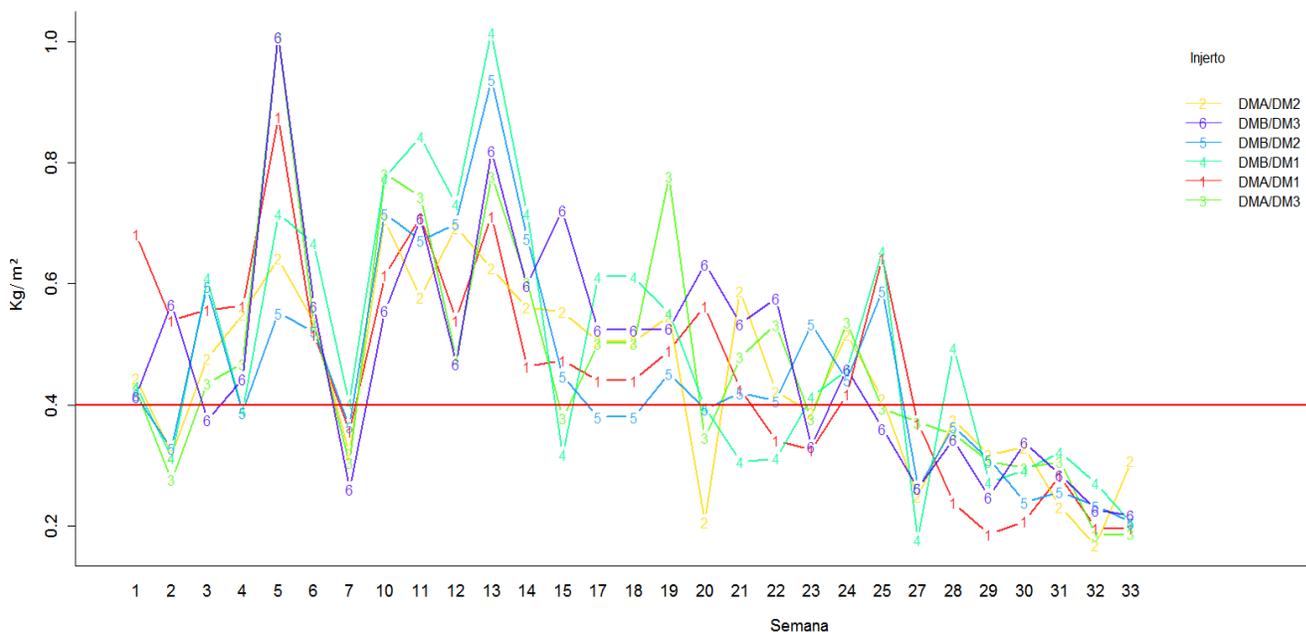


Figura 6. Kilogramos cosechados de tomate grape por metro cuadrado por semana.

**Nota:** la línea roja horizontal en 0,4kg/m<sup>2</sup> indica el mínimo de producción requerido por semana. Semanas 8, 9, 16 y 26 no se evaluaron.

Tabla 7

*Promedio de peso cosechado de dos cultivares de tomate tipo grape DMA y DMB en combinación con tres portainjertos durante 29 semanas de evaluación*

Injerto	gramos cosechado por metro cuadrado por semana																																Promedio general
	1	2	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	30	31	32	33				
DMA/DM1	358	685	519	563	586	897	526	367	614	710	540	712	463	473	440	480	563	426	328	314	412	642	370	234	186	208	282	187	168	457			
DMA/DM3	506	429	279	448	475	1019	544	317	782	744	476	778	602	378	502	778	346	479	533	369	527	394	364	350	259	296	306	173	187	470			
DMA/DM2	337	445	319	482	551	645	546	324	706	578	693	626	561	533	505	546	206	588	423	384	513	410	249	375	318	330	232	160	295	444			
DMB/DM1	286	439	284	627	402	731	682	414	775	844	732	1016	716	315	612	512	390	297	269	394	447	644	167	472	264	292	312	252	186	475			
DMB/DM3	381	425	496	379	450	1097	579	267	556	708	468	820	598	719	523	507	616	534	572	331	441	361	261	337	235	338	276	215	203	472			
DMB/DM2	466	422	332	607	396	566	535	379	715	672	699	938	675	440	380	438	371	420	396	522	430	572	255	346	291	238	252	215	170	453			

Tabla 8

*Estimación de ingresos de los cultivares de tomate tipo grape DMA y DMB en combinación con tres portainjertos durante 30 semanas de cosecha*

Injerto	Promedio semanal kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	cajas/ha	Ingreso semanal	Ingreso durante 30 semanas
DMA/DM1	0,455	4550	501	₡ 4.550.000,00	₡ 136.500.000,00
DMA/DM3	0,466	4660	513	₡ 4.660.000,00	₡ 139.800.000,00
DMA/DM2	0,441	4410	486	₡ 4.410.000,00	₡ 132.300.000,00
DMB/DM1	0,473	4730	521	₡ 4.730.000,00	₡ 141.900.000,00
DMB/DM3	0,472	4720	520	₡ 4.720.000,00	₡ 141.600.000,00
DMB/DM2	0,455	4550	501	₡ 4.550.000,00	₡ 136.500.000,00

**Nota:** el peso de una caja de tomate tipo grape para exportación es de 20 libras (0,454 kg equivalente a una libra). El precio de venta del tomate utilizado fue de mil colones por kilogramo de tomate.

## Ensayo 2

Respecto al ensayo con diferentes densidades de siembra con el injerto DMA en combinación con portainjerto DM1 (Figura 7 y tabla 9), se observó que el tratamiento de 4,5 ejes/m<sup>2</sup> fue el de mayor desempeño en el peso cosechado, cantidad de frutos cosechados, frutos eje, largo de hoja y grosor de eje. La densidad de 4,5 ejes/m<sup>2</sup> genera mayor producción por metro cuadrado y por ende aumenta los ingresos (tabla 10).

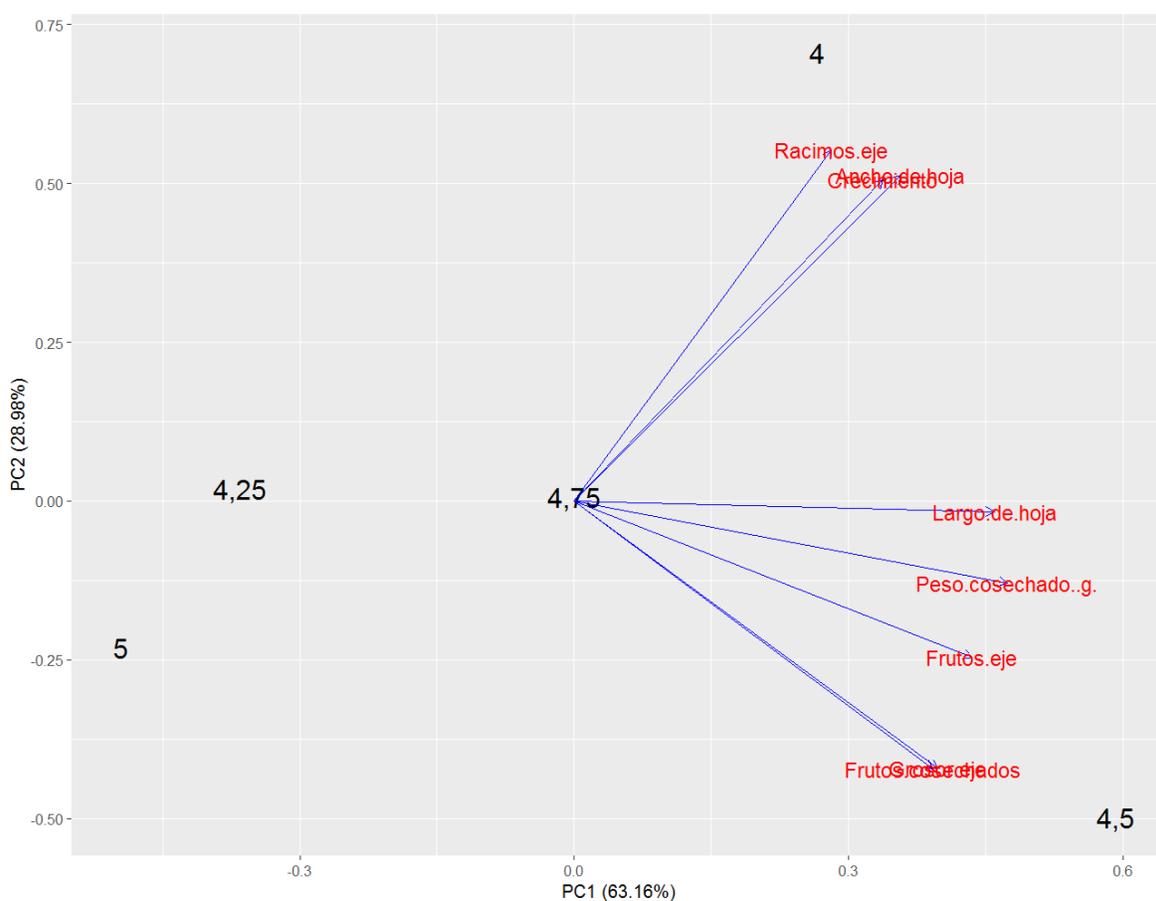


Figura 7. Análisis de los componentes principales de la evaluación del cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1 con cinco diferentes densidades de siembra durante 15 semanas de cosecha.

Tabla 9

*Evaluación del Cultivar DMA en combinación con el portainjerto DMI con diferentes densidades de siembra durante 15 semanas de cosecha acumuladas.*

Ejes/m <sup>2</sup>	Peso cosechado g	Frutos cosechados	Crecimiento cm	Frutos eje	Racimos eje	Ancho de hoja cm	Largo de hoja cm	Grosor eje mm
4	1001,9 ab	110,8 ab	551,6 a	1119 b	142,1 a	261 a	840,5 ab	119,5 a
4,25	900,2 b	111,4 ab	540,9 a	1087 b	116,9 c	245 a	805,7 b	118,5 a
4,5	1101 ab	130,1 ab	543,3 a	1231 a	123 b	251 a	853,2 a	124,5 a
4,75	926,2 ab	111,8 ab	545 a	1175 ab	116,2 c	249 a	842,4 ab	119,5 a
5	896,6 b	108,4 b	533,4 a	1056 b	114,5 c	240 a	813,8 b	119,3 a

**Nota:** el peso y frutos cosechados se evaluaron durante ocho semanas, el ancho de la hoja durante nueve semanas y el resto de variables durante quince semanas.

Tabla 10

*Estimación de cosecha e ingresos del cultivar DMA en combinación con el portainjerto DMI con cinco densidades de siembra durante 30 semanas de cosecha.*

Ejes/m <sup>2</sup>	Promedio kg /m <sup>2</sup>	Kg/ha	Cajas/ha	Ingresos semanales	Ingresos durante 25 semanas
4	0,5	5000	114	₡ 5.000.000,00	₡ 125.000.000,00
4,25	0,48	4800	109	₡ 4.800.000,00	₡ 120.000.000,00
4,5	0,61	6100	138	₡ 6.100.000,00	₡ 152.500.000,00
4,75	0,55	5500	125	₡ 5.500.000,00	₡ 137.500.000,00
5	0,56	5600	127	₡ 5.600.000,00	₡ 140.000.000,00

**Nota:** el precio de venta utilizado fue de mil colones por kilogramo de tomate.

### Ensayo 3

El ensayo con diferentes marcas de sustrato (figura 8 y tabla 11) evidencia que con la marca Forteco el injerto DMA/DM1 tuvo mayor crecimiento y menor cantidad de frutos cosechados. La marca Projar tuvo mayor desempeño en términos numéricos en todas las variables morfológicas, excepto el crecimiento. Por otro lado, la marca Riococo y Projar tuvieron mayor peso cosechado y número de frutos cosechados. Aunque numéricamente hubo diferencias, estadísticamente solo hubo diferencias en el número de frutos cosechados y el crecimiento.

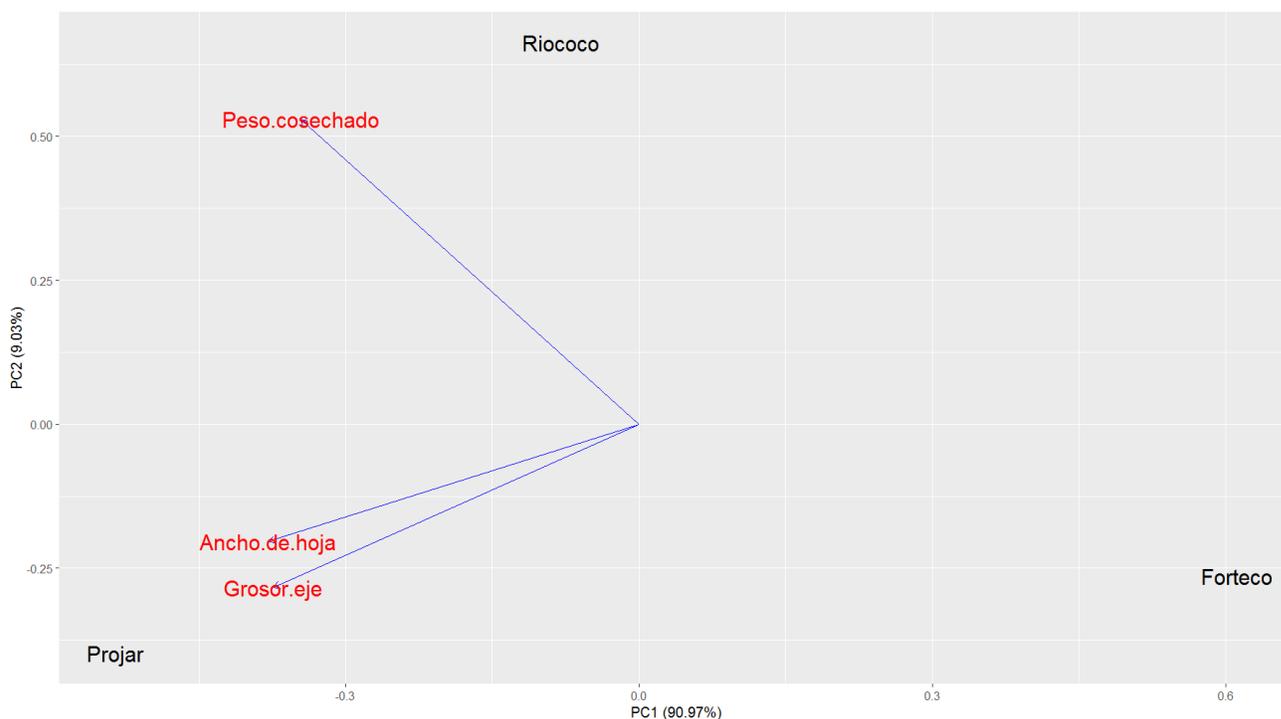


Figura 8. Análisis de los componentes principales de la evaluación del cultivar DMA en combinación del portainjerto DM1 cultivado con tres marcas de grow bags durante 21 semanas de cosecha

Tabla 11

*Evaluación del cultivar DMA en combinación con el portainjerto DMI cultivado con tres diferentes marcas de grow bags durante 21 semanas de cosecha acumuladas.*

<b>Marca grow bag</b>	<b>Peso cosechado g</b>	<b>Frutos cosechados</b>	<b>Crecimiento cm</b>	<b>Frutos eje</b>	<b>Racimos eje</b>	<b>Ancho de hoja cm</b>	<b>Largo de hoja cm</b>	<b>Grosor eje mm</b>
Riococo	2015 a	281,1 a	664,2 ab	1132 a	142 a	543 a	702 a	149,6 a
Projar	2008 a	274,9 ab	661,5 b	1219 a	145 a	549 a	712 a	158,6 a
Forteco	1865 a	255,1 b	681,1 a	1152 a	141 a	538 a	715 a	143,7 a

**Nota:** todas las variables morfológicas se evaluaron durante 20 semanas. El peso y frutos cosechados durante 21 semanas.

## Clima

El clima en volcán de Buenos Aires presentó días con radiación acumulada diaria entre 10 y 21 MJ/m<sup>2</sup>, temperaturas diurnas entre 25 y 32 °C y nocturnas entre los 18 y 21 °C. La humedad relativa se mantuvo entre 70 y 95 % (figura 9). Estos datos climáticos generaron una acumulación de 2524 grados día durante 27 semanas de cosecha y un déficit de presión de vapor entre 0,45 y 1,4 kPa durante la evaluación.

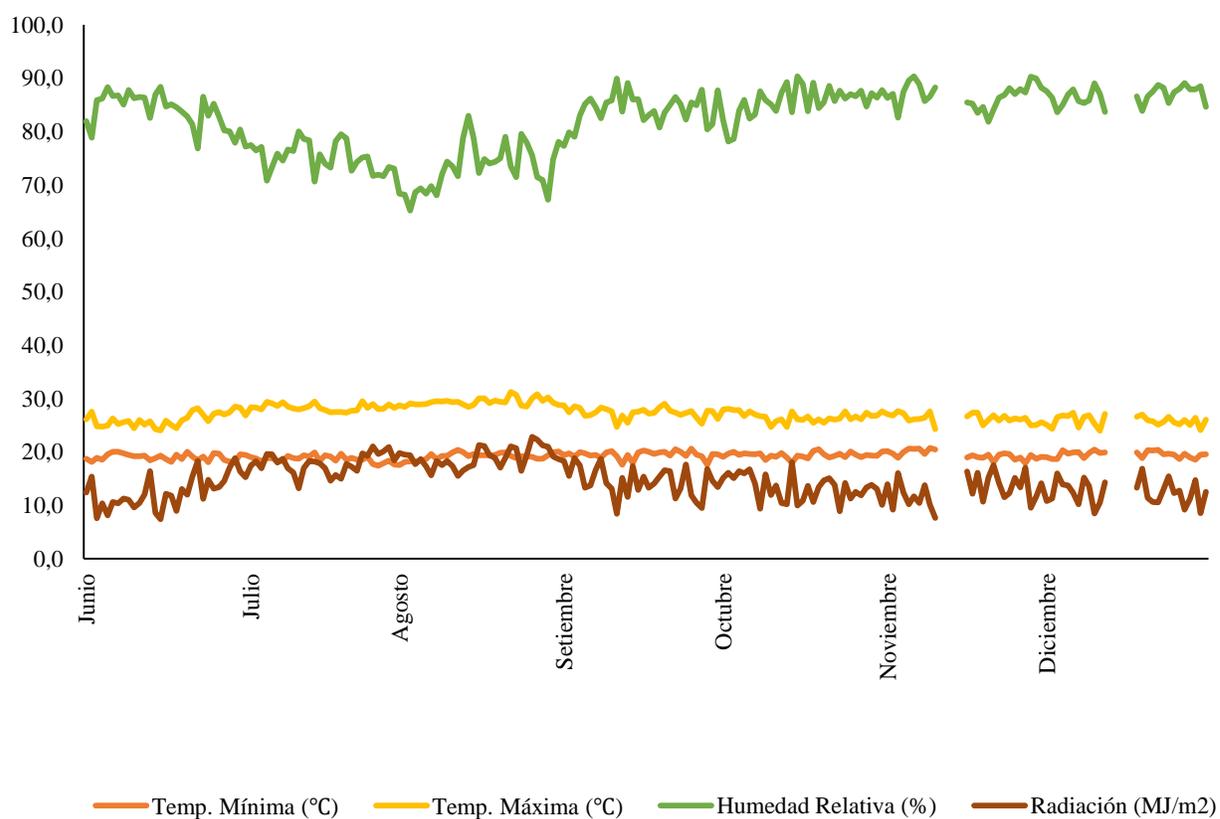


Figura 9. Clima de Volcán de Buenos Aires durante la evaluación de los ensayos.

### Conocimientos y destrezas adquiridos durante la pasantía

Se adquirió experiencia sobre todas las labores semanales para el manejo del cultivo de tomate tipo grape; entre ellas: el entutorado, descuelgue, densidades de siembra, control de insectos y enfermedades con manejo convencional y biológico. Además, se aprendió sobre el manejo de otros cultivos como chile dulce tipo bell, pepino, hortalizas de hoja y vainilla bajo invernadero. Se aprendió sobre el uso y frecuencia de inoculación de microorganismos antagonistas y bioestimulantes y su uso en sistemas con fertirriego y sustrato de fibra de coco. Durante la pasantía se aprendió sobre los componentes del rendimiento y su evaluación en estos cultivos. Durante su evaluación se aumentó la experiencia en el uso del programa estadístico Rstudio.

Dentro de las experiencias que han enriquecido mi conocimiento durante la pasantía, se destaca la formulación de soluciones nutritivas para el cual se me capacitó con un curso básico impartido por el PhD. Freddy Soto de la Universidad de Costa Rica en la estación experimental Fabio Baudrit. Complementario a la formulación de soluciones nutritivas para fertirriego se aprendió en los invernaderos sobre el manejo y frecuencia del fertirriego basado en la radiación acumulada en  $J/cm^2$ , y para los ajustes del volumen y frecuencia de riegos basados en la electroconductividad, ppm, pH y volumen de lo lixiviado.

Se aprendió sobre la implementación de  $CO_2$  a cultivos bajo invernadero y su diseño utilizado para esta técnica en el trópico, además de algunos criterios técnicos para la implementación de esta práctica en diferentes cultivos, impartida por especialistas de la empresa Praxair, en los invernaderos de Del Monte.

Se recibió un curso introductorio respecto a automatización de procesos por medio de Arduinos en el Colegio de Ingenieros Agrónomos, en el cual se conoció sobre esta tecnología y aspectos básicos para iniciar el proceso de construcción y programación de estos dispositivos.

## V. DISCUSIÓN

### Ensayo 1

En el ensayo de evaluación de cinco cultivares en combinación con tres portainjertos, DMB tuvo mayor desempeño en la mayoría de variables evaluadas. Sin embargo, DMA produjo frutos con mayor °Brix, lo cual es la característica más importante para la empresa, ya que el mercado destino de la producción es muy exigente con este criterio y entre mayor sea la acumulación de azúcares en el fruto, esto favorece para su comercialización en el extranjero. Otro criterio muy importante, fue el porcentaje de descarte de los frutos cosechados y DMA fue el que produjo la menor cantidad de frutos no comerciables; por lo tanto esto generó un mayor aprovechamiento de la cosecha. Otra variable que DMA tuvo mayor desempeño, fue el grosor del eje. Este criterio tuvo relevancia debido a que la alta densidad de plantas genera pérdidas de ejes por quebraduras durante el descolgado y este cultivar fue el que logró mantener mayor cantidad de ejes durante la cosecha.

En el rendimiento no se encontraron diferencias estadísticas; sin embargo, una de las características que generó que DMB produjera mayor número de frutos, fue que el racimo de este cultivar es compuesto. Esto, además genera que el tamaño de sus frutos sea menor en comparación con DMA, que produce racimos simples y por lo tanto, menor número de frutos por racimo; pero estos son de mayor tamaño. Este aspecto es importante considerarlo debido a que si se comercializara el tomate tipo grape, en racimo, su forma tendría mayor relevancia. Por lo general, el tipo de racimo para esta modalidad de venta es con racimos simples que tienen mejor presentación para el consumidor y facilidad de almacenaje y transporte.

El rendimiento obtenido entre 6,1 a 6,6 kg/planta (0,44 a 0,47 kg/eje/semana), en 7 semanas de evaluación, fue similar al reportado por Maynard (2003) de 5,3 a 7,5 kg/planta en una evaluación de 5 cultivares de tomate tipo grape, durante 7 semanas de cosecha en el Norte de Indiana en Estados Unidos. El rendimiento obtenido de 10,7 kg/m<sup>2</sup> durante 20 semanas de cosecha, con el cultivar DMB, en Volcán de Buenos Aires, fue superior al rendimiento obtenido por Rodríguez (2015) de 7,75kg/m<sup>2</sup> con este mismo cultivar, pero sin injertar, durante 20 semanas de evaluación en Querétaro, México. La producción de tomate tipo grape, con los cultivares DMA y DMB, independientemente del portainjerto utilizado,

evidencia que bajo el manejo agronómico y las condiciones climáticas de Volcán de Buenos Aires, es rentable para la empresa producir solo durante 25 semanas, debido a que después de la semana 25 el rendimiento decrece considerablemente por debajo del mínimo requerido de 0,4kgm/m<sup>2</sup>. La empresa ocupa producir por arriba del mínimo requerido durante mínimo 30 semanas, para cumplir con las expectativas económicas. Por lo tanto, la meta para la próxima siembra es lograr extender la cosecha a 30 semanas, por arriba del mínimo de producción requerido.

Una de las experiencias de este ensayo es que no hubo diferencias estadísticas entre los portainjertos con el mismo cultivar; esto le permite a la empresa poder utilizar cualquiera de estos y tener una mejor defensa en caso de futuras enfermedades de suelo. Aunque las diferencias de rendimiento por metro cuadrado son mínimas entre los injertos con el cultivar DMB y DMA; cuando se estiman sus ingresos de una hectárea de cultivo, se observa que hay diferencias de hasta 9 millones de colones por ciclo de cultivo. Esto tendría un gran impacto en la empresa, pues podría invertir en más personal de trabajo para lograr cumplir con las labores semanales del cultivo; debido a que este tipo de tomate es muy demandante en mano de obra, o invertir en equipo o insumos para lograr aumentar el desempeño de las plantas.

Se sabe que existe una alta correlación entre dulzura y contenido de sólidos solubles, pH y azúcares. En una evaluación desarrollada en España con 28 genotipos de tomate, se obtuvieron datos de contenido de sólidos solubles entre 3,9 y 13 °Brix (Fernández et al., 2004). En un ensayo en Estados Unidos, estos valores estuvieron entre 6 y 6,3 °Brix para cuatro variedades de tomate tipo grape (Pillsbury, Maynard, y Hayes, 2004). En Volcán de Buenos Aires se logró producir frutos de tomate tipo grape con °Brix entre 7 y 11 muy superiores a los reportados por Pillsbury, Maynard, y Hayes (2004); esto demuestra que las prácticas de manejo, cultivares, portainjertos y las condiciones climáticas de la zona permiten alcanzar una gran acumulación de azúcares solubles.

El °Brix del fruto y el porcentaje de descarte son los dos criterios más importantes, debido a que el tomate tipo grape, al comercializarse como una especialidad, debe tener la mayor acumulación de azúcares solubles y mantenerse dentro del rango aceptable del largo del fruto. Según Cornish (1992), Cuartero y Fernández (1999), para lograr aumentar los °Brix en frutos de tomate, una práctica que se realiza es utilizar una solución nutritiva con una alta

electroconductividad entre 3-4 dS/cm<sup>3</sup> para generar que la planta produzca frutos con mayor concentración de azúcares, pero esto a su vez produce frutos de menor tamaño. Por lo tanto, el porcentaje de descarte podría aumentar, si se aumenta la concentración de la solución nutritiva. Se podría pensar en prácticas de manejo como la poda de frutos no deseados, que podría reducir el porcentaje de descarte y aumentar el tamaño del resto de frutos; pero esta práctica agronómica aumentaría los costos de producción y por lo tanto no es viable para la empresa.

Otra forma de evaluar el tiempo es pasando de usar el tiempo cronológico (días) al tiempo fisiológico, pues el tiempo cronológico se ve influenciado por todas las variables ambientales, mientras que el tiempo fisiológico expresado en grados día (GD), es determinado únicamente por la temperatura, ya que esta variable controla la velocidad de las reacciones bioquímicas (Méndez, 2015). El clima de volcán de Buenos Aires presenta alta temperatura diurna y nocturna y esto repercute directamente en una mayor acumulación de grados día, lo que influye en un mayor crecimiento de las plantas y por ende su ciclo de producción se ve reducido a las 25 semanas de cosecha en comparación con zonas de clima más frío que logran producir durante 35 semanas por arriba del mínimo de producción de 0,4kg/m<sup>2</sup> requerido por la empresa. Por ejemplo, en Polonia, Grunert, Perneel, y Vandaele (2008) obtuvieron un rendimiento de 45kg/m<sup>2</sup> de tomate tipo grape durante 40 semanas de cosecha.

La primera respuesta de las plantas de tomate al impacto del estrés por temperatura alta, se traduce en una reducción en la duración de todas las etapas de desarrollo, además de disminuir el desarrollo radicular, abortos florales, caída de frutos y finalmente disminuir el rendimiento (Florido y Álvarez, 2015). El déficit de presión de vapor (DPV) es usado para evaluar qué tan seco se encuentra el aire en un momento dado. Si el aire es muy seco, la fotosíntesis es detenida para proteger a la planta del agotamiento por transpiración y si es muy húmedo se favorece la aparición de enfermedades. El DPV mide la presión ejercida (kPa) por el vapor de agua en el aire y lo compara con el punto de saturación teórico del aire. El déficit es la diferencia entre la presión de vapor actual y el valor de presión de vapor saturado. El déficit de presión de vapor recomendado para la etapa vegetativa es de 0,85 kPa, para etapa de floración de 1,32 kPa, un DPV de 1,82 indica un ligero estrés en la planta y

por arriba de 2 kPa las plantas se encuentran bajo mucho estrés (Connor, 2018). En Buenos Aires de Puntarenas el rango de la temperatura diurna fue de 28 a 32 °C y la humedad relativa entre 70 y 95 %. Se genera un DPV entre 0,45 y 1,4 kPa, lo que indica que las plantas no experimentaron estrés por exceso de transpiración, pero los días más húmedos se dan las condiciones propicias ( $DPV < 0,60 \text{ kPa}$ ) para la aparición de enfermedades.

Entre otros factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, el DPV interviene en la polinización. En el cultivo de tomate, valores inferiores a 0,2 kPa, el polen no es capaz de desprenderse de las anteras de las flores y cuando éste es superior a 1 kPa, no logra adherirse al estigma de la flor (Grange y Hand, 1987). Durante el transcurso de la cosecha se observó baja polinización de flores; por lo tanto, se hicieron cambios en las prácticas para incentivar la polinización. Lo normal es realizar golpes a los tutores de cada planta, dos veces al día (8:30 am y 1 pm) y tener colmenas de abejorros dentro del invernadero. Además, se complementó esta labor con corrientes de aire generadas por una motobomba, después de los golpes a los tutores, para incentivar la polinización y aumentar el rendimiento.

La radiación solar se puede considerar el factor ambiental más importante en los cultivos bajo invernadero, pues influye en procesos relacionados con la fotosíntesis, los balances de agua y energía, el crecimiento y desarrollo del cultivo. Por tal motivo, el manejo de la radiación solar en la producción bajo invernadero es sin duda una de las actividades más importantes en la horticultura protegida. Dicha importancia se sustenta en la relación directa que existe entre la producción de materia seca y rendimiento con la cantidad de radiación interceptada por el cultivo. Una radiación acumulada deficiente para el cultivo de tomate bajo invernadero es menor a 7 MJ/m<sup>2</sup>/día, una radiación limitada entre 8 y 14 MJ/m<sup>2</sup>/día, una radiación óptima entre 15 y 22 MJ/m<sup>2</sup>/día y una radiación excesiva mayor a 23 MJ/m<sup>2</sup>/día (INTAGRI, 2017b). En Buenos Aires de Puntarenas la radiación no fue un factor limitante de la producción, con una radiación acumulada entre 12 y 22 MJ/m<sup>2</sup>/día.

El aumento de la concentración ambiental de CO<sub>2</sub> en el cultivo de tomate, influye positivamente en el rendimiento y su calidad, además de aumentar variables morfológicas como el grosor del tallo, altura, peso fresco y seco de la hoja, el tallo y raíz; este efecto positivo aumenta con soluciones nutritivas más concentradas (Li, Zhou, Duang, Du y Wang,

2007). Es importante para la empresa considerar en adquirir un sistema de inyección de CO<sub>2</sub> para lograr aumentar la producción y las variables morfológicas asociadas al rendimiento, pero la inversión para este equipo es muy elevada y en la actualidad la empresa no está exportando a Estados Unidos; por lo tanto en este momento no es posible invertir en esta tecnología.

## Ensayo 2

Seleccionar la densidad de siembra adecuada para optimizar la intercepción de la luz, es una de las mejores prácticas de manejo para aumentar el rendimiento en el cultivo de tomate, porque la productividad del tomate se ve fuertemente afectada por la radiación solar total interceptada por el cultivo (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997). A menudo se observa que una mayor densidad de siembra tiene un mayor rendimiento total, pero muchos estudios también muestran que el número de flores, la cantidad de frutos y el peso de la fruta del tomate es menor cuando la densidad de siembra es demasiado alta; a su vez da como resultado un menor rendimiento por planta (Amundson, et al, 2012). Este mismo efecto se observó en el ensayo con diferentes densidades de siembra en Buenos Aires de Puntarenas, en donde se observa que utilizar el injerto DMA/DM1 la mayor densidad de 5 ejes/m<sup>2</sup> disminuye considerablemente el rendimiento y las variables morfológicas evaluadas comparadas con la densidad de 4,5 ejes/m<sup>2</sup> que tuvo el mayor rendimiento productivo y por ende genera mayores ingresos.

Rodríguez (2015), obtuvo rendimientos máximos de 12,96kg/m<sup>2</sup> de tomate tipo cherry a dos ejes. En un ensayo en el noroeste del estado de Querétaro en México, al utilizar el cultivar de tomate tipo grape DMB durante 20 semanas de cosecha con una densidad de siembra de 2,9 plantas/m<sup>2</sup>, se encontraron mayores rendimientos en las plantas podadas a un tallo (9.057 kg /m<sup>2</sup>) comparado con las plantas podadas a dos tallos (7.745 kg /m<sup>2</sup>).

El rendimiento obtenido de 10,735 kg/m<sup>2</sup> durante 20 semanas de cosecha con el cultivar DMB a una densidad de 2,37 plantas/m<sup>2</sup> en Volcán de Buenos Aires, fue superior al

rendimiento obtenido por Rodríguez (2015) de 7,745kg/m<sup>2</sup> con este mismo cultivar, pero sin injertar con una densidad de 2,9 plantas/m<sup>2</sup>.

La experiencia de esta primera siembra de tomate tipo grape, evidencia que se debe sembrar a 4,75 ejes/m<sup>2</sup>, ya que en las labores de manejo, principalmente el descolgado semanal de las plantas, provoca pérdidas de frutos y ejes por quebraduras; al final del ciclo se termina con una densidad aproximada de 4,5 ejes/m<sup>2</sup>. Otro de los aprendizajes para la empresa fue que se debe aumentar el espacio entre hileras de 1,6 m a 1,9 m y reducir un poco el espaciamiento entre plantas para mantener la misma cantidad de ejes/m<sup>2</sup> pero con diferente distanciamiento entre hileras, con el fin de permitir a los trabajadores encargados de esta labor tener más espacio para poder manipular las plantas con mayor facilidad y poder avanzar con las grúas sin botar frutos y sin lastimar las plantas.

### Ensayo 3

En Polonia, Grunert, Perneel, y Vandaele (2008), obtuvieron un rendimiento de 45kg/m<sup>2</sup> de tomate tipo grape durante 40 semanas de cosecha y no encontraron diferencias significativas en el rendimiento obtenido con tres tipos de grow bags: lana mineral, turba y coco. Por otro lado Domeño, Irigoyen y Muro (2010) encontraron diferencias significativas en el rendimiento y calidad de frutos de tomate con sustratos de fibra de coco con diferente granulometría.

El uso de la fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) como sustrato para producir tomates bajo invernadero, ha proporcionado un desarrollo aceptable de la planta y un alto rendimiento de fruto. Sin embargo, el uso de sustratos aumenta los costos de producción, por lo que el volumen y granulometría del sustrato debe optimizarse para obtener la máxima producción económica (Pires, *et al.*, 2011). Las marcas comerciales de sustrato y grow bags, comercializan sus productos, al resaltar las características que los diferencian en el mercado, por ejemplo: la calidad de las materias primas, diferencias del proceso industrial en su elaboración, agentes humectantes, cantidad de nutrientes, cantidad de microorganismos benéficos y ausencia de patógenos, entre otros. Sin embargo, estas características pueden aumentar considerablemente el precio del sustrato y no necesariamente el rendimiento.

El ensayo con diferentes marcas de grow bags evidencia que sustratos de fibra de coco con las mismas características de granulometría no afectan el rendimiento y variables morfológicas bajo el clima de Buenos Aires. Por ello, se puede utilizar grow bags de la marca Riococo o Forteco, que son las de menor de precio; también la marca Projar tuvo muy buen desempeño, pero su costo es ligeramente mayor comparado con Riococo y Forteco. Por último, la marca Forteco tuvo el menor desempeño y en las variables que se destacó (crecimiento y número de frutos cosechados) no son deseados por la empresa, debido a que se buscaban injertos que crecieran menos por semana. Respecto al número de frutos cosechados, tuvo el mayor desempeño Forteco pero el menor peso cosechado, lo que indica que los frutos fueron de menor peso y tamaño, comparados con los de Riococo y Projar que tuvieron menor número de frutos cosechados pero mayor peso cosechado.

#### *Análisis de las fortalezas, deficiencias, amenazas y oportunidades de mejora de los procesos realizados en la empresa*

Dentro de las fortalezas de las evaluaciones y la información generada durante la pasantía, esto representa un punto de partida para la producción de tomate tipo grape en los invernaderos de la empresa Del Monte; además de ser el primer estudio de tomate tipo grape bajo invernadero en Costa Rica. La información generada demuestra que bajo las condiciones de Buenos Aires de Puntarenas, el desarrollo y rendimiento de este cultivo, cumple con los requisitos productivos y de calidad de la compañía. El poder determinar los injertos con mayor desempeño productivo y descartar gran cantidad de estos, que no cumplen con los requisitos, permite a la empresa reducir su cantidad de cultivares por evaluar y poder avanzar en su proceso de selección de nuevos injertos, además de ampliar el panorama respecto a los posibles costos e ingresos de la producción. Otra de las fortalezas es poder conocer la densidad de siembra y marca de sustrato que brinde el mayor rendimiento a los injertos; esto genera un mayor aprovechamiento del área de producción, además de reducir los costos por compra de grow bags o por lo menos no incurrir en costos mayores sin obtener ventajas en el rendimiento.

Algunos aspectos deficientes en la evaluación, durante la pasantía, fue que no se evaluó la calidad postcosecha de los frutos y esto es un aspecto muy importante para la exportación de tomate tipo grape, debido al gran trayecto que deben recorrer los frutos para llegar a su mercado destino. También, hace falta realizar un análisis sensorial de los frutos de los injertos con mayor desempeño, para conocer la aceptación de los frutos por los consumidores. Otro criterio importante que falta por evaluar es el desempeño de los injertos con los cultivares DMA y DMB, durante el verano, para comparar sus rendimientos y poder conocer su desempeño productivo en las dos estaciones del año. Es importante recalcar que se encontraron muy pocas diferencias estadísticas entre los injertos con el mismo cultivar, por ende, se deben hacer los ajustes en la unidad experimental.

Dentro de las amenazas más importantes de la evaluación, se encuentra la cantidad de semanas de cosecha que se mantuvo el rendimiento por arriba del requisito mínimo de producción de  $0,450 \text{ kg/m}^2$  durante 25 semanas (la meta es lograr producir durante mínimo 30 semanas). Este requerimiento se cumplió únicamente durante 25 semanas de cosecha y por ende se deben mejorar las prácticas de manejo o evaluar otros cultivares y portainjertos en la próxima evaluación, para tratar de aumentar cinco semanas más el rendimiento por arriba del mínimo y poder cumplir con las metas económicas de la empresa. Otro aspecto importante fue un accidente con una fuga del sistema de riego en semana ocho de producción que generó un alto estrés hídrico en las plantas y esto pudo tener un efecto negativo en el desarrollo y producción de las plantas, y por ende haber afectado la evaluación de las variables de rendimiento y morfológicas.

Algunas oportunidades de mejora son aumentar la unidad experimental en las futuras evaluaciones, para aumentar las posibilidades de encontrar diferencias estadísticas en los ensayos y facilitar la etapa de análisis. Realizar los cambios en el espaciamiento entre hileras para facilitar el trabajo dentro del invernadero, para disminuir pérdidas por caída de frutos, favorecer la penetración de la radiación y aumentar el rendimiento. Por otro lado, evaluar tecnologías que pueden aumentar los rendimientos, como por ejemplo el dióxido de carbono, que puede lograr aumentar la producción y también °Brix del fruto, que son los criterios más importantes para la empresa.

## VI. CONCLUSIONES

Los °Brix del fruto fueron el criterio más importante en la selección de injertos de tomate tipo grape para exportar a Estados Unidos. Esta característica del fruto fue mayor en los injertos con el cultivar DMA; sin embargo, DMB también cumple el requisito mínimo de 8 °Brix. Tomando en cuenta todas las variables evaluadas, los injertos con DMA y DMB, independientemente del injerto, cumplen con los requisitos de rendimiento y variables morfológicas para la empresa. Los injertos con los cultivares DME, DMC y DMD, presentaron características del fruto y morfológicas no deseadas por la empresa.

La densidad de siembra de 4,5 ejes/m<sup>2</sup> con el cultivar DMA en combinación con portainjerto DM1, presentó el mayor rendimiento y desempeño de las variables morfológicas evaluadas. Sin embargo, se recomienda utilizar la densidad de siembra de 4,75 ejes/m<sup>2</sup> debido a que siempre hay quebraduras de tallos en las labores de entutorado y descolgado y por ende terminar la etapa de cosecha con una densidad de siembra aproximada a 4,5 ejes/m<sup>2</sup>.

Las marcas de grow bags evaluadas no presentaron diferencias estadísticas en el rendimiento y variables morfológicas evaluadas en el cultivar DMA en combinación con el portainjerto DM1; se recomienda utilizar la marca Riococo o Forteco (más económica) para utilizar en los invernaderos de Buenos Aires de Puntarenas.

## VII. RECOMENDACIONES

Para la evaluación de injertos de tomate tipo grape se recomienda volver a realizar la evaluación para la época de verano, debido a que las condiciones ambientales varían en la estación seca y esto podría repercutir en el desempeño de los injertos; se debe evaluar por lo menos dos años, para poder determinar el verdadero potencial de producción de injertos de tomate tipo uva. Por otro lado, se recomienda utilizar otros portainjertos para evaluar su efecto en el desempeño productivo del tomate tipo grape bajo ambiente protegido. Es importante validar la información de esta pasantía con una evaluación a nivel comercial de los injertos con mayor desempeño DMA y DMB, además de descartar los cultivares DME, DMC y DMD

Se deben realizar más cuidadosamente o mejorar la técnica de las labores de descolgado, debido a que se observó mucha pérdida de fruta posterior a esta labor. Por otro lado, se recomienda evaluar la calidad postcosecha de los frutos de los diferentes injertos de tomate tipo grape; este tema es muy importante, debido a que los frutos deben mantener su calidad en todos los aspectos durante varios días para llegar a su mercado destino.

La solución nutritiva utilizada, tiene una alta cantidad de nutrientes para lograr aumentar los °Brix del fruto, como se explicó anteriormente en la discusión. En muchas partes del mundo se utiliza la solución nutritiva con menor cantidad de nutrientes, únicamente los necesarios para lograr una buena nutrición y se logra el efecto de una alta presión osmótica con NaCl. Se recomienda evaluar esta técnica para lograr reducir considerablemente el uso de fertilizantes, sin perder la calidad de frutos con alto °Brix.

Respecto al ensayo de densidades, se recomienda aumentar la distancia entre hileras de 1,6 a 1,9 m, para permitir mayor libertad y realizar las labores de entutorado y descuelgue y permitir una mayor penetración de la radiación a la parte más baja de las plantas.

## VIII. REFERENCIAS

- Adams, S., Cockshull, K., y Cave, C. (2001). Effect of Temperature on the Growth and Development of Tomato Fruits. *Annals of Botany*, 88(5), 869–877. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1524>
- Amundson, S., Deyton, D., Kopsell, D., Hitch, W., Moore, A., y Sams, C. (2012). *HortTechnology*. (Vol. 22). American Society for Horticultural Science. Recuperado de <http://horttech.ashspublications.org/content/22/1/44.full>
- Araujo, J., Silva, P., Telhado, S., Sakai, R., Spoto, M., y Melo, P. (2014). Physico-chemical and sensory parameters of tomato cultivars grown in organic systems. *Horticultura Brasileira*, 32(2), 205–209. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200015>
- Arauz, L. (1998). *Fitopatología : un enfoque agroecológico*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Beluzán, J. (2013). Déficit de presión de vapor (DPV) y factores microclimáticos como herramientas de pronóstico de *Botrytis cinerea Pers. ex Fr.*, en *Lactuca sativa L.* bajo invernadero. Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/egb453d/doc/egb453d.pdf>
- Bieto, J., y Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, 2a. ed. McGraw-Hill Interamericana Editores, Barcelona, España
- Connor, H. (2018). How well do you understand temperature and relative humidity?. Recuperado de <http://www.hortidaily.com/article/9037462/how-well-do-you-understand-temperature-and-relative-humidity/>
- Cornish, P. (1992). Use of high electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum* ) grown in hydroponic culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 32(4), 513. <https://doi.org/10.1071/EA9920513>

- Cuartero, J., y Fernández, R. (1998). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 78(1–4), 83–125. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00191-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00191-5)
- De Oliveira, A., Fernandes, E., y Rodrigues, T. (2005). Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. *Engenharia Agrícola*, 25(1), 86–95. <http://doi.org/10.1590/S0100-69162005000100010>
- De Swaef, T., y Steppe, K. (2010). Linking stem diameter variations to sap flow, turgor and water potential in tomato. *Functional Plant Biology*, 37, 429–438. <https://doi.org/10.1071/FP09233>
- Del Monte. (2018). Guía de producción de tomate tipo grape de la empresa del Monte Especialidades.
- Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA). (2017). Classification for kingdom Plantae down to species *Solanum lycopersicum*. Recuperado de <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=SOLY2>
- Domeño, I., Irigoyen, I., y Muro, J. (2010). *New Wood Fibre Substrates Characterization and Evaluation in Hydroponic Tomato Culture*. *Europ.J.Hort.Sci* (Vol. 75). Recuperado de <https://projects.ncsu.edu/project/woodsubstrates/documents/additional/new-wood-fibre-substrates.pdf>
- EcuRed. (2016). Tomate. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Tomate>
- Fallas, L. (2013). *Evaluación del rendimiento comercial y financiero de híbridos de tomate costarricenses (Solanum lycopersicum L.) para consumo fresco en Santa Ana, San José, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2795/1/36172.pdf>
- Fernández, V., Sánchez, M. C., Cámara, M., Torija, M. E., Chaya, C., Galiana-Balaguer, L., Roselló, S. & Nuez, F. (2004). Internal quality characterization of fresh tomato fruits. *Hortscience*. 39(2): 339-345.

- Florido, M., y Álvarez, M. (2015). *Aspectos relacionados con el estrés de calor en tomate (Solanum lycopersicum L.). Cultivos Tropicales* (Vol. 36). Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362015000500008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500008)
- Gallardo, M., Thompson, A., Valdez, A., y Fernández, M. (2006). Use of stem diameter variations to detect plant water stress in tomato. *Springer*, 24, 241–255. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0025-5>
- Grange, R., y Hand, D. (1987). A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *Journal of Horticultural Science*, 62(2), 125–134. <https://doi.org/10.1080/14620316.1987.11515760>
- Grunert, O., Perneel, M., y Vandaele, S. (2008). *Peat-based organic growbags as a solution to the mineral wool waste problem* (Vol. 3). Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Oliver\\_Grunert/publication/26841985\\_Peat-based\\_organic\\_growbags\\_as\\_a\\_solution\\_to\\_the\\_mineral\\_wool\\_waste\\_problem/links/53df32ea0cf2cfac99295919/Peat-based-organic-growbags-as-a-solution-to-the-mineral-wool-waste-problem.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Oliver_Grunert/publication/26841985_Peat-based_organic_growbags_as_a_solution_to_the_mineral_wool_waste_problem/links/53df32ea0cf2cfac99295919/Peat-based-organic-growbags-as-a-solution-to-the-mineral-wool-waste-problem.pdf)
- Hughes, M., y Dunn, M. (1990). The Effect of Temperature on Plant Growth and Development. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 8(1), 161–188. <https://doi.org/10.1080/02648725.1990.10647868>
- Instituto de investigación y Formación Agraria y pesquera (IFAPA). (2008). relaciones hídricas y programación de riego en cultivos hortícolas. Recuperado de <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=es&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2->

- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2016). *Promedio mensuales de datos climáticos del distrito de Volcán de Buenos Aires*. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/solicitud-de-servicios>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2016). Manual técnico del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*). Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI). (2017a). Tipos y Especialidades de Tomate. *Serie Hortalizas Núm. 13*, 4. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/tipos-y-especialidades-de-tomate>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI). (2017b). Importancia de la radiación solar en la producción bajo invernadero. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/importancia-de-la-radiacion-solar-en-la-produccion-bajo-invernadero>
- Instituto para la Innovación tecnológica en Agricultura (INTAGRI). (2015). Ventajas del Injerto en Tomate y su Proceso Paso a Paso. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/injerto-en-tomate-y-procesos-paso-a-paso>
- Instituto internacional de recursos genéticos de plantas (IPGRI). (1996). *Descriptors for tomato (Lycopersicon sp.). International Plant Genetic Resources Institute*. Recuperado de [https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/\\_migrated/uploads/tx\\_news/Descriptors\\_for\\_tomato\\_\\_Lycopersicon\\_spp.\\_\\_286.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Descriptors_for_tomato__Lycopersicon_spp.__286.pdf)
- Josafad, S., Mendoza, M., y Borrego, F. (1998). Evaluación de Tomate (*Lycopersicum esculentum*, MILL) en Invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), 59–65. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v09n01\\_059.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v09n01_059.pdf)
- Kovanda, B., Hind, J., Stockton, M., Smith, M., Cole, W., Cefai, T., y Heins, R. (1995). Thermomorphogenic Responses in Stem and Leaf Development. *HortScience*, 30(5).

- Recuperado de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42761739/940.full.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1518399093&Signature=cy6Uj8bnjRptWV4cqsRu%2Bs0PuQQ%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DThermomorphogenic\\_responses\\_in\\_stem\\_and.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42761739/940.full.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1518399093&Signature=cy6Uj8bnjRptWV4cqsRu%2Bs0PuQQ%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DThermomorphogenic_responses_in_stem_and.pdf)
- Lamikanra, O. (2002). *Fresh-cut fruits and vegetables : science, technology, and market*. CRC Press. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=PHPLBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=tomato+frutis+quality+parameters&ots=JqWVE7AfJG&sig=\\_SgqzI7jcpXLjf9MDJdnEtwgDcM#v=onepage&q=tomato+frutis+quality+parameters&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=PHPLBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=tomato+frutis+quality+parameters&ots=JqWVE7AfJG&sig=_SgqzI7jcpXLjf9MDJdnEtwgDcM#v=onepage&q=tomato+frutis+quality+parameters&f=false)
- Langton, F., y Cockshull, K. (1997). Is stem extension determined by DIF or by absolute day and night temperatures? *Scientia Horticulturae*, 69(3-4), 229-237. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00020-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00020-4)
- Larqué, A., y Trejos, C. (1990). *El agua en las plantas. Manual de prácticas de fisiología vegetal*, Primera. ed. Trillas, México.
- León, J. (1987). *Botánica de los cultivos tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=bOMNAQAIAAJ&pg=PA167&lpg=PA167&dq=origen+del+tomate&source=bl&ots=\\_kOJMvVuER&sig=LbOwZDe2EHihyHbSXWypcB3O6D4&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj-nd28rO7YAhWG7lMKHesYCFs4ChDoAQhaMAc#v=onepage&q=origen+del+tomate&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=bOMNAQAIAAJ&pg=PA167&lpg=PA167&dq=origen+del+tomate&source=bl&ots=_kOJMvVuER&sig=LbOwZDe2EHihyHbSXWypcB3O6D4&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj-nd28rO7YAhWG7lMKHesYCFs4ChDoAQhaMAc#v=onepage&q=origen+del+tomate&f=false)
- Li, J., Zhou, J., Duan, Z., Du, C., y Wang, H. (2007). Effect of CO2 Enrichment on the Growth and Nutrient Uptake of Tomato Seedlings. *Pedosphere*, 17(3), 343-351. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(07\)60041-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(07)60041-1)
- López, L. (2008b). Programa Nacional Sectorial de Tomate. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/pronap02-situacion-chile-tomate.pdf>

- López, L. (2008a). Programa Nacional de Tomate. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/acerca\\_del\\_mag/estructura/oficinas/prog-nac-tomate.html#HERMES\\_TABS\\_1\\_1](http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/estructura/oficinas/prog-nac-tomate.html#HERMES_TABS_1_1)
- Maher, M., Prasad, M., y Raviv, M. (2008). Organic Soilless Media Components. In *Soilless Culture* (pp. 459–504). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50013-7>
- Manzocco, L., Foschia, M., Tomasi, N., Maifreni, M., Dalla Costa, L., Marino, M. y Cesco, S. (2011). Influence of hydroponic and soil cultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(8), 1373–1380. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4313>
- Marín, F. (2010). Situación general de la agricultura protegida en Costa Rica. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/pronap01-ambiente-protegido.pdf>
- Maynard, E. (2003). *Grape Tomato Cultivar Evaluation for Northern Indiana*. Recuperado de <https://ag.purdue.edu/hla/fruitveg/Documents/pdf/reports/grapetomato03final.pdf>
- McDonald, B. (2015). Hydroponics: Creating Food for Today and for Tomorrow. Recuperado de [http://scholars.indstate.edu/xmlui/bitstream/handle/10484/12105/Mcdonald\\_Beth\\_2015\\_HT.pdf?sequence=1](http://scholars.indstate.edu/xmlui/bitstream/handle/10484/12105/Mcdonald_Beth_2015_HT.pdf?sequence=1)
- Méndez, C. (2015). Edad fisiológica de los cultivos: El uso de Grados Día. Programa Nacional Sectorial de producción agrícola bajo ambiente protegido (ProNAP). Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1816.pdf>
- Méndez, C., y Marín, F. (2014). El concepto de Agricultura Protegida para el trópico latinoamericano. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/informacion/prog-nac-aprot-1-conceptoAP-Taller-Sistemas-v1.pdf>
- Molz, F., y Klepper, B. (1973). On the Mechanism of Water-Stress-Induced Stem Deformation. *Agronomy Journal*, 65(2), 304. <http://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500020035x>

- Monge, J. (2014). Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 27(4), 58–68. Recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v27n4/a07v27n4.pdf>
- Monge, J. (2015). Evaluación de 60 genotipos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *InterSedes: Revista de Las Sedes Regionales*, XVI(33), 82–122. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/666/66638602006.pdf>
- Papadopoulos, A., y Pararajasingham, S. (1997). The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A review. *Scientia Horticulturae*, 69(1–2), 1–29. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00983-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00983-1)
- Pillsbury, L., Maynard, E., y Hayes, K. (2004). *Chemical, Physical, and sensory properties of four grape tomato varieties*. Recuperado de [https://ag.purdue.edu/hla/fruitveg/Documents/pdf/reports/grapetomato\\_in\\_04.pdf](https://ag.purdue.edu/hla/fruitveg/Documents/pdf/reports/grapetomato_in_04.pdf)
- Pires, R., Furlani, P., Ribeiro, R., Bodine Junior, D., Sakai, E., Lourenção, A. L., y Torre Neto, A. (2011). Irrigation frequency and substrate volume effects in the growth and yield of tomato plants under greenhouse conditions. *Scientia Agricola*, 68(4), 400–405. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000400002>
- Rodríguez, D. (2013). *Evaluación de sustratos orgánicos alternativos en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L) en Invernadero*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado de <http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/3400/2/MPA1EVA01301.pdf>
- Rodríguez, T. (2015). Evaluación del rendimiento y calidad de tomate uva variedad Sweet Hearts bajo dos sistemas de poda en condiciones de invernadero. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/319396159\\_Evaluation\\_of\\_pruning\\_on\\_yield\\_and\\_quality\\_of\\_grape\\_tomato\\_cv\\_Sweet\\_Hearts\\_cultivated\\_under\\_greenhouse\\_condition\\_Evaluacion\\_del\\_rendimiento\\_y\\_calidad\\_de\\_tomate\\_uva\\_variedad\\_Sweet\\_Hearts\\_bajo\\_dos\\_siste](https://www.researchgate.net/publication/319396159_Evaluation_of_pruning_on_yield_and_quality_of_grape_tomato_cv_Sweet_Hearts_cultivated_under_greenhouse_condition_Evaluacion_del_rendimiento_y_calidad_de_tomate_uva_variedad_Sweet_Hearts_bajo_dos_siste)

- Sañudo, R. (2013). *El cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) Y el potencial endofítico de diferentes aislados de Beauveria bassiana*. Institución Intercultural del Estado de Sinaloa. Recuperado de <http://uaim.mx/cgip/PDF/TesisRosarioRaudelSanudo.pdf>
- Saunders, J., Coto, D., y King, A. (1998). *Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central*. CATIE.
- Schwarz, D., y Kläring, H. (2001). Allometry to estimate leaf area of tomato. *Journal of Plant Nutrition*, 248, 1291–1309. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106982>
- Suvo, T., Ahamed, M., Haque, M., Chakrobarti, M., y Biswas, H. (2017). Identification of suitable media based on hydroponic culture for production Zucchini squash. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 6(2), 1. <https://doi.org/10.3329/ijarit.v6i2.31695>
- Vargas, V. (2011). *Crecimiento y productividad del tomate (Lycopersicum esculentum Mill) bajo cultivo protegido hidropónico en tres localidades de Costa Rica*. Instituto tecnológico de Costa Rica; Universidad Nacional de Costa Rica; Universidad Estatal a Distancia. Recuperado de <http://docinade.com/wp-content/uploads/2014/10/Carlos-Ramírez-Vargas.pdf>
- Vimolmangkang, S., Sitthithaworn, W., Vannavanich, D., Keattikunpairoj, S., y Chittasupho, C. (2010). Productivity and quality of volatile oil extracted from *Mentha spicata* and *M. arvensis* var. *piperascens* grown by a hydroponic system using the deep flow technique. *Journal of Natural Medicines*, 64(1), 31–35. <https://doi.org/10.1007/s11418-009-0361-5>
- Went, K. (1953). The effect of temperature on plant growth. *Plant Physiology*. Recuperado de <http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.04.060153.002023>

## IX. ANEXOS

### Anexo 1. *Propiedades físicas y químicas de la fibra de coco*

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Valor</b>
Capacidad de aireación, %	9,8
Agua disponible, %	11,6
Agua de reserva, %	2,3
Agua residual %	64,5
Porosidad total,%	88,3
Densidad aparente, g/cc	0,17
Capacidad de retención, ml/L de sustrato	523
<b>Propiedades Químicas</b>	
pH extracto saturado	5,59
Capacidad de intercambio catiónico, meq/100g	61
Materia orgánica total	93,8
Conductividad eléctrica, dS/m	4,95
<b>Macronutrientes</b>	
Nitratos, mg/L	<2
Nitrógeno amoniacal, mg/L	1,8
Fosfatos mg/L	8,45
Potasio, mg/L	107,7
Calcio, mg/L	5,22
Magnesio, mg/L	<2
Cloruros, mg/L	178,3
Sulfatos, mg/L	35,79
Sodio, mg/L	51,6
<b>Micronutrientes</b>	
Boro, mg/L	<0,1
Manganeso, µg/L	21,68
Hierro, µg/L	0,3
Zinc, µg/L	<40
Cobre, µg/L	<40

**Nota.** Fuente: Rodríguez (2013).

## Anexo 2. Fórmula para calcular los Grados Día

Según Méndez (2015), los grados día y los grados días acumulados se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Grados día} = GD = ((T_{min} + T_{max})/2) - T_{base}$$

En donde:

$T_{min}$  = Temperatura mínima diaria (°C).

$T_{max}$  = Temperatura máxima diaria (°C).

$T_{base}$  = Temperatura base (°C), por debajo de la cual se detiene el crecimiento, para tomate se utilizó una temperatura base de 10 °C.

$$\text{Grados día acumulado} = GDA = \sum GD \ n$$

GD = grado día diario.

$\sum$  = es la sumatoria de los eventos.

$n$  = es el número de días del período evaluado (sea para una fase o todo el ciclo).

### Anexo 3. Fórmula para el cálculo del déficit de presión de vapor

Método de Penman-Monteith para el cálculo del déficit de presión de vapor (Beluzán, 2013):

$$\text{Déficit de presión de vapor (DPV)} = [\text{PVsat} - \text{PVair}]$$

$$\text{Presión de vapor de saturación (PVsat)} = 0,61078 * e^{((17,27 * T(^{\circ}\text{C})) / (237,3 + T(^{\circ}\text{C})))}$$

$$\text{Presión de vapor del aire (PVair)} = [\text{HR}/100] * \text{PVsat}$$

En donde:

$T^{\circ}$  = corresponde a la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), medida con termómetro.

HR = corresponde a la humedad relativa (%), medida con higrómetro.

Anexo 4. Cantidad de Fertilizantes para lograr la Solución Madre por etapa fenológica para el cultivo de Tomate concentrada en una relación 1:100

Fertilizante	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa Gral.
	DT a 1er cuaje	1er al 3er cuaje	3er al 5to cuaje	5to en adelante
<b>Solución A</b>				
<b>kg fertilizante / 2000 L agua</b>				
Nitrato de calcio	80	106	135	255
Nitrato de Potasio	57	92	122	59
Cloruro de Potasio	0	2,6	20	45,2
Ácido nítrico	34 L	30 L	30 L	30 L
<b>Solución B</b>				
Sulfato de potasio	1,4	22	10,4	88
Sulfato de magnesio heptahidratado	99	148	148	197
Fosfato Monopotásico	41	54,5	54,5	54,5
<b>Solución C</b>				
Cloruro de Calcio	45	43	39	0
<b>Solución D</b>				
<b>Micronutrientes</b>				
Quelato de manganeso	0,68	0,68	0,68	0,68
Quelato de zinc	0,276	0,276	0,276	0,276
Quelato de cobre	0,05	0,05	0,05	0,05
Ácido bórico	0,556	0,556	0,556	0,556
Auge de molibdeno	3	3	3	3
Quelato de hierro	2	2	2	2
<b>pH solución final</b>	5,8	6	6	6
<b>EC solución final</b>	1,4	2	2,4	3

**Nota.** La solución madre se hará por semana en tanques de 2000L a una concentración 1:100. Fuente: Del Monte (2018).