



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: “EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y
FUENTES DE BORO, PARA LA GERMINACIÓN *in vitro* DE POLEN EN
FRUTILLA (*Fragaria × ananassa*) VARIEDAD FESTIVAL”**

AUTOR: VILLARREAL GANCINO, VALERIA CAROLINA

DIRECTOR: ING. LANDÁZURI ABARCA, PABLO ANÍBAL

SANGOLQUÍ

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y FUENTES DE BORO, PARA LA GERMINACIÓN in vitro DE POLEN EN FRUTILLA (Fragaria x ananassa) VARIEDAD FESTIVAL”*** fue realizado por la señorita ***Villarreal Gancino, Valeria Carolina*** el mismo ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de Marzo del 2018

Ing. Pablo Aníbal Landázuri Abarca

C.C. 170826234-8



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Villarreal Gancino, Valeria Carolina*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Evaluación de las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación in vitro de polen en frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Sangolquí, 15 de Marzo del 2018

Valeria Carolina Villarreal Gancino

C.C. 1722276530

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

*Yo, Villarreal Gancino, Valeria Carolina autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación de las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación in vitro de polen en frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival** en el repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad*

Sangolquí, 15 de Marzo del 2018



Valeria Carolina Villarreal Gancino

C.C. 1722276530

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico especialmente a mi mami Yoly que siempre ha estado para mí en los momentos más difíciles apoyándome y alentándome para salir adelante, a mi tío Mario que ha sido como un hermano que me ha brindado su apoyo y ayuda en los momentos más adversos.

Valeria Villarreal

AGRADECIMIENTO

A mi mami por ser mi apoyo en los momentos más duros que he tenido que pasar, sin ella no habría llegado hasta donde estoy, sus palabras de aliento me han servido mucho para alcanzar todos mis sueños y ahora esta meta que me ha costado mucho esfuerzo y lágrimas, sin embargo ella siempre ha estado ahí sacándome adelante y agradezco a Dios por tener la mamá más linda del mundo, te amo mamita, esto es por ti.

A los pocos amigos que pude tener en el IASA, Gaby Hinojosa, Bryan Játiva “Benito”, Andrés Alvear “gordo”, Carlitos Páramo, que me acompañaron en los momentos más duros que tuve que vivir en mi etapa universitaria brindándome su amistad, sus abrazos incondicionales, sus buenos consejos y sus conocimientos para que no me rinda y continúe en la lucha de convertirme en Ingeniera Agropecuaria.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, quien me dio la oportunidad de formarme como profesional, recorrer sus instalaciones y aprender de cada docente que reside en ella.

Y en especial mi tutor y director Ing. Pablito Landázuri, quien me guio con su entrega, compromiso y paciencia para que este trabajo culmine y sea posible.

ÍNDICE DE CONTENIDOS**CARÁTULA****CERTIFICACIÓN DEL DIRECTORi****AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....ii****AUTORIZACIÓN.....iii****DEDICATORIA.....iv****AGRADECIMIENTO.....v****ÍNDICE DE CONTENIDOS.....vi****ÍNDICE DE TABLAS.....xiv****ÍNDICE DE FIGURAS.....xvi****RESUMEN.....xvii****ABSTRACT.....xviii****CAPÍTULO I****INTRODUCCIÓN**

1.1 Antecedentes.....1

1.2 Justificación.....3

1.3 Planteamiento del problema.....4

1.4 El problema.....5

1.5 Los efectos.....5

1.6	Las causas.....	5
1.7	Objetivos.....	6
1.7.1	Objetivo general.....	6
1.7.2	Objetivos específicos.....	6
1.8	Hipótesis	6

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	Cultivo de frutilla en Ecuador.....	7
2.2	Producción en Ecuador.....	7
2.3	Comercialización de frutilla en Ecuador.....	8
2.4	Frutilla.....	8
2.4.1	Origen de la frutilla.....	8
2.4.2	Clasificación taxonómica de la frutilla.....	9
2.4.3	Organografía.....	9
2.4.3.1	Raíces.....	9
2.4.3.2	Tallo.....	9
2.4.3.3	Hojas.....	10

2.4.3.4	Flores.....	10
2.4.3.5	Fruto.....	10
2.4.4	Variedad festival.....	11
2.4.5	Polen.....	11
2.4.5.1	Características.....	11
2.4.5.2	Estructura.....	11
2.4.5.3	Formación del polen.....	13
2.4.5.4	Grado de unión de los granos de polen.....	14
2.4.5.5	Intervención del polen en la formación y amarre de frutos.....	15
2.4.5.5.1	Amarre y formación de frutos.....	15
2.4.5.6	Condiciones climáticas que afectan al polen y fructificación.....	16
2.4.5.6.1	Temperatura.....	16
2.4.5.6.2	Luminosidad.....	17
2.4.5.6.3	Humedad relativa.....	17
2.4.5.6.4	Radiación UV.....	18
2.4.6	Boro.....	20
2.4.6.1	Boro y sus funciones en la planta.....	20
2.4.6.2	Disponibilidad de boro en el suelo.....	20

2.4.6.3	Fuentes de boro.....	21
2.4.6.3.1	Ácido bórico.....	21
2.4.6.3.2	Borón.....	21
2.4.6.3.3	Quelato de boro (Fertiquel boro).....	22

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Ubicación del lugar de investigación.....	23
3.1.1	Ubicación política.....	23
3.1.2	Ubicación geográfica.....	23
3.1.3	Ubicación ecológica.....	23
3.1.4	Condiciones de laboratorio.....	23
3.2	Materiales.....	23
3.3	Métodos.....	24
3.3.1	Determinación de la etapa fenológica de la floración de la planta de frutilla (<i>Fragaria × ananassa</i>) variedad festival que contiene mayor concentración de polen.....	24
3.3.1.1	Recolección de flores de acuerdo a sus etapas fenológicas.....	24
3.3.1.2	Extracción de polen de la flor de frutilla (<i>Fragaria × ananassa</i>) variedad festival.....	24

3.3.2	Diseño experimental.....	25
3.3.2.1	Factores evaluados.....	25
3.3.2.2	Tratamientos evaluados.....	26
3.3.2.3	Tipo de diseño.....	26
3.3.2.4	Repeticiones.....	26
3.3.2.5	Características de las unidades experimentales.....	26
3.3.2.6	Croquis del diseño experimental.....	26
3.3.3	Análisis estadístico.....	27
3.3.3.1	Esquema del análisis de la varianza.....	27
3.3.3.2	Modelo matemático.....	27
3.3.3.3	Coefficiente de variación.....	27
3.3.3.4	Análisis funcional.....	28
3.3.4	Variables.....	28
3.3.4.1	Concentración de polen de acuerdo la etapa fenológica de la planta de frutilla (<i>Fragaria × ananassa</i>) variedad festival en el estadio de floración.....	28
3.3.5	Evaluación de tres fuentes de boro (ácido bórico, Borón y quelato de boro) en diferentes dosis (0, 100 y 200 mg.L ⁻¹) a las 2 y 4 horas de germinación de	

	polen de frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival para determinar la fuente y dosis óptima.....	28
3.3.5.1	Diseño experimental.....	28
3.3.5.2	Factores evaluados.....	28
3.3.5.3	Tratamientos evaluados.....	29
3.3.5.4	Tipo de diseño.....	30
3.3.5.5	Repeticiones.....	30
3.3.5.6	Características de las unidades experimentales.....	30
3.3.5.7	Croquis del diseño experimental.....	31
3.3.6	Análisis estadístico.....	31
3.3.6.1	Esquema del análisis de varianza.....	31
3.3.6.2	Modelo matemático.....	32
3.3.6.3	Coefficiente de variación.....	32
3.3.6.4	Análisis funcional.....	33
3.3.7	Variables medidas.....	33
3.3.7.1	Humedad relativa.....	33

3.3.7.2	Temperatura.....	33
3.3.7.3	Luminosidad.....	33
3.3.7.4	Radiación UV.....	33
3.3.7.5	Porcentaje de germinación de polen.....	34
3.3.7.6	Diámetro del polen.....	34
3.3.7.7	Largo del tubo polínico.....	34
3.3.8	Métodos específicos de manejo del experimento.....	35
3.3.8.1	Preparación de los medios de cultivo.....	35
3.3.8.2	Siembra.....	35
3.3.8.3	Labores culturales.....	35
3.3.8.3.1	Riego.....	35
3.3.8.3.2	Solución nutritiva.....	36
3.3.8.3.3	Deshierba.....	37

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Evaluación de la etapa fenológica de la floración de la planta de frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival de mayor concentración de polen.....	38
4.2	Evaluación de tres fuentes de boro (ácido bórico, Borón y quelato de boro) en diferentes dosis (0, 100 y 200 mg.L ⁻¹) y tres horas de recolección de polen sobre la germinación <i>in vitro</i> de polen, crecimiento del tubo polínico y diámetro del polen de frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival a las 2 y 4 horas de incubación para determinar la fuente y dosis óptima.....	40
4.3	Evaluación de las condiciones climáticas en tres tiempos de recolección de polen de frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival para determinar el mayor porcentaje de germinación de los granos de polen	49

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	52
5.2	Recomendaciones.....	53
5.3	Bibliografía.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Estadios fenológicos de la planta de frutilla en el estadio 6: Floración (Meier, 2001).</i>	25
Tabla 2	<i>Simbología de las etapas fenológicas de la frutilla (Fragaria × ananassa) en el estadio de floración (E).</i>	25
Tabla 3	<i>Análisis de la varianza para determinar la etapa fenológica de la planta de frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival en el estadio de floración que contiene mayor concentración de polen</i>	27
Tabla 4	<i>Simbología del Fertilizante (F)</i>	29
Tabla 5	<i>Simbología de la dosis boro (D)</i>	29
Tabla 6	<i>Simbología del tiempo de recolección de las flores de frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival (T)</i>	29
Tabla 7	<i>Tratamientos a probarse para la germinación del polen in vitro con tres fuentes de boro en frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival</i>	30
Tabla 8	<i>Análisis de la varianza para determinar la dosis más óptima de los fertilizantes para la germinación del polen de frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival</i>	31
Tabla 9	<i>Macronutrientes (mg.L⁻¹) de la solución nutritiva del cultivo de frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival</i>	36
Tabla 10	<i>Micronutrientes (mg.L⁻¹) del cultivo de frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival</i>	36
Tabla 11	<i>Análisis de varianza (ANAVA) de la concentración de polen.mL⁻¹ en los estadios de floración de frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival.</i>	38

Tabla 12 <i>Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de tres fuentes de boro (Borón, ácido bórico y quelato de boro), tres tipos dosis (mg.L^{-1}) de boro y tres horas de recolección de polen sobre germinación (%), largo del tubo polínico (μm).</i>	42
Tabla 13 <i>Porcentaje de germinación y longitud del tubo polínico más sobresalientes y viceversa bajo el efecto del fertilizante, dosis y hora de recolección de polen de frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival</i>	43
Tabla 14 <i>Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de tres formas químicas del boro (Borón, ácido bórico y quelato de boro), tres tipos concentración (mg.L^{-1}) de boro y tres horas de recolección de polen sobre el diámetro del polen (μm).</i>	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Grano de polen visto con el microscopio electrónico de barrido	12
Figura 2	Estructura del polen	12
Figura 3	Proceso de formación de polen.....	13
Figura 4	Polaridad y distintos grados de agrupación del polen	14
Figura 5	Croquis del diseño experimental de la concentración de polen de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo de frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival en el estadio de floración.	26
Figura 6	Croquis del diseño experimental de la germinación de polen in vitro con tres fuentes de boro en frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival.	31
Figura 7	Concentración de polen.mL ⁻¹ en la etapa fenológica de floración del cultivo de frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival.....	39
Figura 8	Diámetro del polen bajo el efecto del fertilizante, dosis y hora de recolección de polen de frutilla (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival.....	45
Figura 9	Relación de las condiciones climáticas (Temperatura °C, Humedad Relativa %, Radiación UV μmol y luz PAR umol.m ⁻² s ⁻¹) con el porcentaje de germinación de (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>) variedad festival. a) Temperatura vs Germinación, b) Humedad relativa vs Germinación, c) Radiación UV vs Germinación, d) Luz PAR vs Germinación.....	51

RESUMEN

Este estudio se realizó en la carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA 1; constó de dos fases, en la primera se determinó la concentración de polen de acuerdo a la etapa fenológica de floración, el diseño experimental que se empleó fue un DCA (Diseño completamente al azar) con tres repeticiones. En la segunda fase se evaluó las condiciones climáticas y fuentes de boro para la germinación *in vitro* en frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival, el diseño experimental que se usó fue un DCA (Diseño completamente al azar) Trifactorial con tres repeticiones. Las condiciones climáticas dentro del invernado se registraron usando sensores de temperatura, humedad relativa, luz PAR y radiación UV. Las fuentes de boro fueron Borón, ácido bórico y quelato de boro en tres concentraciones (0,100 y 200 mg.L⁻¹) con 10% de sacarosa en cada dosis; Se analizó el porcentaje de germinación, largo del tubo polínico y diámetro del polen. Con 200 mg.L⁻¹ de ácido bórico se obtuvo 43,33 % de germinación con una temperatura de 24,25 °C, 34 % de humedad relativa, 2 382 µmol de radiación UV, 1 463,3 µmol.m⁻²s⁻¹ de luz PAR (11am), el largo del tubo polínico creció 88,27 µm con 100 mgL⁻¹ de ácido bórico con 22,04 °C, 39 % de humedad relativa, 3,83 µmol de radiación UV y 210,76 µmol.m⁻²s⁻¹ de luz PAR (11am). El diámetro del polen alcanzó 27,59 µm con 100 mgL⁻¹ de Borón con 21,36°C, 32,03 de humedad relativa, 22,03 µmol de radiación UV y 1 069 µmol.m⁻²s⁻¹ de luz PAR

PALABRAS CLAVE:

- **GERMINACIÓN**
- **TUBO POLÍNICO**
- **DIÁMETRO DEL POLEN**
- **CONDICIONES CLIMÁTICAS**

ABSTRACT

This study was conducted in the agricultural engineering career IASA 1; consisted of two phases, the first was determined the pollen concentration according to the phenological stage of flowering, the experimental design that was used was a DCA (completely random design) with three repetitions. In the second phase the climatic conditions and boron sources for in vitro germination in strawberry (*Fragaria × ananassa*) festival variety were evaluated, the experimental design that was used was a DCA (completely random design) with three trifactorial replications. The climatic conditions within the wintering were recorded using sensors of temperature, relative humidity, PAR light and UV radiation. Boron sources were Boron, boric acid and boron chelate in three concentrations (0,100 and 200 mg.L⁻¹) with 10% sucrose in each dose; The percentage of germination, pollen tube length and pollen diameter were analyzed. With 200 mg.L⁻¹ of boric acid, 43.33% germination was obtained with a temperature of 24,25 °C, 34% relative humidity, 2 382 µmol of UV radiation, 1 463,3 µmol.m⁻²s⁻¹ of PAR light (11am), the length of the pollen tube grew 88.27 µm with 100 mgL⁻¹ of boric acid at 22,04 ° C, 39 % relative humidity, 3,83 µmol UV radiation and 210, 76 µmol.m⁻²s⁻¹ PAR light (11am). The diameter of the pollen reached 27,59 µm with 100 mgL⁻¹ of Boron with 21.36 °C, 32,03 relative humidity, 22,03 µmol of UV radiation and 1 069 µmol.m⁻²s⁻¹ of PAR light

KEYWORDS:

- GERMINATION
- POLYNIC TUBE
- POLLEN DIAMETER
- WEATHER CONDITIONS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La frutilla se ha convertido en un cultivo industrial muy importante a nivel mundial, se puede afirmar que la planta posee las más variadas y complejas posibilidades de manejo y también la atracción que ofrecen sus características de forma, color, gusto y aroma (Tobar, 2007). Este cultivo genera ingresos económicos que es representativo para las familias productoras, además contribuye con otras fuentes de trabajo para más personas, por ejemplo en Ecuador en la región Sierra, provincia de Pichincha el 88,97% de productores indica que la importancia radica en los ingresos económicos que les representa, ya que dependen de las cosechas para percibir dinero semanalmente y para el 27,53% de productores aducen su importancia al trabajo permanente que les ofrece (Tustón, 2012)

El boro es un elemento esencial para las plantas superiores por lo que muchos estudios han demostrado que ciertas concentraciones de boro son necesarias para los procesos bioquímicos fisiológicos y desarrollo morfológico de las plantas (Ozturk, Gucl, Sakcali, & Tombuloglu, 2010). Este micronutriente (Boro) desempeña un papel muy importante dentro del proceso de floración y fructificación (Brown, Ferguson, & Picchioni, 1994).

Siendo un cultivo de importancia, la frutilla ha presentado malformaciones y carencia de amarre o cuajado del fruto; todo esto debido a la deficiencia de boro que suele causar fallas agudas en el desarrollo reproductivo, en la fertilización en flores (Marschener, 2012) , viabilidad polínica, germinación del polen y reducción del crecimiento del tubo polínico (Nyomora &

Brown, 1997), y polinización por lo que hay una reducción en forma significativa del conjunto de frutos (Acar, Erol Ak, & Sarpkaya, 2010).

La frutilla es un fruto múltiple, es decir que los carpelos se encuentran separados y por lo tanto tienen varios ovarios que son independientes, por lo que se considera que es mucho más difícil que se lleve a cabo una fecundación adecuada, lo cual provoca que el amarre del fruto sea deficiente generando malformaciones debido a que no hay un cuajado en la totalidad de las flores que forman el fruto, por todo esto se ha considerado realizar estudios *in vitro* con diferentes fuentes de boro para saber cómo ocurre la germinación del polen y entender este proceso.

Un ejemplo en Ecuador sobre la germinación de polen es la investigación realizada acerca del efecto de pesticidas químicos, ecológicos y biológicos sobre la viabilidad de polen en Mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) y Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), donde se usaron tres soluciones para la germinación del polen, 10% sacarosa y 100mgL^{-1} H_3BO_3 , agua bidestilada y té de flores de las dos especies, el ensayo se realizó en dos fases, la primera estudió la morfología, viabilidad y solución nutritiva para lograr una mejor germinación y la segunda en donde se analizaron el efecto de los 3 grupos de plaguicidas convencionales, ecológicos y biológicos. Las variables evaluadas fueron, viabilidad del polen mediante la metodología de (Radford, Dickinson, Masey, & Bell, 1974) quien los considera viables cuando se tiñen con acetocarmin al 1% y no viables cuando permanecen de color café oscuro, tamaño del grano de polen, características morfológicas, forma, color y dimensión del tubo polínico a través del microscopio y germinación del grano de polen *in vitro* mediante observaciones a las 2,4 y 6 horas. La mejor solución nutritiva para la germinación de polen fue sacarosa con ácido bórico la cual fue cuatro veces más efectiva que el testigo agua. (Padilla, 2015).

1.2 Justificación

El cultivo de frutilla en Ecuador registra un aumento constante de producción lo que hace suponer que sus perspectivas son promisorias y que puede convertirse en una excelente alternativa para diversificar el cultivo y exportación (Acosta , 2013). Su manejo adecuado hace que el cultivo sea rentable y que tenga gran demanda en el mercado; en los últimos años la superficie plantada se ha incrementado con una tendencia de crecimiento anual de entre 20 y 30 % (hasta el 2010), de cuya producción el 60% se destina al consumo nacional y el resto para exportación (Tustón, 2012).

El manejo nutricional en la frutilla es uno de los factores de mayor importancia, ya que algunos nutrientes como el boro puede afectar al cuajado, a la productividad (Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile, 2013), a la calidad de la fruta ; estos efectos están relacionados al rol fisiológico del boro en el proceso de crecimiento del tubo polínico y cuajado de la fruta, lo que está suficientemente documentado en la mayoría de las especies, por ejemplo en el aguacate una de las funciones más importantes del boro está en la activación del crecimiento del tubo polínico, con lo cual un déficit de este elemento conduce a un menor cuaje, menor producción, menor calibre de la fruta, frutos deformados, con “corchosidades”o áreas necróticas que penetran la pulpa (Instituto de investigaciones Agropecuarias de Chile, 2010). El presente estudio intenta predecir bajo qué condiciones de humedad relativa, luminosidad, temperatura y radiación UV existe polen en la flor para la obtención de los granos los cuales de forma inmediata pasarán a soluciones nutritivas con diferentes dosis de fertilizantes (Boro) a través de los cuales se analizará la activación del crecimiento o germinación del tubo polínico lo cual determinará la existencia de un polen viable y junto con ello una fecundación exitosa con

altos niveles de cuajado, productividad y menor malformación de la fruta “frutilla” (*Fragaria x ananassa*).

Se ha evidenciado que la aplicación de boro durante los tres primeros meses de vida es esencial para la frutilla (*Fragaria x ananassa*) puesto que en esta etapa es muy exigente en este nutriente por la constante producción, en el caso de no ser aportado se presenta elevada malformación del fruto (Chiqui & Lema, 2010).

1.3 Planteamiento del problema

El cultivo de Frutilla es de gran importancia, por los ingresos económicos y fuente de trabajo que representa (Tustón, 2012), sin embargo en la etapa floración y cuajado de frutos requiere de altas concentraciones de boro, 60 ppm (Correa, Bórquez, & Kirschbaum, 2008). Este requerimiento se relaciona principalmente con la nutrición y el manejo del cultivo, lo cual influye en forma directa con el amarre (Alarcón, 2016) y desarrollo de frutos (Promix, 2016)

Los productores de frutilla no tienen información adecuada de los requerimientos nutricionales del cultivo, lo que ha ocasionado alrededor del 25% en pérdidas de producción (FAO, 2016). Además la información de manejo del cultivo proviene de países de cuatro estaciones (Tustón, 2012), que presentan diferentes condiciones de luminosidad, temperatura, humedad relativa y radiación UV. El desconocimiento de nuestras condiciones climáticas y la absorción de nutrientes (especialmente boro) impide el desarrollo de la fruta posterior al cuajado. Por esta razón se desea estudiar las variaciones de temperatura, humedad relativa, luminosidad y radiación UV que interfieren en la germinación del polen, afectando su viabilidad, lo cual perjudica al cuajado y formación del fruto.

Estos resultados serán de mucha importancia para las personas que se dedican a este cultivo ya que a través de esto se establecerá técnicas de manejo durante el proceso de floración para conocer bajo qué condiciones climáticas hay polen viable en la flor para realizar fertilizaciones foliares de boro con la finalidad de que ocurra un amarre óptimo y con pocas posibilidades de obtener malformación en el fruto.

1.4 El problema

La caída de las flores, aborto, inhibición del cuajado, amarre débil, formación deficiente del fruto se ve perjudicado por el boro y las condiciones climáticas ya que estas pueden afectar la germinación del polen el cual es un indicador de viabilidad. El proceso de fecundación es deficiente generando frutos deformados y de mala calidad debido ya que la frutilla es un fruto múltiple. Esto ocurre no solo en frutilla (*Fragaria × ananassa*) sino también en la mayoría de las plantas.

1.5 Los efectos

El descenso de la producción de la frutilla (*Fragaria × ananassa*) debido a la presencia de frutos deformados por la falta de boro ha ocasionado pérdidas en la comercialización, además los cambios climáticos que se han presentado han afectado la viabilidad del polen (Lafitte, 2016) el cual interviene en la formación y desarrollo adecuado de frutilla (*Fragaria × ananassa*);

1.6 Las causas

El manejo inadecuado de los suelos, a través del monocultivo lo cual ha afectado a los nutrientes que se encuentran en suelo generando deficiencia de estos los cuales son indispensables durante el proceso reproductivo de las plantas, además el desconocimiento de la

importancia de boro y de herramientas agronómicas como análisis de suelos los cuales nos ayudan a contrarrestar la deficiencia o exceso de nutrientes.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Evaluar las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación *in vitro* del polen en frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival.

1.7.2 Objetivos específicos

Determinar la etapa fenológica de la floración de la planta de frutilla (*Fragaria x ananassa*) variedad festival que contiene mayor concentración de polen.

Determinar la temperatura, humedad relativa, radiación UV y luminosidad óptima que se presenta la apertura del polen para la germinación *in vitro* en frutilla (*Fragaria x ananassa*) variedad festival.

1.8 Hipótesis

Ho: El incremento de boro permitirá una mejor germinación *in vitro* de polen en frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival.

Hi: El incremento de boro no permitirá una mejor germinación *in vitro* de polen en frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivo de frutilla en Ecuador

Ecuador en el año 2012 produjo alrededor de 30 000 tm mensuales de fruta, dentro de las cuales el 60% es para consumo nacional en fruta fresca o procesada en frescos, helados yogurt y mermeladas. Existe una tendencia en el crecimiento de la superficie del cultivo debido a su tasa de rentabilidad, es así que los agricultores de las provincias de la Sierra centro, al norte de Pichincha, parte del Azuay e Imbabura, han transformado sus campos en reductos de este cultivo (Rea Otuna, 2012).

El 60% de las plantaciones crece a cielo abierto y otros bajos invernaderos. Pichincha es uno de los referentes de la producción nacional con el 50% de superficie, luego está Imbabura con el 20% y el resto se reparten entre Chimborazo, Cotopaxi, Azuay (Rea Otuna, 2012).

2.2 Producción en Ecuador

Según (Rea Otuna, 2012), en nuestro país la superficie cosechada en el 2001 fue de 77 ha con una producción de 502 tm y un rendimiento de 6,519 kg/ha. Para el año 2002 se duplicó la producción a 152 ha, esta se triplicó a 1 525 tm y el rendimiento promedio fue de 10,032 kg/ha, sin embargo según III Censo Nacional Agropecuario (2002), a partir del año 2004 bajó a 114 ha con un rendimiento de 1 303 tm y 11,429 kg/ha y en los años posteriores la producción fue decreciendo pero con una importante reactivación.

2.3 Comercialización de frutilla en Ecuador

El proceso de comercialización en el país lo lidera la provincia de Pichincha (parroquias de Cusubamba, Ascázubi, El Quinche, Checa, Yaruquí, Pifo y Tababela con un 90% del total nacional, luego Tungurahua con 8% y finalmente Imbabura con 2%). Las alternativas de consumo dependen del desarrollo tecnológico en la preparación de derivados de frutilla, lo cual, ha permitido que el consumidor disponga de una variada gama de subproductos como jugos, mermeladas, vinos, entre otros. Los precios de comercialización en los mercados de Quito, en supermercados y empresas compradoras se estima que es \$ 1,40 el kilogramo, aunque este valor es determinante para el consumidor final; los productores debido a la cantidad de intermediarios, reciben precios de venta en las plantaciones, así estos oscilan entre \$0,75 y \$ 1,00 el kilogramo; llegando a pagar los intermediarios \$ 5,00 por cada caja aproximadamente de 5 Kg. (Tustón, 2012).

2.4 Frutilla

2.4.1 Origen de la frutilla

Fueron los agricultores franceses, y más tarde los ingleses, alemanes e italianos los que, después de los resultados obtenidos cultivando aquellas plantas silvestres y frutos insignificantes, mejoraron la calidad del fruto, aumentando su tamaño, sin que las atenciones recibidas por la planta en el cultivo alteraran en lo más mínimo las características organolépticas del fruto, el cual obtuvo gran aceptación en el mercado por parte de las clases adineradas, proporcionando con ello excelentes rendimientos (Kiger , 1998).

Existen más de 160 especies del genero *Fragaria* se puede mencionar el híbrido resultante del cruce de *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana*, dando como resultado *Fragaria* ×

ananassa. Por ser un híbrido esta planta se adapta a diferentes climas desde el trópico hasta los países con estaciones (Angulo, 2009).

2.4.2 Clasificación taxonómica de la frutilla

La frutilla pertenece al reino plantae, está ubicada dentro de la división Angiospermas clase dicotiledónea, Orden Rosales, Familia Rosáceas, Género *Fragaria* y Especie spp. Su nombre común es *Fragaria* spp. (Morano, 2004).

2.4.3 Organografía

2.4.3.1 Raíces

La raíz es fasciculada debido a que de la base del tallo salen muchas raíces del mismo largo formando una frondosa cabellera. Son superficiales no profundizan mucho (máximo 30cm), desarrollando la mayor actividad en los primeros 20 cm, por su consistencia se puede decir que son fibrosas. Emergen de la corona en la zona cercana al nivel del suelo. Es importante anotar que por la cantidad de raicillas muy ramificadas se requiere de suelos muy sueltos, bien aireados y con buen drenaje para impedir que se presenten pudriciones en su sistema radicular (Angulo, 2009).

2.4.3.2 Tallo

El tallo de la frutilla es de tamaño reducido al cual se lo denomina corona, lleva las yemas tanto vegetativas como florales y de ellas nacen: las hojas, estolones o guías y las inflorescencias, además este tiene una forma de roseta comprimida de 1 a 3 cm de largo y está cubierta en la parte extrema por hojas basales superpuesta llamadas estipulas (González, 2010).

2.4.3.3 Hojas

Las hojas son pinnadas, trifoliadas, con estipulas en su base, de color verde oscuro, con muchos estomas para poder realizar una intensa transpiración. En las axilas se forman yemas vegetativas o productivas, dando origen las primeras a estolones y las segundas a las inflorescencias que van a producir los frutos (Angulo, 2009).

2.4.3.4 Flores

Las flores pueden ser perfectas y hermafroditas o imperfectas y unisexuales. Flor hermafrodita es aquella que tiene órganos masculinos (estambres) y femeninos (carpelos), si solamente tiene estambres se llama unisexual masculina y si tiene solo carpelos se llama unisexual femenina. La mayor parte de las fresas cultivadas comercialmente poseen flores perfectas y hermafroditas, agrupándose en inflorescencias las cuales poseen un eje primario (Angulo, 2009).

Las flores de la frutilla se agrupan en inflorescencias que son un conjunto de flores que salen del mismo brote. La inflorescencia típica posee un eje primario, dos secundarios, cuatro terciarios y ocho cuaternarios, llevando cada eje en su extremo una flor, pero cada variedad puede presentar diferentes tipos de inflorescencias (Angulo, 2009).

2.4.3.5 Fruto

El fruto de la frutilla es un agregado, lo que quiere decir, que proviene de una sola flor que tiene los carpelos separados y de cada ovario sale un pequeño fruto, en el caso de la frutilla el fruto está formado por varios aquenios dispuestos sobre un receptáculo carnoso. El aquenio es un fruto monocárpico, indehisciente, seco y de una sola semilla. Después de realizada la fecundación, los óvulos al transformarse en aquenios estimulan el engrosamiento del receptáculo, el cual al

transformarse en carnosos forma el fruto. Se pueden presentar frutos con corazón lleno o corazón vacío (Angulo, 2009).

2.4.4 Variedad festival

Es una de las variedades más sembradas en México. Se estima que se está utilizando en el 60% de las plantaciones de este país. Produce fruta abundante y de excelente calidad, tanto para consumo en fresco como para la industria. Es una Planta vigorosa de día o de fotoperiodo corto, productora en invierno con producción temprana, consistente y uniforme, es gran productora de estolones y presenta buen rendimiento. Produce frutilla brillante y roja de forma cónica, de textura firme con excelente sabor. El fruto mantiene un tamaño mediano a grande a lo largo de la producción (Cruz & Hernandez, 2000).

2.4.5 Polen

2.4.5.1 Características

El polen, elemento masculino de las plantas con flores, se presenta bajo la forma de granos microscópicos contenidos en las anteras de los estambres. La identificación de los granos de polen se basa en su examen microscópico. Los granos de polen están encerrados en los sacos polínicos de los estambres. De tamaño y forma variables, son transportados, son transportados sobre otras flores, bien por el viento (pólenes ligeros), bien por los insectos (pólenes pesados) (Pierre & Medori, 2007) (Figura 1).

2.4.5.2 Estructura

Los granos de polen están formados por una especie de saco o receptáculo compuesto por dos paredes “la exina o exterior y la intina” en cuyo interior se alberga el gameto masculino que más tarde fecundará al óvulo. La exina tiene orificios por donde sale el tubo polínico que se

introduce por el estigma para llegar a los óvulos a través del estilo. El tubo polínico es el portador de los gametos masculinos. El tamaño de los granos de polen varía desde 8 hasta 250 micrones. El número de granos de polen varía ampliamente calculándose que una flor de peonia puede tener más de 3,5 millones de granos. El color de los granos es variable, el más abundante es el amarillo, pero los hay azules, rojos, castaños, verdes y hasta negros como es el caso de la amapola (Ortega, 1986) (Figura 2).

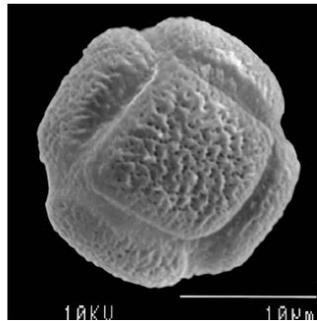
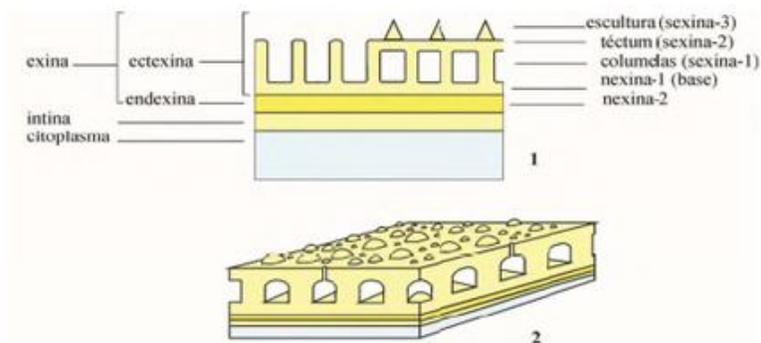


Figura 1 Grano de polen visto con el microscopio electrónico de barrido

Fuente: (Jaramillo & Trigo, 2011)



Capas de la esporodermis: 1. Corte transversal. 2. reconstrucción tridimensional.

Figura 2 Estructura del polen

Fuente: (Jaramillo & Trigo, 2011)

2.4.5.3 Formación del polen

El polen se forma en unas bolsitas o vesículas llamadas sacos polínicos que, en las plantas más evolucionadas, las angiospermas, se sitúan en los estambres de las flores. En el caso más general, un estambre consta de un pedicelo, el filamento, y una parte apical ensanchada, la antera. Esta antera presenta dos cavidades llamadas tecas y cada una de ellas suele portar, por lo general, dos sacos polínicos. Cuando el polen está maduro, la antera se rasga, saliendo este al exterior. Normalmente los granos de polen son transportados de manera aislada, pero a veces se agrupan formando diadas, tétradas o piadas, según se dispersen de dos en dos, de cuatro en cuatro o en grupos de mayor orden (Jaramillo & Trigo, 2011).

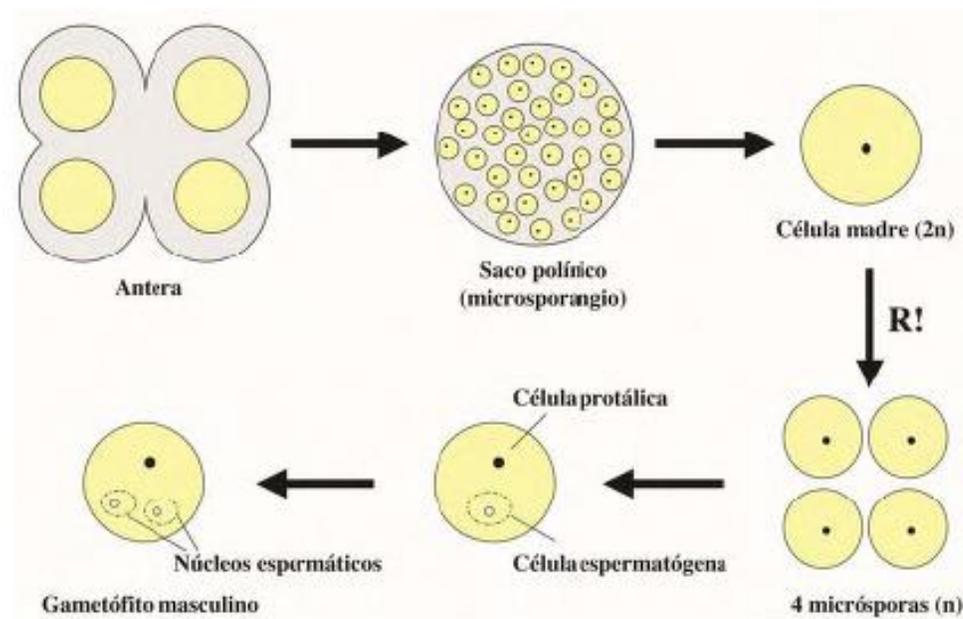


Figura 3 Proceso de formación de polen

Fuente: (Jaramillo & Trigo, 2011)

2.4.5.4 Grado de unión de los granos de polen

Lo más habitual es que los granos de polen se liberen de forma independiente unos de otros una vez se hayan formado. Es a lo que denominamos monadas. Sin embargo, según que grupos taxonómicos, estos granos de polen pueden ser liberados en grupos de dos (diadas), de cuatro (tétradas) o de un número variable de granos de polen (poliadas). A veces incluso toda la masa de los granos de polen formados en una antera se propagan juntos, constituyendo las llamadas polinias (Jaramillo & Trigo, 2011).

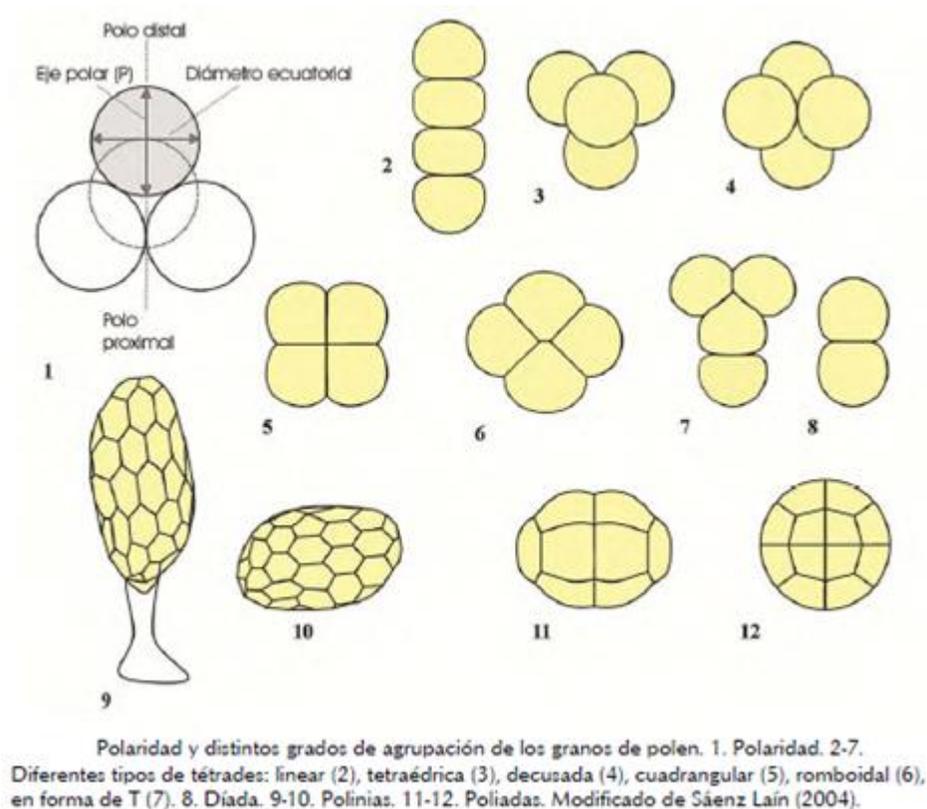


Figura 4 Polaridad y distintos grados de agrupación del polen

Fuente: (Jaramillo & Trigo, 2011)

2.4.5.5 Intervención del polen en la formación y amarre de frutos

2.4.5.5.1 Amarre y formación de frutos

El amarre o cuajado de los frutos es el proceso en el cual la flor es polinizada y fecundada y el fruto inicia su formación y desarrollo. Este proceso sucede cuando se reúnen las condiciones adecuadas, sin embargo, existen factores que afectan el cuajado; estos son la interacción entre la fisiología del cultivo, es decir la viabilidad del polen, la velocidad del crecimiento del tubo polínico y el crecimiento del fruto además de las condiciones climáticas. Otro factor que dificulta el amarre de los frutos tiene que ver con la cantidad de reservas nutricionales y el contenido de hormonas en la planta (Intagri, 2015)

Para llegar a la formación de frutos maduros se tienen que pasar por tres importantes procesos fisiológicos, los cuales son: polinización, fecundación del óvulo y formación del fruto. La polinización es el proceso en el cual los granos de polen se desplazan a los estigmas de la flor, y es el primer proceso con efecto sobre el cuajado del fruto por jugar un papel importante en la transferencia y germinación del polen. Después de que germina el grano de polen y crece el tubo polínico hasta el saco embrionario, se da el proceso de doble tubo fecundación el cual es un evento estimulante en el cuajado de los frutos por su efecto fisiológico en la planta por iniciar el desarrollo de la semilla (Intagri, 2015)

La doble fecundación es el proceso a través del cual el tubo polínico se desarrolla a lo largo del estilo, penetra al óvulo por el micrópilo, continua creciendo mediante la nucela hasta alcanzar el saco embrionario, ahí el ápice del tubo polínico se desarrolla hacia el interior de una de las sinérgidas y descarga los dos núcleos vegetativos con las dos células espermáticas, una de estas células penetra la ovocélula generando la fusión de los dos

núcleos, se da la fecundación y se produce un cigoto, mientras que el segundo núcleo espermático se fusiona con los dos núcleos polares del estilo, generando una segunda fecundación, la cual forma el núcleo primario del endospermo (Villaseñor & Ortíz, 2014). Una fecundación deficiente se origina por una mala germinación del grano de polen o por un crecimiento demasiado lento del tubo polínico, el cual es responsable, en gran parte de la baja fructificación (Trujillo, 1953). El éxito de la polinización y junto con ello la fecundación depende de la viabilidad del polen, es decir, que este vivo y maduro cuando esté receptivo el estigma (Swanzger, 2006), lo cual aumenta la producción de frutos y la cantidad de semillas (Tighe, 2005).

Las deformaciones del fruto ocurren por una mala polinización, deficiente fecundación por insuficiencia y viabilidad de polen, condiciones adversas del clima (Infoagro, 2017), estambres y pistilos dañados por heladas, sequía, la cual influye en la mala fecundación. La frutilla es un fruto múltiple el cual está formado por un conjunto de flores y cuando gran parte de los óvulos no son fecundados no se desarrollan lo cual provoca frutos deformes (Martínez Chamorro, 2008)

2.4.5.6 Condiciones climáticas que afectan al polen y fructificación

2.4.5.6.1 Temperatura

La cantidad y calidad del polen así como la viabilidad de los frutos está relacionado con el proceso de fructificación. Por lo general el polen es más sensible a las bajas temperaturas que los óvulos, mientras que con temperaturas elevadas la viabilidad de los óvulos es así mismo muy reducida. Tanto las temperaturas bajas de menos de 13°C, como las altas de más de 32°C, intervienen el sentido de reducir la cantidad del polen. Por otra parte la calidad del polen se ve

afectada por las bajas temperaturas, especialmente durante el periodo microsporogénesis, que es cuando la flor se encuentra en estado de pequeño botón, aproximadamente dos semanas antes de la floración. Además cuando el polen es de mala calidad, las bajas temperaturas retrasan la germinación y la fructificación, estos problemas no son graves cuando se tiene un polen de buena calidad (FAO, 2016).

2.4.5.6.2 Luminosidad

La intensidad de luz provoca la dehiscencia de las anteras y acelera la maduración del grano de polen. La sombra se relaciona con la luminosidad ya que tiene influencia en el porcentaje de fecundación y especialmente en el crecimiento del tubo polínico. (Trujillo, 1953) . Durante las primeras horas de la mañana se asegura un mayor porcentaje de fecundación debido a la menor intensidad de luz (Posnete, 1950) .En general, en plantas de día largo se ha observado que la floración se ve inhibida (Ormrod & Hale, 1995) y (Caldwell, y otros, 1998).

La luz provee, información crítica para el medio ambiente e información usada por las plantas para regular movimientos, es decir que inicia procesos de desarrollo (Hopkins, 1999).

2.4.5.6.3 Humedad relativa

La humedad relativa junto con la temperatura hacen que se dificulte el proceso de liberación del polen (FAO, 2016). Si la humedad relativa es mayor el polen se aglomera y no se produce la polinización; y si es menor, el polen no se adhiere al estigma (órgano femenino de la flor). Un exceso de humedad relativa también produce que las plantas estén más expuestas a ciertos hongos y enfermedades (Agro tecnología tropical, 2016).

La humedad relativa es un factor climático que está relacionado con la polinización optima, ya que esta debe oscilar entre 60 y 80%, cuando sobrepasa estas cantidades (85%) el polen se compacta y no se logra una buena fecundación lo cual genera un fruto hueco y deforme, mientras que cuando la humedad relativa baja a valores menores del 50 % el polen se seca y no germina, lo cual dificulta la polinización (Valerio, 2012).

La eficacia de formación de frutos está relacionada con la humedad relativa, esto ocurre ya que en las horas de la mañana la flor es más receptiva ya que hay mayor cantidad de líquido estigmático lo cual está influenciado con la humedad relativa, la temperatura y la disponibilidad de agua , mientras que en las horas de la tarde los estigmas están secos, pero los valores de formación de frutos se pueden explicar asumiendo que el polen depositado sobre ellos permanece viable hasta el día siguiente (Cárdenas Torres, 2002) cuando la flor tiene la máxima separación en los pétalos exteriores y tiene un aumento de líquido viscoso (fluido estigmático) en el estigma, las anteras se tornan ligeramente oscuras (Guzmán, 1991).

2.4.5.6.4 Radiación UV

La radiación durante la floración en ciertas especies se ve inhibida por niveles elevados de UV, mientras que en otras es estimulada, ello porque la inducción del fotoperíodo para la floración es dependiente del nivel de radiación UV. Pudiendo suceder que por tal fenómeno, no exista la suficiente disponibilidad de polinizadores, la que constituiría un problema importante, sobre todo en sistemas agrícolas, no obstante, con un manejo adecuado de este fenómeno se podría disminuir el impacto (Ormrod & Hale, 1995) y (Caldwell, y otros, 1998).

Según (Torabinejad, Caldwell, Flint, & Durham, 1998), los efectos de la radiación UV sobre el polen provocan reducciones en la germinación y en la longitud del tubo polínico; la

germinación del polen puede verse afectado por las características de la especie y el tiempo de exposición a la radiación.

Las paredes de las anteras filtran sobre el 98% de la radiación UV incidente, protegiendo al polen de ella. Además, las paredes del polen contienen compuestos que absorben UV, estos compuestos son flavonoides en el caso de granos de polen amarillo (Kohen, Santus , & Hirschberg, 1995).Estos pigmentos según (Caldwell, y otros, 1998), proveen solo una pequeña protección contra la irradiación.

Cuando ocurre el crecimiento del tubo polínico, este queda expuesto a la radiación, sin embargo esta es nula ya que su transmisión a través de la epidermis estigmática es solo un 2% (Demchik & Day, 1996).

Al final de la primavera e inicios de verano la planta empieza con el proceso de diferenciación de yemas, floración y crecimientos de los frutos, esto ocurre debido a que las plantas están saliendo del periodo de latencia el cual tiene que ver con factores fisiológicos y de tipo ambiental, es así que en esta etapa climática (primavera -verano) hay mayor floración y producción de fruta (Dellinger, 2012), las condiciones climáticas que favorecen estos estados fenológicos de la planta son el calor de la Radiación UV que este debilita el gradiente de temperatura (Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert, 2003) y la temperatura inicial de verano la cual favorece la germinación del polen asegurando la polinización y la fecundación.

2.4.6 Boro

2.4.6.1 Boro y sus funciones en la planta

Es un microelemento que da lugar a un desarrollo armonioso de las plantas. Una carencia de este elemento da lugar a la aparición de enfermedades y deformación de frutos además hay presencia de arrosamiento, detención del crecimiento y muerte de meristemas (Chiqui & Lema, 2010). Junto con el calcio interviene en la síntesis de las paredes celulares y es esencial para la división celular, sin embargo los requisitos de boro son mucho más altos para el crecimiento reproductivo, por lo que ayuda a la polinización y el desarrollo de frutas y semillas (Promix, 2016).

El fluido estigmático está formado por células glandulares que secretan una sustancia azucarada (Omogrosso, 2009), además contiene boro el cual ayuda en el proceso de doble fecundación, estas dos sustancias propician la germinación del polen y la formación del tubo polínico, sin embargo cuando hay una cantidad mínima de boro el amarre del fruto es deficiente (Soria, 2008) ya que el proceso de fecundación se ve afectada por una de las sustancias que propician tanto la germinación como el crecimiento del tubo polínico.

2.4.6.2 Disponibilidad de boro en el suelo

El boro se encuentra en solución en el suelo pero es débilmente absorbido por los componentes edáficos. Esta fracción de boro es fácilmente disponible para la absorción de las plantas, sin embargo una parte de boro se asocia de forma más específica con arcillas, materia orgánica, hidróxidos de manganeso y hierro siendo menos disponible para las plantas ya que se va liberando lentamente. Otra parte del boro está incluida en hidróxidos de aluminio, hierro y silicatos, formando la fracción de boro relativamente no disponible para los vegetales. La

concentración de boro total en el suelo se encuentra alrededor de 30mg/kg del cual menos del 5% es disponible para los cultivos (Doncel , Iñiguez, & Val, 1996).

2.4.6.3 Fuentes de boro

2.4.6.3.1 Ácido bórico

El ácido bórico es un ácido débil en estado sólido de alta pureza y estabilidad en condiciones normales de almacenamiento. Esta formulado y diseñado para suplir necesidades de boro o bien para prevenir deficiencias o corregir carencias del elemento en los cultivos. Es totalmente soluble en agua y se absorbe por las hojas, por el tejido leñoso, por los frutos, y evidentemente por las raíces. Otros usos del ácido bórico es que puede ser usado como corrector de aguas alcalinas o duras, como acidificante en mezclas de aplicación de fertilizantes o plaguicidas y como agente limpiador de tuberías o sistemas de riego, entre otro. Es especial para aplicaciones foliares, en drench o en fertirriego (TILAWA AGRO, 2014). Es compatible con la mayoría de los fertilizantes, coadyuvantes y plaguicidas de uso común. No obstante se recomienda hacer pruebas de compatibilidad preliminares a las aplicaciones comerciales. Se ha observado incompatibilidad con carbonatos e hidróxidos (TILAWA AGRO, 2014).

2.4.6.3.2 Borón

Es un fertilizante foliar que contiene una alta concentración de boro. El boro es un micronutriente esencial que participa en el transporte y síntesis de azúcares, división celular, crecimiento meristemático y síntesis de proteínas (Silvestre, 2016).

Es compatible con la mayoría de plaguicidas y fertilizantes foliares de uso común, excepto con productos ácidos y agentes oxidantes. Se recomienda realizar una prueba previa de compatibilidad (Silvestre, 2016).

2.4.6.3.3 Quelato de boro (Fertiquel boro)

Es un fertilizante foliar que contiene 12 % de boro P/V. Está compuesto por quelatos y complejos orgánicos naturales (aminoácidos, ácidos orgánicos y carbohidratos) de bajo peso molecular, además ayuda a la movilización del Calcio y azúcares en la formación de proteínas, aumenta el “cuajado” de las flores para convertirse en frutos, mejora la firmeza y aumenta la concentración de sólidos en los frutos (Fertisa, 2017).

Es compatible con la mayoría de los agroquímicos de uso común. Sin embargo dada la gran variabilidad de formulaciones existentes, es recomendable hacer una mezcla previa, antes de mezclar con otros productos en el estanque aplicador (Adama, 2016).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Ubicación del lugar de investigación

3.1.1 Ubicación política

La investigación se realizó en el laboratorio de química de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, este se encuentra en la provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui, Parroquia San Fernando, hacienda el Prado IASA I.

3.1.2 Ubicación geográfica

Las coordenadas de las instalaciones de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, son latitud $0^{\circ}23'04.56''S$, longitud $78^{\circ}24'57.20''O$, altitud 2719 m.s.n.m.

3.1.3 Ubicación ecológica

Las instalaciones de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I están localizadas en el piso altitudinal montano bajo, región latitudinal templada, zona de vida bosque húmedo, temperatura promedio de $13.96^{\circ}C$ y precipitación de 1 332.72 mm.

3.1.4 Condiciones de laboratorio

El laboratorio de química donde se realizó la fase de germinación *in vitro*, tuvo una temperatura promedio de $13^{\circ}C$, temperatura máxima de $22^{\circ}C$ y temperatura mínima de $8^{\circ}C$.

3.2 Materiales

3.2.1 De campo: Suelo homogéneo, macetas de plástico de 2Lt.

3.2.2 Vegetal: Plántulas de frutilla (*Fragaria* × *ananassa*) variedad festival.

3.2.3 De laboratorio: Vasos de precipitación de 10 ml de capacidad, microscopio, agua destilada, sacarosa, fertilizantes (ácido bórico, Borón, quelato de boro), sensor de luz PAR, sensor de radiación UV, sensor de temperatura y humedad relativa, software image J procesador de imagen digital gratuito programado en Java.

3.3 Métodos

El trabajo incluye dos fases:

Fase 1

3.3.1 Determinación de la etapa fenológica de la floración de la planta de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival que contiene mayor concentración de polen

3.3.1.1 Recolección de flores de acuerdo a sus etapas fenológicas

De acuerdo a la etapa fenológica de la planta de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival en el estadio de floración se recolectaron las flores para evaluar en qué etapa fenológica hay mayor concentración de polen (Tabla 1).

3.3.1.2 Extracción de polen de la flor de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival

Se recolectó las flores de frutilla en los diferentes estadios fenológicos de floración y se las llevó al laboratorio. En vasos de precipitación de 10 ml se colocó 3 ml de agua destilada; las flores se sujetaron a través de un alambre en el vaso de precipitación, de esta forma liberaron polen durante 24 horas ; garantizando la pureza genética protegiéndola para que no se polinice con otras especie (Red Nacional de Semillas Nativas y Criollas, 2016).

Tabla 1

Estadios fenológicos de la planta de frutilla en el estadio 6: Floración (Meier, 2001).

Etapa fenológica de floración	Descripción
60	Primeras flores, abiertas (primarias o flores A)
61	Comienzo de la floración: Alrededor de 10% de flores abiertas
65	Plena floración: flores secundarias (tipo B) y terciarias (tipo C), abiertas ;caen los primeros pétalos

Fuente: (Meier, 2001)

3.3.2 Diseño experimental

3.3.2.1 Factores evaluados

El factor que se probó fue la etapa fenológica de floración de la planta de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival para verificar en qué momento existe mayor cantidad de polen viable para la fecundación.

Factor 1: Etapa fenológica en el estadio de floración

Tabla 2

Simbología de las etapas fenológicas de la frutilla (Fragaria × ananassa) en el estadio de floración (E)

N°	Simbología	Descripción
1	E1	Primeras flores, abiertas (primarias o flores A)
2	E2	Comienzo de la floración: alrededor de 10% de flores abiertas
3	E3	Plena floración: flores secundarias (tipo B) y terciarias (Tipo C), abiertas; caen los primeros pétalos

3.3.2.2 Tratamientos evaluados

Se comparó tres etapas fenológicas de floración de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival para verificar en qué estadio de floración se obtiene mayor concentración de polen.

3.3.2.3 Tipo de diseño

El diseño que se empleó fue un DCA (Diseño Completamente al azar) con tres repeticiones, los tratamientos fueron E1 (Primeras flores, abiertas), E2 (Comienzo de la floración) y E3 (Plena floración).

3.3.2.4 Repeticiones

El número de repeticiones fueron tres de acuerdo a las diferentes etapas fenológicas de floración de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival.

3.3.2.5 Características de las unidades experimentales

La unidad experimental fue la flor de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival, se extrajo el polen para evaluar su concentración en los estadios de la etapa fenológica de floración.

3.3.2.6 Croquis del diseño experimental

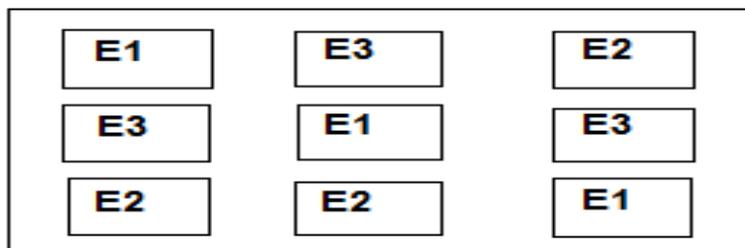


Figura 5 Croquis del diseño experimental de la concentración de polen de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival en el estadio de floración.

3.3.3 Análisis estadístico

3.3.3.1 Esquema del análisis de la varianza

Tabla 3

Análisis de la varianza para determinar la etapa fenológica de la planta de frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival en el estadio de floración que contiene mayor concentración de polen

FV	gl
Tratamiento	2
Error	6
Total	8

FV: Fuente de variación

gl: Grados de libertad

3.3.3.2 Modelo matemático

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Y_{ij} = Variable aleatoria

T_i = efecto de la k-esima etapa fenológica en el estadio de floración

μ = media general

e_{ik} = error experimental

3.3.3.3 Coeficiente de variación

Se evaluó la concentración de polen de frutilla en las tres etapas fenológicas de la planta correspondientes al estadio de floración.

$$CV = \frac{\sqrt{CM}}{\bar{x}} \times 100$$

3.3.3.4 Análisis funcional

Se empleó la prueba de Tuckey, a un nivel de significancia del 5%.

3.3.4 Variables

3.3.4.1 Concentración de polen de acuerdo la etapa fenológica de la planta de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival en el estadio de floración

Se tomó una alícuota (3ul) de muestra de cada etapa fenológica de floración para determinar la concentración de granos de polen en una cámara de Neubauer (Molina, Tapia, Vega, & Quenallata, 2016). La concentración del polen se evaluó mediante la siguiente fórmula:

$$X * 50000 = \text{concentración polen/ml}$$

X= promedio del conteo de polen de las cinco esquinas de la cámara de Neubauer (A, B, C, D, E)

50000= constante de la cámara de Neubauer

Tomando como base la fase 1 en la fase 2 se realizó lo siguiente:

3.3.5 Evaluación de tres fuentes de boro (ácido bórico, Borón y quelato de boro) en diferentes dosis (0, 100 y 200 mg.L⁻¹) a las 2 y 4 horas de germinación de polen de frutilla (*Fragaria×ananassa*) variedad festival para determinar la fuente y dosis óptima

3.3.5.1 Diseño experimental

3.3.5.2 Factores evaluados

Tomado de partida el mejor estadio fenológico del primer estudio se estudiaron los siguientes factores: tipo de fertilizante, dosis y tiempo de recolección del polen.

Factor 1: Fertilizante**Tabla 4***Simbología del Fertilizante (F)*

N°	Simbología	Descripción
1	F1	Ácido Bórico
2	F2	Borón
3	F3	Quelato de Boro

Factor 2: Dosis (D)**Tabla 5***Simbología de la dosis boro (D)*

N°	Simbología	Descripción
1	D0	0 mg.L ⁻¹
2	D1	100 mg.L ⁻¹
3	D2	200 mg.L ⁻¹

Factor 3: Tiempo de recolección del polen (T)**Tabla 6***Simbología del tiempo de recolección de las flores de frutilla (Fragaria× ananassa) variedad festival (T)*

N°	Simbología	Descripción
1	T1	8 am
2	T2	11 am
3	T3	14 pm

3.3.5.3 Tratamientos evaluados

Se comparó tres fuentes de boro (ácido bórico, Borón y quelato de boro), con tres dosis (0,100 y 200 mg.L⁻¹) en dos tiempos germinación de polen *in vitro* (2 y 4 horas) en frutilla (*Fragaria×ananassa*) variedad festival, para verificar con qué fertilizante y en qué dosis se obtiene mayor germinación de polen.

Tabla 7

Tratamientos a probarse para la germinación del polen in vitro con tres fuentes de boro en frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival

T1:D1F1T1	T10:D2F1T1	T19: D3F1T1
T2:D1F1T2	T11:D2F1T2	T20:D3F1T2
T3:D1F1T3	T12:D2F1T3	T21:D3F1T3
T4:D1F2T1	T13:D2F2T1	T22:D3F2T1
T5:D1F2T2	T14:D2F2T2	T23:D3F2T2
T6:D1F2T3	T15:D2F2T3	T24:D3F2T3
T7:D1F3T1	T16:D2F3T1	T25:D3F3T1
T8:D1F3T2	T17:D2F3T2	T26:D3F3T2
T9:D1F3T3	T18:D2F3T3	T27:D3F3T3

3.3.5.4 Tipo de diseño

El diseño que se empleo fue un DCA (Diseño completamente al azar) trifactorial con 3 repeticiones.

3.3.5.5 Repeticiones

El número de repeticiones fueron tres de acuerdo a las diferentes dosis correspondientes a cada una de las fuentes de boro (ácido bórico, Borón y quelato de boro).

3.3.5.6 Características de las unidades experimentales

La unidad experimental fue un vaso de precipitación de 10 ml de capacidad en donde se colocó 3 ml de agua bidestilada+ sacarosa al 10 % + fertilizante+ polen que se extrajo de la etapa

fenológica con mayor concentración de polen de frutilla (*Fragaria* × *ananassa*) variedad festival.

3.3.5.7 Croquis del diseño experimental

T1	T2	T4	T6	T5	T12	T14	T22	T21
T2	T1	T5	T4	T10	T9	T16	T24	T25
T3	T2	T1	T6	T7	T13	T19	T9	T27
T5	T3	T7	T10	T8	T17	T9	T24	T8
T7	T6	T4	T3	T11	T18	T24	T12	T22
T11	T13	T15	T21	T17	T26	T8	T14	T25
T16	T18	T17	T10	T20	T27	T11	T14	T23
T20	T19	T15	T23	T26	T15	T12	T16	T25
T22	T20	T21	T13	T26	T27	T23	T19	T18

Figura 6 Croquis del diseño experimental de la germinación de polen *in vitro* con tres fuentes de boro en frutilla (*Fragaria* × *ananassa*) variedad festival.

3.3.6 Análisis estadístico

3.3.6.1 Esquema del análisis de varianza

Tabla 8

*Análisis de la varianza para determinar la dosis más óptima de los fertilizantes para la germinación del polen de frutilla (*Fragaria* × *ananassa*) variedad festival*

	FV	gl
Tratamientos	26	
Dosis		2
Fertilizante		2
Tiempo de recolección		2
Dosis x Fertilizante		4
Dosis x Recolección		4
Fertilizante x Recolección		4
Dosis x Fertilizantes x Recolección		8
Error	54	
Total	80	

FV: Fuente de variación

gl: Grados de libertad

3.3.6.2 Modelo matemático

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + F_j + R_k + DF_{ij} + DR_{ik} + FR_{jk} + DFR_{ijk} + e_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Variable aleatoria

μ = media general

D_i = Efecto de la i-esima dosis

F_j = Efecto del j-esimo fertilizante

R_k = Efecto del k-esimo tiempo de recolección

DF_{ij} = Efecto de la interacción Dosis x Fertilizante

DR_{ik} = Efecto de la interacción Dosis x Tiempo de Recolección

FR_{jk} = Efecto de la interacción Fertilizante x Tiempo de Recolección

DFR_{ijk} = Efecto de la interacción Dosis x Fertilizante x Tiempo de Recolección

e_{ijkl} = Error experimental

3.3.6.3 Coeficiente de variación

Se evaluó el porcentaje de germinación del polen de frutilla con las diferentes fuentes y dosis para verificar si existe variación entre ellas, usando la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{\sqrt{CM}}{x} \times 100$$

3.3.6.4 Análisis funcional

Se empleó la prueba DCG, considerando las medias más altas para destacar los tratamientos sobresalientes un nivel de significancia del 5 %.

3.3.7 Variables medidas

3.3.7.1 Humedad relativa

Después de la colecta de flores de frutilla var. Festival se registró las condiciones de humedad relativa en el interior del invernadero donde estaban ubicadas las plantas de frutilla var. Festival. Esta condición climática se evaluó con el sensor de humedad temperatura y humedad relativa a las 8 am, 11 am y 14 pm (tiempos de recolección de flores).

3.3.7.2 Temperatura

Se evaluó a través del sensor de humedad relativa y temperatura; una vez colectadas las flores de frutilla var. Festival se evaluó la temperatura en el interior del invernadero, este proceso se realizó a las 8 am, 11 am y 14 pm.

3.3.7.3 Luminosidad

La luminosidad se evaluó en las flores de la planta de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival, esta variable se registró con la ayuda del sensor de luz PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) durante las 8 am, 11 am y 14 pm.

3.3.7.4 Radiación UV

La radiación UV evaluó mediante el sensor de luz ultravioleta en las flores de la planta de frutilla (*Fragaria×ananassa*) variedad festival durante las 8 am, 11 am y 14 pm.

3.3.7.5 Porcentaje de germinación de polen

De acuerdo al tiempo de recolección de las flores de frutilla (*Fragaria ×ananassa*) variedad festival durante las 8 am, 11 am y 14 pm, se obtuvo el polen, se colocó en vasos de precipitación de 10 ml de capacidad con 3 ul de agua bidestilada junto con sacarosa al 10 % con su respectivo fertilizante y con las dosis correspondientes (0, 100 y 200 mg.L⁻¹) ;las muestras fueron llevadas a la estufa a una temperatura de 28 °C según lo descrito por Padilla (2015). Se evaluó el porcentaje de germinación con un intervalo de 2 horas hasta llegar a 4 horas como tiempo de evaluación y se visualizó el polen a través de la cámara neubauer junto con el microscopio. La cuantificación del porcentaje de germinación se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \textit{germinación} = \frac{\# \text{ Granos de polen germinados}}{\# \text{ total de granos de polen}} \times 100$$

3.3.7.6 Diámetro del polen

Una vez germinado el polen de frutilla (*Fragaria ×ananassa*) variedad festival se tomaron 3 ul de muestra y se colocó en portaobjetos para su observación través de la cámara de neubauer junto con el microscopio de esta manera se pudo verificar si habido algún tipo de crecimiento. Para determinar la dimensión del diámetro se uso el software image J.

3.3.7.7 Largo del tubo polínico

Para el análisis del largo del tubo polínico se procedió a tomar de la muestra de cada tratamiento 3ul, se los colocó en portaobjetos para su visualización mediante la cámara de neubauer y el microscopio con 40X, luego de la muestra fotográfica se usó el software Image J

para las respectivas mediciones de las variables (porcentaje de germinación, largo del tubo polínico y diámetro del polen).

3.3.8 Métodos específicos de manejo del experimento

3.3.8.1 Preparación de los medios de cultivo

Los medios fueron preparados anterior a la recolección de las flores de frutilla (*Fragaria* × *ananassa*) variedad festival, estos se realizaron en base a tres fuentes de boro (ácido bórico, quelato de boro y Borón) a diferentes dosis (0, 100 y 200 mg.L⁻¹) con sacarosa al 10%. Las dosis con sus respetivos fertilizantes se ajustaron a un pH de 5,7 (quelato de boro), 6,9 (ácido bórico) y 7,0 (Borón).

3.3.8.2 Siembra

Se usó como sustrato tierra negra con pomina y cascarilla de arroz con una proporción de 1:0,5:0,5, luego se colocó en macetas de 2 L las plántulas de frutilla (*Fragaria*×*ananassa*) variedad festival.

3.3.8.3 Labores culturales

3.3.8.3.1 Riego

El riego que se usó fue semanal a mano mediante cuatro regaderas cuya capacidad fue de 7 litros una vez pasando un día, sin embargo el sistema de riego más usado es por goteo lo cual permite controlar la cantidad de agua y los nutrientes que necesita la planta.

3.3.8.3.2 Solución nutritiva

La solución nutritiva juega el papel más importante en la producción de fresas, es por ello que es necesario conocer la cantidad que el cultivo demanda de cada nutriente para una solución balanceada y evitar problemas de toxicidad o de deficiencias. Debido a que la fresa es un cultivo sensible a la salinidad es necesario monitorear constantemente la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, así mismo con el pH y la concentración de oxígeno (Intagri, 2015). Por lo expuesto se realizó la solución nutritiva con $1,8 \text{ mS.cm}^{-1}$ y pH de 5,6. (Tabla 9 y Tabla 10).

Tabla 9

*Macronutrientes (mg.L^{-1}) de la solución nutritiva del cultivo de frutilla (*Fragaria*×*ananassa*) variedad festival*

Fuente	(mg.L^{-1})
NO ₃	8,3
NH ₄	0,8
H ₂ PO ₄	1,6
K	3,9
Ca	5,2
Mg	3,0
SO ₄	3,0

Fuente: (Furlani & Fernandez, 2004)

Tabla 10

*Micronutrientes (mg.L^{-1}) del cultivo de frutilla (*Fragaria*×*ananassa*) variedad festival*

Fuente	(mg.L^{-1})
B	2,8
Zn	1,98
Cu	0,54
Mn	1,81
Mo	0,27
Fe	33,33

3.3.8.3.3 Deshierba

Dependiendo de la cantidad de malezas, se deshierbó en forma manual una vez al mes; ya que la capacidad de interferencia que tiene el cultivo de frutilla con las malezas es muy baja debido a que su arraigamiento es superficial. Los aspectos negativos de las malezas en las frutillas pueden resumirse en competencia por agua, nutrientes, mayor presión de enfermedades, nematodos, insectos, disminución de la producción etc. (Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile, 2013).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase 1

4.1 Evaluación de la etapa fenológica de la floración de la planta de frutilla (*Fragaria* × *ananassa*) variedad festival de mayor concentración de polen.

La concentración de polen de acuerdo a la etapa fenológica en el estadio de floración (tabla 11) fue evaluada posterior a las 24 horas de recolección de flores, presentando diferencias significativas en el estadio 2 ($F=48,70$; $p=0,0002$), es decir que el estadio que contiene mayor cantidad de polen es cuando los estolones de la planta de frutilla inician floración y presentan alrededor del 10% de flores abiertas (E2), mientras que el estadio 1 y 3 no presentan una cantidad considerable de polen.

Tabla 11

*Análisis de varianza (ANAVA) de la concentración de polen.mL⁻¹ en los estadios de floración de frutilla (*Fragaria* × *ananassa*) variedad festival.*

Fuente	Concentración de polen.mL ⁻¹
Estado	*
Tratamiento	
E1	$3,33 \times 10^4 \pm 3,33 \times 10^4$ a
E2	$8,8 \times 10^6 \pm 2,79 \times 10^6$ b
E3	$1,66 \times 10^5 \pm 3,33 \times 10^4$ a

*medias con letras distintas son significativamente diferentes. E1: primeras flores abiertas, E2: alrededor de 10% de flores abiertas, E3: flores secundarias y terciarias, abiertas; caen los primeros pétalos

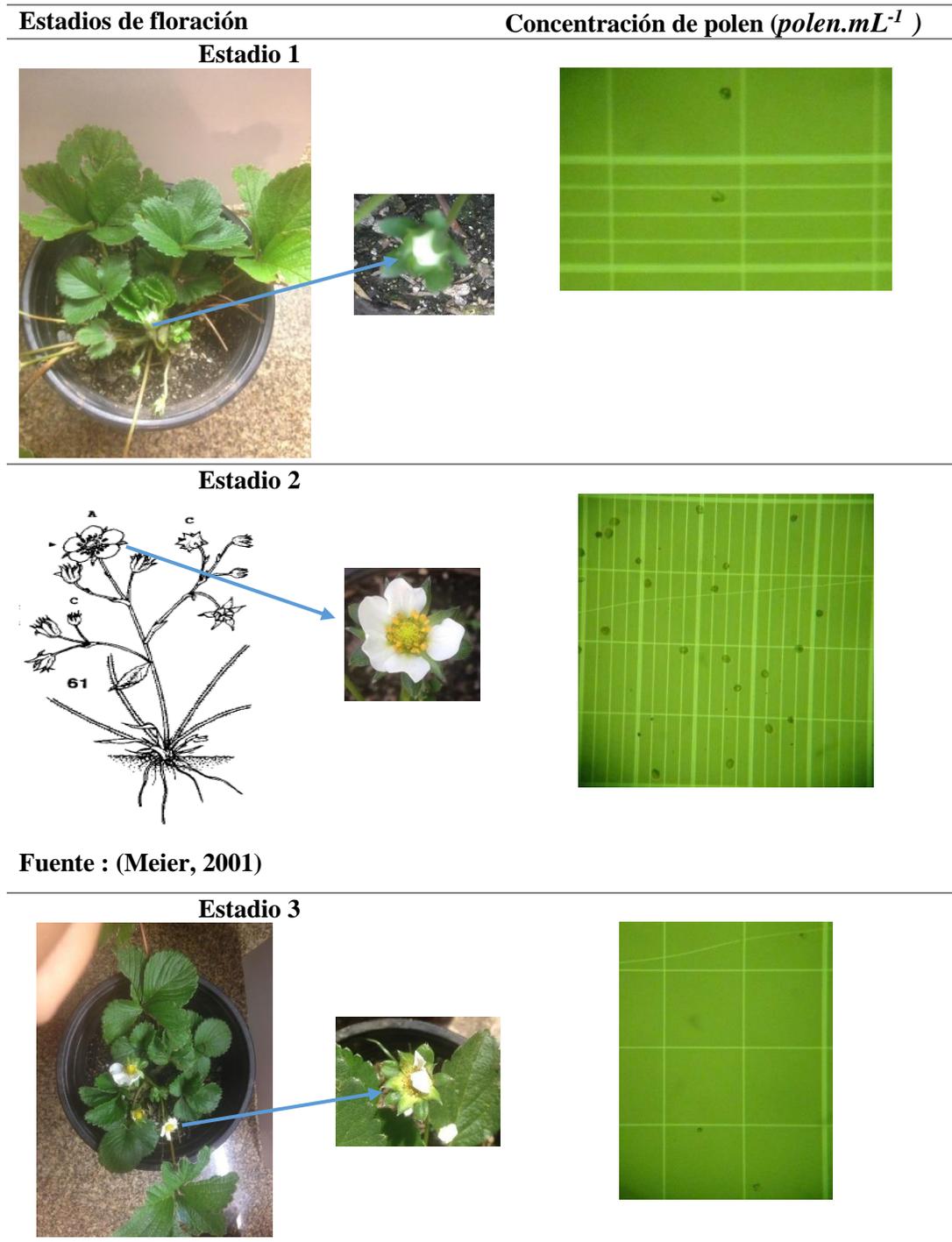


Figura 7 Concentración de polen.mL^{-1} en la etapa fenológica de floración del cultivo de frutilla (*Fragaria* × *ananassa*) variedad festival

En el presente estudio, la mayor concentración de granos de polen se presentó en el estadio fenológico de floración en donde las flores presentan antesis, es decir que el órgano floral está completamente abierto, la coloración de las anteras es amarillo intenso y la dehiscencia de los estambres es notoria, con una ligera oxidación en las anteras, lo que concuerda con lo expresado por (Perez Trujillo , 2014) quien manifiesta que la apertura floral de la frutilla se presentó a través de la turgencia y ligeros rasgos de oxidación en las anteras, estas flores se clasificaron en el estado de flor completamente abierta con anteras iniciando oxidación. Además Meier (2001), menciona que el estadio en donde las flores presentan dehiscencia de polen es al inicio de la floración, en donde se encuentran alrededor del 10% de flores abiertas y tienen la cantidad de polen adecuado para que ocurra el proceso de germinación.

Tomando de partida la fase 1 en la fase dos se realizó lo siguiente:

4.2 Evaluación de tres fuentes de boro (ácido bórico, Borón y quelato de boro) en diferentes dosis (0, 100 y 200 mg.L⁻¹) y tres horas de recolección de polen sobre la germinación *in vitro* de polen, crecimiento del tubo polínico y diámetro del polen de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival a las 2 y 4 horas de incubación para determinar la fuente y dosis óptima.

Para la interacción triple fertilizante × dosis × hora de recolección se encontraron diferencias significativas sobre la variable porcentaje de germinación (F=2,55; p=0,0195) y largo del tubo polínico (F=2,75; p= 0,0127), mientras que para diámetro del polen las interacciones dobles Fertilizante × Dosis (mg.L⁻¹) (F=17,98; p= 0,0001), Fertilizante × Hora de Recolección (F=15,48; p=0,0001) y Dosis (mg.L⁻¹) × Hora de Recolección del polen (F= 3,06; p= 0,0241) fueron

significativas; la interacción triple Fertilizante \times Dosis \times Hora de Recolección no fue significativa (Tabla 14).

En la tabla 12 se presenta la comparación de medias con la prueba DCG con una confiabilidad del 5%, de las variables mencionadas. Al colocar diferentes tipos de dosis de ácido bórico, Borón y quelato de boro como medio nutritivo para el desarrollo de los granos de polen se obtuvo 43,33 % de germinación con el tratamiento 200 mg.L⁻¹ de ácido bórico bajo las condiciones climáticas que se presentaron a las 11 am (Temperatura de 24,25 °C; 34 % de Humedad Relativa; 23,82 μ mol de Radiación UV y 1 463,33 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR), mientras que el menor crecimiento (5,66%) se presentó teniendo como fuente al Borón (200 mg.L⁻¹) y bajo una temperatura de 22,59 °C, 37,57 % de humedad relativa, 3,73 μ mol de radiación UV y 210,75 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de luz PAR (14 pm) ; con relación al testigo (Sin fuente de boro) se obtuvo una germinación del 6% tomando en consideración una temperatura de 26,5°C, 42,04% de humedad relativa, 3,2 μ mol de radiación UV y 123,42 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR.

En la tabla 14 se encuentra la comparación de medias con la prueba DCG al 5% de la variable diámetro de polen; al aplicar 100 mg.L⁻¹ de Borón y con las condiciones climáticas que se presentaron a las 11 am (Temperatura: 24, 25 °C, Humedad relativa: 33,81%, Radiación UV: 23,82 μ mol y Luz PAR: 1 463, 33 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) el diámetro tuvo un crecimiento de 27,59 μ m; mientras que se obtuvo un crecimiento de diámetro menor de 23,55 μ m al aplicar 200 mg.L⁻¹ de ácido bórico con 24,25 °C de temperatura , 34 % de Humedad Relativa; 23,82 μ mol de Radiación UV y 1463.33 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR respectivamente. Respeto a este resultado el Borón estimula el crecimiento del diámetro lo cual termina en plasmólisis inhibiendo el crecimiento del tubo polínico, por lo que no se considera una característica positiva.

Tabla 12

Análisis de varianza (ANAVA) del efecto de tres fuentes de boro (Borón, ácido bórico y quelato de boro), tres tipos dosis (mg.L⁻¹) de boro y tres horas de recolección de polen sobre germinación (%), largo del tubo polínico (µm).

Fuente	Germinación (%)	Largo del tubo polínico (µm)
Fertilizante (F)	*	*
Dosis (D)	NS	*
Hora de recolección (HR)	*	*
F X D	*	*
F X HR	*	*
D X HR	NS	*
F X D X HR	*	*
Tratamientos		
F1D0T1	0,31 ±0,03 a	9,42± 1,37 b
F1D0T2	0,40 ±0,01 a	16,37±3,43 b
F1D0T3	0,12 ±0,05 b	8,89± 4,76 b
F1D1T1	0,08 ±0,01 b	1,43 ± 0, 18 c
F1D1T2	0,28 ± 0,01 a	5,89 ± 1, 19 c
F1D1T3	0,16 ± 0,08 b	5,59 ± 3,39 c
F1D2T1	0,16± 0,08 b	1,62 ± 0,28 c
F1D2T2	0,25 ±0,02 a	5,68 ±0,58 c
F1D2T3	0,06 ±0,01 b	1,68 ± 0,78 c
F2D0T1	0,27± 0,04 a	4,49 ± 0,86 c
F2D0T2	0,31 ±0,06 a	5,29 ±1,66 c
F2D0T3	0,26 ±0,07 a	26,91± 9,46 b
F2D1T1	0,39 ±0,05 a	33,76 ±13,26 b
F2D1T2	0,38±0,02 a	23,41 ±1,02 b
F2D1T3	0,43 ±0,05 a	88,27± 12,50 a
F2D2T1	0,28 ±0,07 a	17,67 ±6,93 b
F2D2T2	0,43 ±0,02 a	18,84 ±2,43 b
F2D2T3	0,19 ± 0,05 b	19,45 ±10,25 b
F3D0T1	0,06± 0,03 b	1,47 ± 0,83 c
F3D0T2	0,08 ± 0,02 b	1,52 ± 0,67 c
F3D0T3	0,13± 0,05 b	2,46 ± 0,98 c
F3D1T1	0,19 ± 0,03 b	3,76 ± 0,51 c
F3D1T2	0,14 ± 0,03 b	4,08 ± 0,95 c
F3D1T3	0,20 ±0,05 b	5, 11± 0,94 c
F3D2T1	0,24 ±0,05 a	9,25 ± 2,89 b
F3D2T2	0,13 ± 0,06 b	5,71 ± 3,69 c
F3D2T3	0,21 ± 0,004 b	12,97 ± 1,08 b

*valores en la columna seguidas por la misma letra son significativamente diferentes (P≤0,05); Prueba DCG, F1D0T1: Tratamiento con borón, 0 mg/L a las 8:00 am, F1D0T2: Tratamiento con borón, 0 mg/L a las 11: 00 am, F1D0T3:Tratamiento con borón, 0 mg/L a las 14:00 pm, F1D1T1:Tratamiento con borón, 100 mg/L a las 8:00 am, F1D1T2: Tratamiento con borón, 100 mg/L a las 11:00 am, F1D1T3:Tratamiento con borón, 100 mg/L a las 14:00 pm, F1D2T1:Tratamiento con borón, 200 mg/L a las 8:00 am, F1D2T2: Tratamiento con borón, 200 mg/L a las 11:00 am, F1D2T3 :Tratamiento con borón, 200 mg/L a las 14:00 pm, F2D0T1: Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 8:00 am, F2D0T2:Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 11: 00 am, F2D0T3: Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 14: 00 pm, F2D1T1: Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 8: 00 am, F2D1T2: Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 11:00 am, F2D1T3: Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 14:00 pm, F2D2T1: Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 8:00 am, F2D2T2:Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 11:00 am, F2D2T3:Tratamiento con ácido bórico, 0 mg/L a las 14:00 pm, F3D0T1:Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 8:00 am, F3D0T2:Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 11:00 am, F3D0T3:Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 14:00 pm, F3D1T1:Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 8:00 am, F3D1T2:Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 11:00 am, F3D1T3:Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 14:00 am, F3D2T1:Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 8:00 am, F3D2T2 :Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 11:00 am, F3D2T3:Tratamiento con quelato de boro, 0mg/L a las 14:00 pm

Tabla 13

Porcentaje de germinación y longitud del tubo polínico más sobresalientes y viceversa bajo el efecto del fertilizante, dosis y hora de recolección de polen de frutilla (Fragaria × ananassa) variedad festival

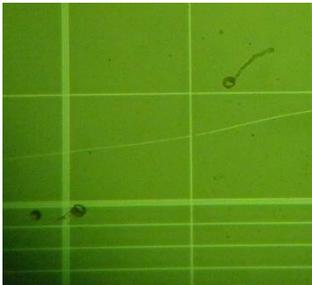
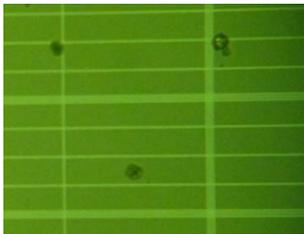
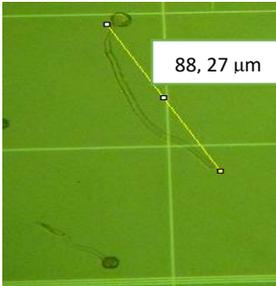
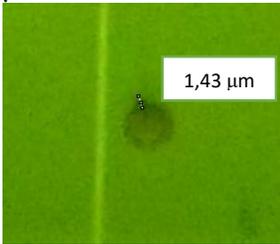
Condiciones climáticas	Fertilizante	Grafico
11 am - 24,25 °C Temperatura - 34 % de Humedad Relativa - 23,82 μmol de Radiación UV - 1463,33 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR	Ácido bórico 200 mg.L^{-1}	Porcentaje de germinación 43 % 
14 pm - 22,59 °C de temperatura - 37,57 % de humedad relativa - 3,73 μmol de radiación UV - 210,75 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR	Borón 200 mg.L^{-1}	Porcentaje de germinación 5,66 % 
14 pm - 22,04 °C de temperatura - 39 % de humedad relativa - 3,83 μmol de radiación UV - 210,76 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de luz PAR	ácido bórico 100 mg.L^{-1}	Largo del tubo polínico 88,27 μm 
8 am - 19,4 °C de Temperatura - 54,17 % de humedad relativa - 7,67 umol de Radiación UV - 481,85 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR	Borón 100 mg.L^{-1}	Largo del tubo polínico 1,43 μm 

Tabla 14

Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de tres formas químicas del boro (Borón, ácido bórico y quelato de boro), tres tipos concentración (mg.L⁻¹) de boro y tres horas de recolección de polen sobre el diámetro del polen (µm).

Fuente	Diámetro del polen
Fertilizante (F)	*
Dosis (D)	*
Hora de recolección (HR)	NS
F×D	*
F×HR	*
D×HR	*
F×D×HR	NS
Tratamientos	
Fertilizante × Dosis (F× D)	
F1D0	24,07± 0,49 b
F1D1	27,59± 0,50 a
F1D2	27,28± 0,50 a
F2D0	24,10± 0,63 b
F2D1	24,33± 0,40 b
F2D2	23,91± 0,39 b
F3D0	25,19± 0,28 b
F3D1	24,83± 0,44 b
F3D2	24,44± 0,27 b
Fertilizante × Hora de recolección (F× HR)	
F1T1	26,76±0,47 a
F1T2	27,48±0,68 a
F1T3	24,70±0,70 c
F2T1	24,61±0,53 c
F2T2	23,55±0,54 c
F2T3	24,17±0,28 c
F3T1	24,32±0,24 c
F3T2	24,57±0,33 b
F3T3	25,57±0,33 c
Hora de recolección × Dosis (HR × D)	
T1D0	25,33±0,26 a
T1D1	25,42±0,65 a
T1D2	24,95±0,70 a
T2D0	24,22±0,54 b
T2D1	25,68±0,89 a
T2D2	25,71±0,79 a
T3D0	23,82±0,55 b
T3D1	25,65±0,39 a
T3D2	24,97±0,35 a

* Valores en la columna seguidas por la misma letra son significativamente diferentes ($P \leq 0,05$); Prueba DCG. F1D0: Tratamiento con dosis de borón de 0 mg.L⁻¹, F1D1: Tratamiento con dosis de borón de 100 mg.L⁻¹, F1D2: Tratamiento con dosis de borón de 200 mg.L⁻¹, F2D0: Tratamiento con dosis de ácido bórico de 0 mg.L⁻¹, F2D1: tratamiento de ácido bórico con de 100 mg.L⁻¹, F2D2: tratamiento con dosis de ácido bórico de 200 mg.L⁻¹, F3D0: tratamiento de quelato de boro con 0 mg.L⁻¹, F3D1: tratamiento de quelato de boro con 100 mg.L⁻¹, F3D2: Tratamiento de quelato de boro con 200 mg.L⁻¹, F1T1: tratamiento con borón a las 8 am, F1T2: Tratamiento con borón a las 11 am, F1T3: tratamiento con borón a las 14 pm, F2T1: tratamiento con ácido bórico a las 8 am, F2T2: tratamiento con ácido bórico a las 11 am, F2T3: tratamiento con ácido bórico a las 14 pm, F3T1: tratamiento con quelato de boro a las 8 am, F3T2: tratamiento con quelato de boro a las 11 am, F3T3: tratamiento con quelato de boro a las 14 pm, T1D0: tratamiento con 0 mg.L⁻¹ a las 8 am, T1D1: tratamiento con 100 mg.L⁻¹ a las 8 am, T1D2: tratamiento con 200 mg.L⁻¹ a las 8 am, T2D0: tratamiento con 0 mg.L⁻¹ a las 11 am, T2D1: tratamiento 100 mg.L⁻¹ a las 11 am, T2D2: tratamiento con dosis 200 mg.L⁻¹ a las 11 am, T3D0: Tratamiento con dosis 0 mg.L⁻¹ a las 14 pm, T3D1: Tratamiento con dosis 100 mg.L⁻¹ a las 14 pm, T3D2: tratamiento con dosis 100 mg.L⁻¹ a las 14 pm.

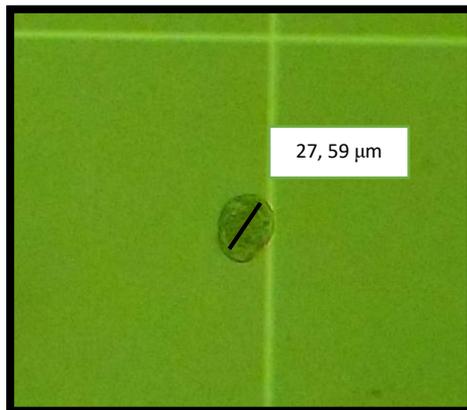


Figura 8 Diámetro del polen bajo el efecto del fertilizante, dosis y hora de recolección de polen de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival.

Para el largo del tubo polínico el tratamiento con 100 mg.L^{-1} de ácido bórico registró un crecimiento de $88,27 \text{ μm}$ con las condiciones climáticas que se registraron a las 14 pm (temperatura de $22,04 \text{ °C}$, 39% de humedad relativa, $3,83 \text{ μmol}$ de radiación UV y $210,76 \text{ umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de luz PAR), la menor longitud del tubo polínico fue $1,43 \text{ μm}$ teniendo como fuente al Borón con 100 mg.L^{-1} lo cual está asociado al clima (Temperatura: $19,4\text{°C}$, humedad relativa: $54,17\%$, Radiación UV: $7,67 \text{ umol}$ y Luz PAR : $481,85 \text{ umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) que se presentó durante la recolección del polen.

La incubación a las 2 y 4 horas no tuvo un efecto significativo sobre las variables analizadas (Tabla 12). En la tabla 13 se puede apreciar la ilustración de estas dos variables según el tratamiento.

El porcentaje de germinación está ligado al crecimiento del tubo polínico, se presentó alrededor del $43,33 \%$ de germinación, usando como medio de cultivo ácido bórico en una concentración de 200 mg.L^{-1} con 10% de sacarosa con un pH de $6,90$, lo cual está acorde con el

estudio realizado por (Chico, 2016) quien usó como medio de germinación de polen 200 mg.L⁻¹ de ácido bórico con un incremento de sacarosa al 20% , 0,2 ml de polisorbato 20, conocido comercialmente como tween 20, esta dosificación incremento el porcentaje de germinación a 36,61% sobre el clon comercial de Naranjilla. Aunque (Reddy & Kakani, 2007) citado por (Aramendiz, Cardona, & Lugo, 2012), obtuvieron buenos resultados al aplicar en su medio de germinación 10 % de sacarosa, 500 mg de nitrato de calcio, 120 mg de sulfato de magnesio, 100 mg de nitrato de potasio y 120 mg de ácido bórico disueltos en 1000 ml de agua destilada y ajustando el pH a 6,0.

El tubo polínico registró un crecimiento de 88, 27 μm con 100 mg.L⁻¹ de ácido bórico y 10% de sacarosa así como el diámetro del grano del polen de frutilla var. Festival registró un desarrollo 27,59 μm con 100 mg.L⁻¹ de Borón más 10% de sacarosa con las condiciones climáticas que se registraron a las 14pm y 11 am respectivamente, las cuales se detallan en los resultados; tanto el crecimiento del tubo polínico y la longitud del diámetro se asocian a la germinación por lo que las diferentes dosis y fuentes que se usaron demostraron resultados significativos, es decir que la estructura del grano del polen y el medio se relacionan, lo cual concuerda con (Swanzger, 2006) en donde se evidenció que el ambiente requerido para la germinación de polen *in vitro* tiene afinidad con la composición genética así como con la calidad y cantidad de reservas de nutrientes del polen, por lo que algunas especies requieren medios de cultivos más complejos.

Por otro lado otro estudio realizado por (Parés , Basso, Jauregui, & Melendez, 2006), en papaya registró una germinación de polen de 85% y 90% después de una hora de haber sido colocados en el medio con agar y sacarosa, mientras en este trabajo se registró 43.33% de germinación lo cual hace indispensable la adición de elementos como fuentes de boro junto con

sacarosa en una cantidad adecuada ya que según (Rodríguez, 2012), en el estigma de los carpelos se produce una sustancia pegajosa muy rica en azúcares que facilita la adherencia de los granos y promueve la germinación, el polen al entrar en contacto con el estigma absorbe estos líquidos azucarados que segregan las papilas del estigma, se hinchan, rompen su cubierta externa e inician la formación del tubo polínico, parte de esta sustancia azucarada es la sacarosa, por lo que la germinación y crecimiento del tubo polínico son más rápidos cuando se incrementa la concentración de sacarosa.

Se registró ruptura de la pared del grano del polen, inhibiendo el crecimiento del tubo polínico y provocando que el diámetro aumente y se genere plasmólisis, este fenómeno según (Margarito & Quintero Nuñez, 2006) se debe a que el grano de polen al entrar en contacto con el agua se rompen por choque osmótico, sin embargo (Tieghkm, 1876) menciona que el grano de polen no se rompe en todas las especies, así como *Fritillaria imperialis* que se encuentra dentro de la familia Liliaceae, más bien este produce un tubo polínico extremadamente largo, por todo lo citado la ruptura del grano del polen se relaciona con la especie, con su estructura y con las condiciones en las que este se encuentre para germinar.

El porcentaje de germinación (43,33%), largo del tubo polínico (88,27 μm) y diámetro del polen (27,59 μm), con los medios respectivos se encuentran registrados en la tabla 13 y 15, se observó que bajo las condiciones climáticas que se presentaron a las 11 am (Temperatura de 24,25°C; 34 % de Humedad Relativa; 23,82 μmol de Radiación UV y 1463,33 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR) para porcentaje de germinación y diámetro del polen (Temperatura: 24, 25°C, Humedad relativa: 33,81%, Radiación UV: 23,82 μmol y Luz PAR: 1463, 33 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) mostraron diferencias significativas, sin embargo el largo del tubo polínico fue significativo para el entorno que existió a las 14 pm (temperatura de 22,04 °C, 39 % de humedad relativa, 3,83

μmol de radiación UV y $210,76 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de luz PAR), lo cual indica que las variaciones de temperatura, radiación UV, luz PAR, y humedad relativa se consideran responsables de viabilidad polínica. Lo cual resulta similar al estudio realizado por (Burke, Velten, & Oliver, 2002) en algodón, quienes manifiestan que la germinación óptima del polen y el rápido alargamiento del tubo polínico se produjeron entre 28 y 31°C bajo 80% de humedad relativa; sin embargo la disminución de la germinación del polen se produjo a temperaturas superiores a 32°C , además la evaluación del polen que se tomó a las 14 pm de plantas de algodón cultivadas en campo, mostraron que el polen de las flores expuestas a la luz solar directa tuvo una viabilidad reducida en comparación con el polen de las flores que se tomaron dentro de invernadero, lo cual el autor menciona que podría atribuirse al hecho que las flores de plantas de algodón cultivadas en campo expuestas a la luz solar total experimentaron temperaturas internas de hasta 39°C , muy por encima de los 28 a 31°C óptimos para la germinación de polen.

Por otro lado una investigación realizada por (Polania Trujillo, 1952) en el cultivo de cacao, en donde se manifiesta que se requiere una temperatura adecuada al inicio de la florescencia para que ocurra el proceso de germinación, por lo que (Voelcker, 1936) citado por (Polania Trujillo, 1952) menciona que las variaciones de temperatura interrumpen el proceso de crecimiento del tubo polínico lo cual provoca la destrucción del gameto masculino. Así mismo (Duhan, 1949) mencionado por (Polania Trujillo, 1952), manifiesta que el incremento de temperatura genera una rápida maduración del polen lo cual provoca destrucción del saco polínico. La humedad relativa acompañada de lluvia provoca hinchamiento y ruptura prematura del saco polínico perdiéndose en gran parte el polen, en su metodología no se observó este fenómeno sin embargo se dificultó la germinación cuando la temperatura era baja y las flores se encontraban impregnadas de rocío. La luz es otro factor que se analizó, esta provocó la

dehiscencia de las anteras y aceleró la maduración del gameto masculino, además se encontró un mayor porcentaje de germinación durante las primeras horas de la mañana asegurando un mayor crecimiento del tubo polínico, este fenómeno es contrario a la investigación realizada en frutilla var. Festival ya que el mayor porcentaje de germinación se presentó a las 11 am cerca del medio día con una radiación UV de 23.82 μmol y de 1463.33 $\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR y una temperatura de 24.25°C; el autor evidenció que la luz se relaciona con la sombra ya que esta ejerce influencia en el desarrollo del tubo polínico.

4.3 Evaluación de las condiciones climáticas en tres tiempos de recolección de polen de frutilla (*Fragaria xananassa*) variedad festival para determinar el mayor porcentaje de germinación de los granos de polen

En la tabla 16 se muestran los resultados de correlación entre el porcentaje de germinación, temperatura, humedad relativa, radiación UV y luz PAR, demostrando que se encontró una correlación positiva entre luz PAR ($\text{umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) vs germinación de polen ($r=0,28$; $p=0,01$) y temperatura (°C) ($r=0,46$; $p=1,9 \times 10^{-5}$), además de radiación UV (μmol) frente a germinación (%) ($r=0,34$; $p=1,8 \times 10^{-3}$) y temperatura (°C) ($r=0,39$; $p=3,3 \times 10^{-4}$), con lo cual se puede evidenciar que el porcentaje de germinación es mayor cuando existe mayor luz PAR, temperatura y radiación UV. También se encontró una correlación negativa entre humedad relativa vs germinación de polen ($r= - 0,29$; $p=0,01$) con lo que se evidencia que a mayor humedad relativa se presenta menor porcentaje de germinación.

La germinación de polen con relación a la radiación UV fue positiva, es decir que mientras esta se incrementó también aumentó la germinación, lo cual concuerda con (Torabinejad, Caldwell, Flint, & Durham, 1998), quienes realizaron un estudio sobre la

susceptibilidad del polen a la radiación UV sobre 34 taxones; él manifiesta que al intensificar la radiación UV, aparecen alteraciones en los procesos fisiológicos, como la germinación polínica, la cual aumenta bajo el efecto de la radiación UV, sin embargo los mismos autores manifiestan que a pesar que la germinación incrementó el tubo polínico presentó una reducción en su crecimiento principalmente en plantas monocotiledóneas así como en la familia Rosácea a la cual pertenece la frutilla.

Tabla 15

*Análisis del coeficiente de correlación de Pearson para las variables climáticas medidas sobre la germinación in vitro de polen de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival.*

Variabes	Germinación (%)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Luz PAR (umol/m/s)	Radiación UV (umol)
Germinación (%)	1	0,42	0,01	0,01	$1,8 \times 10^{-3}$
Temperatura (°C)	-0,09	1	$8,0 \times 10^{-12}$	$1,9 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-4}$
Humedad relativa (%)	-0,29	-0,67	1	$1,8 \times 10^{-8}$	$9,2 \times 10^{-10}$
Luz PAR (umol/m/s)	0,28	0,46	-0,58	1	0
Radiación UV (umol)	0,34	0,39	-0,62	0,98	1

*Significancia $p \leq 0,05$ respectivamente.

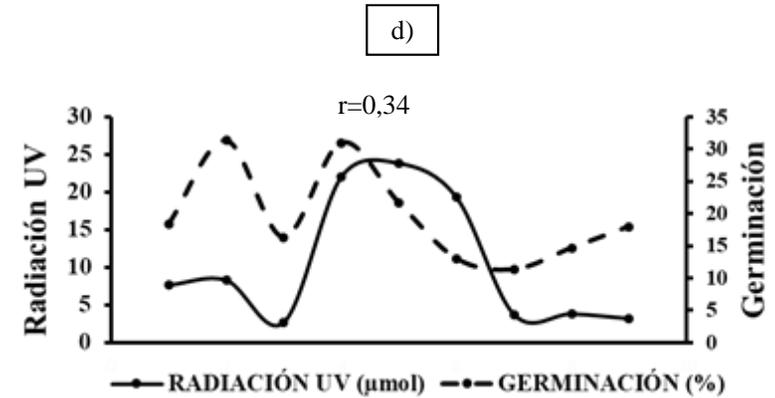
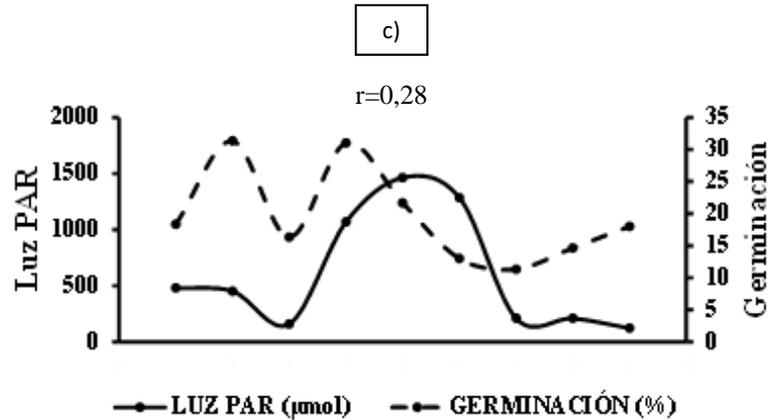
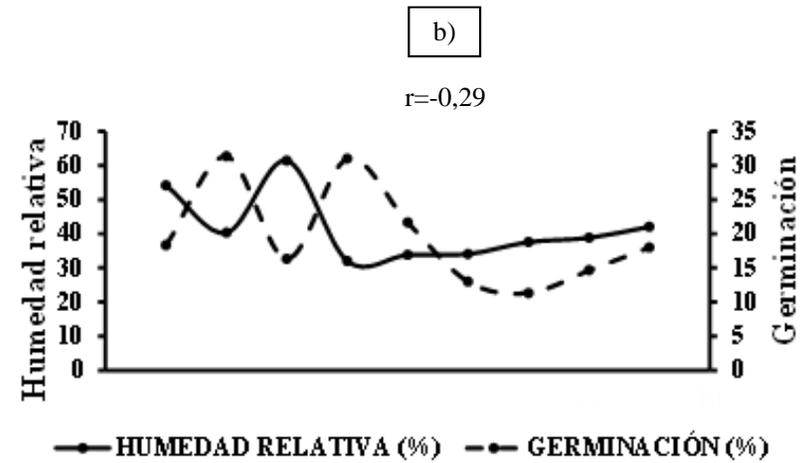
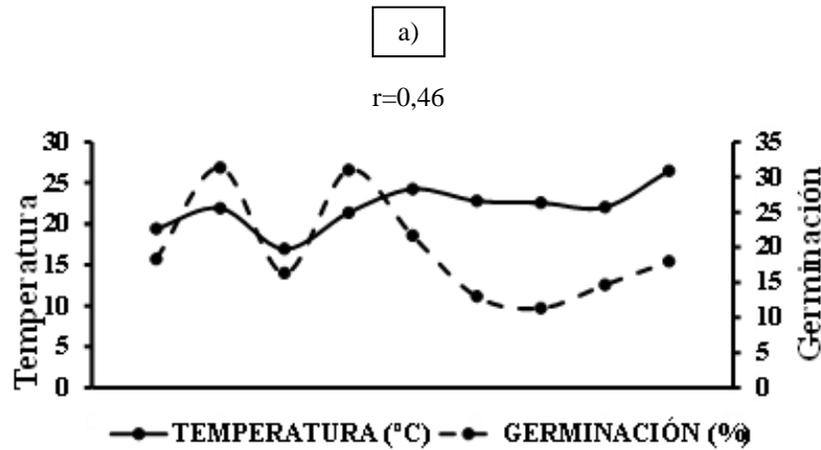


Figura 9 Relación de las condiciones climáticas (Temperatura °C, Humedad Relativa %, Radiación UV μmol y luz PAR $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) con el porcentaje de germinación de R (Fragaria x ananassa) variedad festival. a) Temperatura vs Germinación, b) Humedad relativa vs Germinación, c) Radiación UV vs Germinación, d) Luz PAR vs Germinación

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La mayor concentración de polen de frutilla (*Fragaria × ananassa*) variedad festival se presentó al comienzo de la floración de cada estolón, en donde se encuentran alrededor del 10% de flores abiertas (Estadio 2) y los estambres presentan una coloración amarillo intenso.
- El porcentaje de germinación *in vitro* (43,33%) se presentó con 200 mg.L⁻¹ de ácido bórico con una temperatura de 24,25 °C, 34% Humedad Relativa, 23,82 μmol de Radiación UV y 1463,33 μmol.m⁻²s⁻¹ de Luz PAR (11am)
- No se evidenció diferencias significativas a las 2 y 4 horas de germinación
- Se presentó mayor longitud de tubo polínico (88,27 μm) con 100 mg.L⁻¹ de ácido bórico con las condiciones climáticas que se registraron a las 14 pm (22,04 °C, 39 % de Humedad Relativa, 3,83 μmol de Radiación UV y 210 μmol.m⁻²s⁻¹
- El tratamiento que presentó mayor diámetro de polen (27,59 μm) fue 100 mgL⁻¹ de Borón bajo 21,36 °C de temperatura; 32,03% de humedad relativa; 22,03 μmol de radiación UV y 1069,3 umol.m⁻²s⁻¹ de luz PAR (11 am).

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda aplicar fertilizantes a base de boro en la fase reproductiva, es decir al comienzo de la floración de los estolones, en donde las anteras presenten coloración amarilla intensa, estos requerimientos aumentan a 60 ppm en este estadio, de esta manera se asegura una polinización efectiva y junto con ello mayor germinación de polen asegurando la fecundación, formación y amarre del fruto.
- Para una germinación de polen óptima se recomienda usar ácido bórico con una concentración de 200 mg.L^{-1} tomando en consideración una temperatura de 24.25°C ; 33,81% de humedad relativa; $23.82 \mu\text{mol}$ de radiación UV y $1463.33 \text{ umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de Luz PAR, debido a que las condiciones que se encuentran en el entorno afectan la germinación así como el desarrollo del tubo polínico, el éxito de una germinación elevada está en estimar las condiciones adecuadas a las cuales el polen crece.
- Es importante agregar sustancias azucaradas (sacarosa) en los órganos reproductivos (gineceo y androceo) cuando se inicie el proceso de polinización ya que a través de su incremento se asegura un crecimiento y desarrollo del grano del polen.

5.3 Bibliografía

- Acar, I., Erol Ak, B., & Sarpkaya, K. (2010). Effects of boron and gibberellic acid on in vitro pollen germination of pistacho (*Pistacia vera* L.). *African Journal of biotechnology*, 5.
- Acosta , A. (2013). *Repositorio de la Universidad Tecnica de Ambato, Ecuador*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Tecnica de Ambato, Ecuador.
- Adama. (2016). *Adama*. Obtenido de Adama: <http://www.adama.com/chile/es/productos/nutricion-reguladores-crecimiento/bioelictorboro.html>
- Agro tecnologia tropical. (2016). Agro tecnologia tropical. Obtenido de Agro tecnologia tropical: <https://twenergy.com/a/como-influye-la-humedad-ambiental-en-tu-huerto-urbano-2311>
- Alarcón, A. (2016). *InfoAgro*. Obtenido de InfoAgro: http://www.infoagro.com/hortalizas/boro_nutriente_esencial2.htm
- Angulo, R. (2009). *Fresa Fragaria ananassa*. Obtenido de bayer: https://www.cropscience.bayer.co/~media/Bayer%20CropScience/Peruvian/Country-Colombia-Internet/Pdf/Cartilla-FRESA_baja.ashx
- Aramendiz, H., Cardona, C., & Lugo, E. (2012). Germinacion del polen de berenjena (*Solanum Melongena* L.) en condiciones in vitro. Medellin , Colombia.
- Brown, P., Ferguson, L., & Picchioni, G. (1994). *Boron nutrition of pistacho: Third year report*. California .
- Burke, J., Velten, J., & Oliver, M. (2002). Analisis in vitro de la germinacion del polen de algodón. *Sociedad Americana de Agronomia*.
- Caldwell, M., Bjorn , L., Bornman, J., Flint, S., Kulandaivelu, G., Teramura, A., & Tevini, M. (1998). *Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems*. The U.S. Global Change Research Information Office .
- Cárdenas Torres, L. F. (2002). Influencia de la humedad relativa. *Colombia Forestal*, 69-78.
- Chico, C. F. (Diciembre de 2016). *Repositorio digital de la universidad central del Ecuador*. Obtenido de Repositorio digital de la universidad central del Ecuador.
- Chiqui, F. A., & Lema, M. L. (2010). *Universidad politecnica salesiana*. Obtenido de Universidad politecnica salesiana : <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4745/1/UPS-CT001855.pdf>
- Correa, M., Bórquez, A., & Kirschbaum, D. (Enero de 2008). Fertilizacion de frutilla. Argentina.
- Cruz, L., & Hernandez, M. (2000). *Termistodes, 50 cultivos de Exportacion no tradicionales*. Quito.

- Dellinger, M. E. (2012). Estaciones. En M. E. Dellinger, *Cerezo* (pág. 12).
- Demchik, S., & Day, T. (1996). Effect of Enhanced UV-B radiation on Pollen Quantity, Quality, and seed Yield in Brassica rapa (Brassicaceae). *American Journal of Botany*, 573-579.
- Doncel, A. J., Iñiguez, J., & Val, R. M. (1996). Relacion del contenido de boro soluble con distintos parametros edaficos y ambientales del suelo de Navarra. Navarra, Navarra, España.
- Duhan, K. (1949). Untersuchungen uber die Blueheverhältnisse un den Eintluss der Pollensorte auf die Fruchtausbildung bei Apfein. 63-82. Viena, Bodenkultur, Francia.
- Fagro. (2012). *Fagro*. Obtenido de Fagro: <http://www.fagro.mx/nutricion-vegetal.html>
- FAO. (2016). *Deposito de documentos de la FAO*. Obtenido de Deposito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s08.htm>
- Fertisa. (2017). *Fertisa*. Obtenido de Fertisa: <https://www.fertisa.com/producto.php?id=4>
- Furlani, P. R., & Fernandez, F. (2004). Cultivo hidropónico de morango em ambiente protegido. *Simpósio Nacional do morango & encontro de pequenas frutas e frutas nativas do mercosul* (págs. 102-115). Embrapa.
- Gonzalez, M. V. (2010). *Repositorio institucional de la Escuela Superior Politecnica de Chimborazo*. Obtenido de Repositorio institucional de la Escuela Superior Politecnica de Chimborazo Ecuador : <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/737/1/56T00255.pdf>
- Guzmán, F. (1991). Polinizacion artificial del guanabano. *Primer urso nacional sobre ganabana*. Tolima.
- Hopkins, W. (1999). *Introduccion to plant Physiology*. Wiley.
- III Censo Nacional Agropecuario, C. d. (2002). *Instituto de Estadisticas y Censos*. Obtenido de Instituto de Estadisticas y Censos.
- Infoagro. (2017). *Infoagro, El cultivo de melon*. Obtenido de Infoagro, El cultivo del melon : http://servicios.laverdad.es/canalagro/datos/frutas/frutas_tradicionales/melon7.htm
- Instituto de investigaciones Agropecuarias de Chile. (2010). *El cultivo de Palto*. Santiago de Chile, Chile.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile. (2013). *Manual de frutilla*. Chillán, Chile.
- Intagri. (2015). Obtenido de <https://www.intagri.com/index.php/articulos/frutillas/sistema-hidroponicos-soluciones-nutritivas-fresa>
- Intagri. (2015). *Intagri*. Obtenido de Intagri: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-bioestimulacion-del-amarre-de-frutos-en-cultivos-hortofruticolas>

- Jaramillo, P., & Trigo, M. (2011). Guía rápida de polen de las islas Galápagos. Santa Cruz, Islas Galápagos, Ecuador.
- Kiger , F. (1998). *Como cultivar fresas y fresones*. Barcelona: Aedos.
- Kohen, E., Santus , R., & Hirschberg, J. (1995). Photobiology. *Academic Press*, 506.
- Lafitte, H. (2016). *FAO*. Obtenido de FAO.
- Margarito, & Quintero Nuñez, M. (2006). Contaminacion y medio ambiente en baja California. En M. Quintero Nuñez, *Contaminacion y medio ambiente en baja California*. Baja California.
- Marschener, H. (2012). *Mineral Nutrition of Higher plants*. San diego: Marschener Petra .
- Martínez Chamorro, C. (2008). *Repositorio digital de la Universidad de Magallanes*. Obtenido de Repositorio digital de la Universidad de Magallanes: http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/martinez_chamorro_2008.pdf
- Meier, U. (2001). *Estadios de las plantas mono y dicotiledoneas*.
- Molina, L., Tapia, J., Vega, P., & Quenallata, K. (2016). *Efecto de la radiacion uv-b en la gerinacion de los granos de polen en Nicotiana gluuca*. Arequipa.
- Morano, M. (2004). *Cultivo de la frutilla* . La Grulla.
- Nyomora, A. M., & Brown, P. H. (1997). Fall foliar applied boron increases tissue boron concentration and nut set of almond. *J.Amer.Soc.Hort. Sci*, 6.
- Omogrosso, N. (9 de diciembre de 2009). *Recursos de aprendizaje para biologia vegetal y ecologia* . Obtenido de Recursos de aprendizaje para biologia vegetal y ecologia : <http://nomogrosso.blogspot.com/2009/12/guia-de-estudio-bps-flores.html>
- Ormrod, D., & Hale, B. (1995). *Physiological Responses and Crops to Ultraviolet-B radiation stress*. Handbook of plant and cropPhysiology.
- Ortega, J. L. (1986). *Flora de interes apicola y polinizacion de cultivos*. Madrid.
- Ozturk, M., Gucel, S., Sakcali, S., & Tombuloglu, h. (2010). *Boron and plats*. Intanbul.
- Padilla, B. F. (2015). efecto de pesticidas convencionales, ecologicos y biologicos sobre la viabilidad del polen en mora de castilla y tomate de arbol. Sangolqui, Pichincha, Ecuador.
- Parés , J., Basso, C., Jauregui, D., & Melendez, L. (2006). Cantidad, viabilidad y germinabilidad de los granos de polen de Carica papaya. *Facultad Agronomica* , 172-180.
- Perez Trujillo , M. M. (2014). *Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia* . Obtenido de Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia : <http://www.bdigital.unal.edu.co/42946/1/790767.2014.pdf>

- Pierre, J. P., & Medori, P. (2007). *Apicultura: Conocimiento de la abeja Manejo de la colmena*.
- Polania Trujillo, H. (25 de Octubre de 1952). Germinacion del polen de cacaco, crecimiento del tubo polinico y cuajamiento: Sus relaciones con el sombrio, el pH del estigma, estados del arbol y periodos estacionales.
- Posnete, A. (1950). Natural Pollination of cocoa in the Gold Coast.
- Promix. (14 de Julio de 2016). *Promix*. Obtenido de Promix: <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-boro-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Radford, A., Dickinson, W., Masey, J. R., & Bell, C. (1974). *Vascular Plant systematic*. Neuva York .
- Rea Otuna, L. O. (2012). *Repositorio digital de la Universidad Tecnica de Babahoyo*. Obtenido de Repositorio digital de la Universidad Tecnica de Babahoyo: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/975/1/T-UTB-FACIAG-AGR-000181.pdf>
- Red Nacional de Semillas Nativas y Criollas. (2016). *Producción de semillas en el predio*. Uruguay.
- Reddy, K., & Kakani, V. (2007). Screening capsicum species of different origins for high temperature tolerance by in vitro pollen germination and pollen tube length. *Scientia Horticulturae*, 130-135.
- Rodriguez, W. (15 de Octubre de 2012). *Biologia.com*. Obtenido de Biologia.com: <http://biologiapuntocom.blogspot.com/2012/10/practico-observacion-de-anteras-y.html>
- Silvestre. (2016). *Silvestre*. Obtenido de Silvestre: http://www.silvestre.com.pe/site/images/Fichas_Tecnicas/FT_BORON_15_F_07.pdf
- Soria, N. (2008). Nutricion Foliar y Defensa Natural . *XI congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, (pág. 11). Quito .
- Swanzger, C. (2006). *Repositorio Pontifica Universidad Catolica de Chile*. Obtenido de Repositorio Pontifica Universidad Catolica de Chile.
- Tieghkm, V. (1876). Fisiologia Vegetal . En V. Tieghkm, *La Naturaleza*.
- Tighe, M. E. (2005). Comparison of 5 pollen storage protocols for subtropical pine species. Tesis (M.Sc) north Carolina State Univeristy. 74.
- TILAWA AGRO. (2014). *TILAWA AGRO*. Obtenido de TILAWA AGRO: <http://tilawaagro.com/wp-content/uploads/2014/08/FICHA-ACIDO-BORICO.pdf>
- Tobar, M. (2007). *Repositorio de la ESPE*. Obtenido de Repositorio de la ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4474/1/T-ESPEL-0407.pdf>

- Torabinejad, J., Caldwell, M., Flint, S., & Durham, S. (1998). Susceptibility of pollen to UV Radiation: An Assay of 34 Taxa. *American Journal of Botany*, 360-369.
- Trujillo, H. P. (1953). Germinacion del polen de cacao, crecimiento del tubo polinico y cuajamiento.
- Tustón, R. G. (Diciembre de 2012). Sistematizacion de expereicnias del cultivo de frutilla (*Fragaria dioica*), para la sierra norte de Pichincha. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Valerio, M. (13 de diciembre de 2012). *Hortalizas*. Obtenido de Hortalizas: <http://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/polinizacion-adeuada-de-tomates/>
- Villaseñor, J. L., & Ortíz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (Division Magnoliophyta) en Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 134-142.
- Voelcker, O. (1936). A estudy of controlled ollination in cacao (*Theobroma cacao*). 39-44.
- Zaratti Sacchetti, F., & Forno Gisbert, R. (2003). *Radiacion ultravioleta en Bolivia*. La paz.