



**UNIVERSIDAD DE TALCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Evaluación de la compatibilidad de polinización de variedades femeninas y masculinas en maqui (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) en la Región del Maule**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**VICTORIA ANDREA VALDERRAMA TIRADO**

**TALCA, CHILE**

**2020**

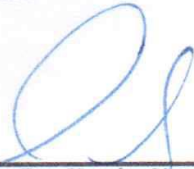
## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2020

APROBACIÓN:



---

Profesor Guía: Dra. Hermine Vogel, Ing. Agr.  
Decana de la Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad de Talca



---

Profesor informante: Ing. Agr. Dra. Benita González  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad de Talca

---

Fecha de presentación de la Defensa de Memoria: 29 de mayo de 2020

## RESUMEN

El maqui, *Aristotelia chilensis*, es una especie nativa de Chile. Sus frutos son demandados por su alto contenido de antocianinas, polifenoles y flavonoides, siendo Chile el principal proveedor mundial de este fruto.

*A. chilensis* es una especie dioica que se propaga por polinización cruzada, la cual es esencial para la producción de fruta. Para asegurar una óptima producción de fruta en una plantación de maqui, es indispensable seleccionar variedades compatibles para la polinización cruzada.

La compatibilidad de las variedades femeninas 'Luna Nueva', 'Morena' y 'Perla Negra' con los polinizadores 'Huiña' y 'Pudú' se estudió en ensayos independientes para cada variedad femenina con polinización manual controlada. En el tratamiento de control sin intervención, las ramas de las flores se marcaron y se les permitió fecundar con cualquier polen. Otro tratamiento con ramas de flores cubiertas evaluó la posibilidad de autopolinización. Se midieron los siguientes parámetros: porcentaje de cuajado de fruta, tamaño de fruta y número de semillas.

El tratamiento control en 'Luna Nueva' mostró un 99% de fruta producida por polinización abierta, casi el doble que los tratamientos de polinización manual con 'Pudú' y 'Huiña'. La polinización abierta también produjo las bayas más grandes, mientras que el número de semillas fue similar para los tratamientos. 'Luna Nueva' no produjo ningún fruto en los ramilletes cubiertos en ausencia de polinización natural o controlada.

En las plantas 'Morena', el conjunto de frutos también fue muy alto en las ramas descubiertas (98%), mientras que solo el 62% de las flores produjeron frutos por polinización manual con cualquier polinizante. El cruce con 'Huiña' produjo bayas significativamente más grandes (141 mg y 6,3 mm de diámetro) que la polinización abierta (88 mg y 5,1 mm). No se observó autopolinización en las plantas 'Morena'.

'Perla Negra' tenía un 100% de fruta en las ramas descubiertas, mientras que el 67% de las flores producían frutos cuando se polinizaban con 'Pudú', y con 'Huiña' solo el 58%. Una planta en particular incluso produjo frutos en flores cubiertas sin polinizar.

## ABSTRACT

Maqui, *Aristotelia chilensis*, is a species native to Chile. Its fruit is demanded for its high content of anthocyanins, polyphenols and flavonoids, Chile being the leading supplier of maqui worldwide.

*A. chilensis* is as a dioecious species propagating by cross-pollination which is essential for fruit production. To assure an optimal fruit set in a maqui plantation it is indispensable to select compatible varieties for cross pollination.

Compatibility of the female varieties 'Luna Nueva', 'Morena' and 'Perla Negra' with the pollinators 'Huiña' and 'Pudú' was studied in independent essays for each female variety with controlled hand pollination. In the control treatment without intervention flower branches were marked and permitted to fecundate with any pollen. Another treatment with covered flower branches assessed possible self-pollination. The following parameters were measured: Percentage of fruit-set, fruit size, and number of seeds.

The control treatment of 'Luna Nueva' showed 99% fruit set by open-pollination, almost twice as much as the hand pollinated treatments with 'Pudú' and 'Huiña'. Open pollination also produced the biggest berries, whereas the seed number was similar for the treatments. 'Luna Nueva' did not produce any fruit on covered braches in absence of natural or controlled pollination.

In 'Morena' plants fruit set was also very high on uncovered branches (98%), whereas only 62% of the flowers produced fruit by hand pollination with any pollinator. Crossing with 'Huiña' produced significant bigger berries (141 mg and 6,3 mm diameter) than open pollination (88 mg and 5,1 mm). No self-pollination was observed on 'Morena' plants.

'Perla Negra' had 100% fruit set on uncovered branches, whereas 67% of the flowers produced fruit when pollinated with 'Pudú', and with 'Huiña' only 58%. One particular plant even produced fruit on covered flowers without pollinating.

## INDICE

1.INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 Hipótesis.....	9
1.2 Objetivo general .....	9
1.3 Objetivo específico.....	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Características generales del maqui.....	10
2.1.1 Descripción .....	10
2.1.2 Distribución geográfica.....	10
2.1.3 Importancia y sus usos .....	11
2.2 Biología floral del maqui.....	12
2.2.1 Distribución de los sexos en las plantas.....	12
2.2.2 Inducción y diferenciación floral .....	12
2.2.3 Floración .....	13
2.4 Polinización .....	14
2.4.1 Tipos de polinización.....	14
2.5 Fecundación y cuaja de frutos .....	15
2.6 Factores que influyen en la polinización y la cuaja de frutos.....	16
2.6.1 Factores internos .....	16
2.6.2 Factores externos.....	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
3.1 Localización del ensayo .....	23
3.2 Condiciones ambientales .....	23

3.3 Material vegetal .....	24
3.4 Metodología del ensayo.....	24
3.5 Variables evaluadas .....	26
3.5.1 Porcentaje de cuaja (%).....	26
3.5.2 Peso promedio de la baya (mg).....	26
3.5.3 Diámetro promedio de la baya (mm) .....	26
3.5.4 Número promedio de semillas por frutos.....	26
3.6 Tratamientos .....	27
3.7 Diseño experimental.....	27
3.8 Análisis de datos.....	27
4. RESULTADOS .....	28
4.1 Compatibilidad en la polinización de la variedad ‘Luna Nueva’ .....	28
4.2 Compatibilidad en la polinización de la variedad ‘Morena’ .....	29
4.3 Compatibilidad en la polinización de la variedad ‘Perla Negra’ .....	30
5. DISCUSION .....	32
6. CONCLUSIONES .....	36
7. CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37



## INTRODUCCIÓN

El maqui es una planta nativa de Chile cuyos frutos son comercializados por su alta actividad antioxidante. Al ser una especie dioica, posee flores femeninas y flores masculinas en arbustos separados, lo que favorece la polinización cruzada.

Actualmente, se han establecido huertos comerciales de maqui, con plantaciones desde la Región de Valparaíso a la Región de Los Lagos que requieren polinizantes compatibles, que garanticen el cuajado de los frutos para lograr una producción exitosa.

En maqui la polinización es principalmente por vía anemófila y entomófila. Las flores masculinas tienden a florecer con algunos días de retraso en relación con las flores femeninas, las cuales aumentan paulatinamente su receptividad al polen compatible. En consecuencia, lograr seleccionar variedades polinizantes que presenten una sincronización oportuna con la floración de las variedades productivas, estimularía una mejor cuaja del fruto.

Estudios en especies como la palma datilera reportan que la fuente de polen afecta el tamaño y la maduración del fruto, siendo este efecto genotipo-dependiente. En maqui, se desconoce si el polen proveniente de distintas variedades polinizantes afecta la cuaja, el tamaño y la calidad del fruto.

La Universidad de Talca en conjunto con Fundación Chile lleva más de una década domesticando esta planta nativa. Actualmente se encuentran con registro provisorio seis variedades comerciales, tres femeninas y tres masculinas. Bajo condiciones de cultivo, se requiere identificar cuáles de las variedades polinizantes son las más adecuadas para cada una de las variedades femeninas y conocer el efecto del polinizador sobre la calidad del fruto.

A continuación, se plantea la hipótesis y objetivos del presente estudio:

### 1.1 Hipótesis

La compatibilidad/incompatibilidad de polinización de las variedades femeninas y masculinas incide en el porcentaje de cuaja, calidad de la baya y número de semillas.

### 1.2 Objetivo general

Determinar la compatibilidad entre las variedades femeninas y los polinizantes de maqui para establecer la mejor combinación de variedades para la producción frutal.

### 1.3 Objetivo específico

Determinar la compatibilidad de los distintos cruzamientos mediante evaluaciones de cuaja y parámetros de calidad de frutos tales como diámetro de la baya, número de semillas y peso de la baya.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Características generales del maqui

#### 2.1.1 Descripción

El maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) pertenece a la familia de las Elaeocarpaceae. Es de hábito arbustivo, perenne y dioico, capaz de alcanzar aproximadamente cinco metros de altura. Presenta ramas delgadas y flexibles de color rojizo cuando son jóvenes, misma coloración que adquieren los pecíolos de las hojas (Vogel *et al.*, 2008). Sus hojas son simples, opuestas y aovado-lanceoladas con bordes dentados y de textura coriácea (Alonso, 2012). Posee fenología foliar invierno-verde debido a que sus hojas emergen en dos periodos: principio de primavera y mediados de verano (Damascos y Prado, 2001). El fruto es una baya de aproximadamente cinco milímetros de diámetro que contiene entre 3 a 4 semillas. Madura entre diciembre y enero, alcanzando una coloración negra violácea brillante y es muy apetecido por aves, las cuales favorecen el esparcimiento de las semillas mediante zoocoria (Vogel *et al.*, 2008).

#### 2.1.2 Distribución geográfica

El maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz.) es considerado una especie nativa de los bosques del sur de Chile y Argentina. En Chile, se distribuye desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Los Lagos, incluyendo la isla Juan Fernández (Vogel *et al.*, 2008), en donde fue introducida en el siglo XX, desplazando las especies nativas de la isla, por lo que allí es considerada una especie invasora (Ricci *et al.*, 2008). En Argentina se han encontrado ejemplares desde Catamarca a Chubut (Benedetti, 2012).

En forma natural, la especie se encuentra asociada a suelos húmedos del valle central, en los faldeos de la cordillera de los Andes y de la Costa, quebradas de bosques, desde cerca del nivel del mar hasta los 2.500 metros de altitud (Valdebenito y Aguilera, 2013).

Según el Catastro de Bosque Nativo (CONAF, 1999) la superficie nacional de maqui bordea las 170.000 ha.

### 2.1.3 Importancia y sus usos

El maqui para la cultura Mapuche es considerado una planta sagrada, por simbolizar la benevolencia y la buena intención (De Mösbach, 2009).

Medicinalmente, su fruto es utilizado para curar diversas dolencias estomacales e intestinales, además se producen bebidas alcohólicas. Por otra parte, el fruto, por su alto contenido de fenoles y antocianinas, ha sido utilizado como colorante para adulterar vinos tintos (Vogel *et al.*, 2008).

Sus hojas en estado fresco son utilizadas en infusiones para aliviar dolores de garganta, tumores intestinales y fiebres, mientras que sus hojas secas pulverizadas son utilizadas como antiséptico para curar cicatrices y heridas (Leal, 2006).

En el año 2017 se registraron volúmenes de exportación de 433 toneladas, generando ganancias cercanas a los 10 millones de dólares (Fernández, 2017).

## 2.2 Biología floral del maqui

### 2.2.1 Distribución de los sexos en las plantas

El maqui es una especie dioica, es decir presenta flores femeninas y masculinas en distintos individuos. Sin embargo, Cárdenas (1998) indica que la especie presentaría una dioecia incompleta, por lo que algunos individuos masculinos son capaces de producir frutos en baja proporción.

### 2.2.2 Inducción y diferenciación floral

La inducción floral se lleva a cabo en el momento que los meristemas realizan la conversión del estado vegetativo al estado reproductivo de la planta, y depende netamente de las condiciones ambientales en que esta se encuentre (Pérez, 2007).

Posterior a la inducción floral, se presenta un proceso llamado diferenciación floral, que da lugar a cambios morfológicos externos. De este modo, las yemas vegetativas en los frutales son más pequeñas y puntiagudas, mientras que las yemas florales se muestran más robustas (Yuri *et al.*, 2002).

Vogel *et al.*, (2014) indican que la diferenciación floral en los brotes en crecimiento de *A. chilensis* se logra a mediados de diciembre, 70 días después de plena flor. Contreras (2013) sugiere que existe una sincronía entre el crecimiento de brotes y los primeros estados de desarrollo reproductivo de la planta, sucediendo lo mismo en la diferenciación floral la cual se efectúa al momento de haberse completado su desarrollo vegetativo.

### 2.2.3 Floración

Las flores son pequeñas, de color amarillo pálido, dispuestas en corimbos ubicados en la parte axilar de las hojas (Marticorena y Rodríguez, 2005; Vogel *et al.*, 2008). La disposición colgante de sus flores la protegen de la lluvia y el rocío (Urban, 1934). Su antesis, dependiendo del genotipo y la ubicación geográfica, ocurre entre octubre y diciembre (Vogel *et al.*, 2008), en donde las flores femeninas abren antes que las flores masculinas (Cárdenas, 1998), manteniendo los estigmas receptivos hasta cuatro días después de antesis (Verdi, 2004). Las flores maduras, principalmente las femeninas, secretan néctar durante las mañanas (Cárdenas, 1998).

#### 2.2.3.1 Flores femeninas

La flor femenina presenta un ovario grueso, trilocular de estilo corto y estigma trífido, el cual está rodeado de estaminodios (Hoffmann, 1997; Marticorena y Rodríguez, 2005).

#### 2.2.3.2 Flores masculinas

La flor masculina presenta 10 a 15 estambres distribuidos en dos verticilos. Sus estambres, de filamentos cortos y delgados, cuentan con anteras vellosas y dehiscentes (Marticorena y Rodríguez, 2005). Presentan un ovario rudimentario ((Hoffmann, 1997; Marticorena y Rodríguez, 2005).

El grano de polen es de forma esferoidal isopolar y radiosimétrico, con un eje polar de 12 a 18,5  $\mu\text{m}$  y un diámetro ecuatorial de 7 a 15,5  $\mu\text{m}$ . Presenta colpos largos con margen y endoapertura difusa (Forcone *et al.*, 2006).

## 2.4 Polinización

### 2.4.1 Tipos de polinización

Se conoce como polinización al intercambio de polen desde los estambres (androceo) hasta el estigma (gineceo) con la finalidad de hacer posible la fecundación, y, por consiguiente, producir frutos y semillas (Pantoja *et al.*, 2014).

Dependiendo del donante del polen al momento de la polinización se distingue entre la polinización cruzada y la autopolinización.

Hoopingarner y Waller (1993) definen autopolinización como la transferencia de polen desde las anteras al estigma de la misma flor, o a estigmas de otras flores de una misma planta o flores de plantas diferentes, pero del mismo genotipo. Este tipo de polinización se produce de forma autónoma y sin ayuda de agentes externos. Sin embargo, este método al ser directo provoca una limitada diversidad genética dentro de la especie, poniendo en riesgo su descendencia.

La polinización cruzada se basa principalmente en el traspaso de polen entre individuos compatibles con características genéticas diferentes (Verdi, 2004), proporcionando variabilidad genética dentro de la población, incrementando la viabilidad de las semillas de manera de perpetuar la especie en el tiempo (Strasburger, 1994).

Para lograr una polinización cruzada adecuada, existen vectores en la naturaleza, los cuales sirven como fuentes transportadoras de polen. Bonilla (2012) señala que la polinización cruzada se puede llevar a cabo de forma abiótica, a través del viento o el agua y también biótica, mediante animales o insectos que sean capaces de transportar el polen. Estos son movidos por la necesidad de encontrar recursos para su alimentación, desarrollo o reproducción (García *et al.*, 2016).

Las angiospermas han sido capaces de desarrollar estrategias para favorecer el cruce genético. La forma más segura de lograrlo es mediante la evolución de flores unisexuales en sistemas dioicos (Nates-Parra, 2016). El maqui se sitúa dentro del grupo de las angiospermas que poseen sistemas reproductivos dioicos, por lo tanto, supone polinización entomófila, es decir, ocurre mediante insectos, principalmente moscardones (Mora, 1999) como también anemófila mediante el viento (Hoffmann, 1982).

## 2.5 Fecundación y cuaja de frutos

La fecundación comienza al momento en que las células de los gametos se reconocen, produciendo una interacción entre ellos, seguido de una activación rápida y sostenida de múltiples eventos celulares y bioquímicos (Sato *et al.*, 2000). Se produce una unión del gameto masculino (polen) con el gameto femenino (óvulo), encontrándose este último en el ovario de la flor. Como estas dos células son haploides, su unión dará origen a un embrión diploide que se encuentra en la semilla (De Francesco, 2000).

Callejas *et al.*, (2004), consideran que en todos los frutales, desde el momento que el tubo polínico llega al ovario, empieza una competencia entre los frutos fecundados, ya que el embrión alojado dentro de la semilla necesita de sustancias de reserva para desarrollarse. Algo similar plantean Ortega *et al.*, (2016) quienes mencionan que luego de la polinización, los tubos polínicos deben competir por el espacio y los nutrientes en el trayecto previo a alcanzar al óvulo.



## 2.6 Factores que influyen en la polinización y la cuaja de frutos

### 2.6.1 Factores internos

#### 2.6.1.1 Compatibilidad

La compatibilidad alude a la capacidad que posee un individuo para producir semillas, ya sea por autopolinización o polinización cruzada, por medio de métodos naturales o artificiales (Loor *et al.*, 2016). La compatibilidad en las plantas se puede clasificar de la siguiente manera:

*Plantas autocompatibles:* Las flores son hermafroditas y pueden fecundarse a sí mismas o a otras flores del mismo árbol.

*Plantas autoincompatibles:* Las flores son hermafroditas, sin embargo, no pueden fecundarse a sí mismas o a flores del mismo árbol y necesitan de otro individuo genéticamente diferente.

A su vez, al momento de realizar cruces entre los individuos, existe la posibilidad de no poder sincronizar el cruce, por razones fenológicas como lo es la dicogamia. Cardoso *et al.* (2018) citando a Barrett (2002), definen la dicogamia como la maduración no simultánea de las partes masculina y femenina de una flor, donde uno de los dos sexos se desarrolla antes que otro. La dicogamia se puede clasificar en dos tipos, cuando la maduración de los órganos sexuales masculinos antecede a la maduración del gineceo, se le denomina protandria. Por el contrario, cuando el androceo retrasa su maduración en relación con la receptividad de los estigmas, se denomina protoginia (Kriebel, 2006)

### 2.6.1.2 Incompatibilidad

Para impedir que ocurra autofecundación, Jiménez-Durán y Cruz-García (2011) señalan que varias especies desarrollan un sistema de incompatibilidad sexual, llevando al pistilo a rechazar su propio polen, aceptando sólo el polen proveniente de plantas genéticamente diferentes.

#### 2.6.1.2.1 Incompatibilidad genética

La incompatibilidad genética se basa en la imposibilidad de una planta a producir semillas a pesar de la viabilidad de sus gametos (Vallejos *et al.*, 2002). Este mecanismo permite al pistilo rechazar su propio polen en cualquier momento entre la polinización y la fecundación y aceptar el de plantas genéticamente diferentes. Esto impediría la endogamia, favoreciendo así, la polinización cruzada (Jiménez-Durán y Cruz-García, 2011).

La incompatibilidad genética, se puede clasificar en dos tipos:

*Incompatibilidad gametofítica:* La incompatibilidad gametofítica ocurre entre los alelos situados en las células del estigma floral y el alelo del gameto en el grano de polen. Cuando el alelo presente en el gameto masculino es igual a uno de los alelos que contienen las células del estigma, el grano de polen germina, pero interrumpe su crecimiento y no logra fecundar la ovocélula. La incompatibilidad gametofítica, está controlada genéticamente por el locus S, allí se alojan dos genes fuertemente ligados, una unidad de transcripción que codifica la determinante masculina con expresión específica en el polen y la otra, la determinante femenina que se expresa exclusivamente en el pistilo (Ávila y Cruz, 2011).

*Incompatibilidad esporofítica:* Para que el grano de polen pueda germinar, este se debe ensamblar al estigma, por lo tanto, debe haber una compatibilidad entre las proteínas de reconocimiento que se encuentran en la esporodermis y los receptores del estigma. De este modo, las características del polen son determinadas por la constitución genética de la planta madre de la cual proviene. Por esto, si existe una relación de dominancia, se manifestará en el comportamiento del polen y generará la reacción de incompatibilidad (Mendoza, 2015).

#### 2.6.1.3 Calidad del polen

Este es un parámetro que incluye tanto la viabilidad del polen, como también la capacidad germinativa de este. Taisma y Varela (2005) definen la viabilidad del polen como la habilidad que tiene el grano de polen para lograr vivir, germinar y desarrollarse, en tanto, la capacidad germinativa del polen hace alusión al desarrollo del tubo polínico.

La viabilidad del polen está determinada por diversos factores internos y externos o medioambientales. Dentro de los factores los factores internos, destacan la duración de la microsporogénesis, la variabilidad genética interespecífica y el metabolismo del polen, mientras que en los factores externos o ambientales predomina la temperatura y el grado de humedad, entre otros (Rejón *et al.*, 2012).

En maqui, la viabilidad de polen se incrementa con la edad de la flor. En condiciones de almacenaje a 5°C, la viabilidad del polen se mantiene intacta los primeros 30 días, disminuyendo a un 60% a los dos meses de almacenado (Cabello, 2003).

#### 2.6.1.4 Receptibilidad del estigma

La receptividad del estigma es definida por Rodríguez-Rojas *et al.*, (2015) como la capacidad que tiene el estigma para recepcionar el grano de polen, para que este se logre adherir e hidratarse y pueda germinar de forma adecuada.

En maqui, el estigma esta receptivo hasta cuatro días después de antesis (Verdi, 2004).

#### 2.6.1.5 Apomixis

El término apomixis agrupa a todos los procesos de formación asexual de semillas. A diferencia de la reproducción sexual, las plantas concebidas por apomixis mantienen el genotipo materno, siendo genéticamente iguales (Koltunow, 2003). Dentro de la apomixis, se encuentran diferentes tipos de reproducción asexual, tales como:

##### 2.6.1.5.1 Partenocarpia

La partenogénesis es un tipo de reproducción sexual que se basa en el crecimiento del gameto femenino, no fecundado (Quero, 2009).

Para Arriagada (2013), la partenocarpia consiste en un fenómeno en donde, ocurre la formación y desarrollo de frutos sin semillas, previa fecundación, encontrándose dentro de ellos solo vestigios de las semillas producto de aborto, o muy pocas en comparación con un fruto normal.

Al momento de requerir frutos para consumo fresco, la partenocarpia es una cualidad deseable y no afecta en el procesamiento, pero para la industria semillera, es totalmente indeseable.

##### 2.6.1.5.2. Apogamia

Se conoce como apogamia a la capacidad de producir un esporofito a partir de un gameto masculino, omitiendo el intercambio de gametos (reproducción sexual) y generado un embrión partenogenético (Rivera, 2015).

Seguí-Simarro (2010) menciona que el fenómeno de apogamia no se presenta naturalmente en angiospermas, sin embargo, puede ser inducida a través del cultivo de polen o de sacos embrionarios.

#### 2.6.1.5.3 Poliembrionía o embrionía adventicia

De acuerdo con Sánchez-Damas (2006) la poliembrionía ocurre cuando se forma más de un embrión dentro de un óvulo, siendo frecuente en la familia de las gimnospermas.

En ocasiones, el embrión se puede desarrollar desde un saco embrionario haploide a partir del óvulo y se le conoce como partenogénesis haploide (Naumova 1993). Esta forma de apomixis es inusual, sin embargo, diversos autores afirman haberla encontrado en maíz y cítricos (Gutiérrez-López et al., 2019).

### 2.6.2 Factores externos

Los factores externos se pueden clasificar en climáticos, nutricionales y de manejo.

#### 2.6.2.1 Factores climáticos

2.6.2.1.1 *Temperatura*: La maduración del polen y apertura de las anteras requiere de temperaturas entre 10 y 30°C, siendo las temperaturas óptimas entre 20°C y 25°C. Temperaturas similares influyen en la tasa de crecimiento del tubo polínico, siendo este más lento cuando las temperaturas son menores a 20°C (Muncharaz, 2017). Chaar y Sánchez (2010) indican que la tasa de crecimiento del tubo polínico, y por consiguiente la fecundación, es afectada por la temperatura. El polen no germina con temperaturas bajo los 5°C o sobre los 35°C (Gil-Albert y Velarde, 1995). La presencia de polinizadores también es un factor por considerar, y la temperatura influye en gran medida en la disponibilidad de estos. Monzón (1998) indica que las abejas se muestran activas a partir de los 12-14 °C. Sin embargo, con temperaturas cercanas a 20°C sus vuelos son más eficientes.

2.6.2.1.2 *Humedad*: Es importante una adecuada humedad relativa para impedir la deshidratación del grano de polen y de los estigmas. Sin embargo, la lluvia, provocaría el arrastre de los granos de polen, desde el estigma o las anteras, al suelo (Gil-Albert y Velarde, 1995) y la disolución del líquido estigmático, afectando el transporte y germinación del grano de polen (Callejas *et al.*, 2004).

2.6.2.1.3 *Viento*: Vientos de más de 10 km/h limitan el vuelo de las abejas y otros insectos polinizadores (Gil, 1995), mientras que estas no vuelan cuando este alcanza los 25km/h (Castillo, 2002).

Tanto la fecundación como la polinización pueden verse intercedidos por:

#### 2.6.2.2 Factores nutricionales

Nutrientes relacionados con la polinización y la cuaja del fruto son el Nitrógeno y el Boro. Una correcta fertilización de Nitrógeno y Boro ayuda a que exista una cuaja exitosa y posterior desarrollo del fruto (Herrera, 2017). El Boro interviene directamente en el proceso de floración, permitiendo la germinación del tubo polínico, favoreciendo la cuaja y desarrollo del fruto (Herrera, 2017)

Ramírez-Gil (2017) señala que aplicaciones foliares de Nitrógeno, aseguran mayor desarrollo de las estructuras reproductivas de la planta, lo que se ve reflejado en una mayor producción final.

#### 2.6.2.3 Factores de manejo

Las especies dioicas necesitan de polinización cruzada para la obtención de frutos, por lo que requieren polen de otro individuo para lograrlo. Por ello, es importante establecer dentro del predio variedades polinizadoras con buena calidad de polen y que logren ser compatibles genética y fenológicamente con la variedad femenina (Ellena *et al.*, 2018).

González citado por Fernández (2017) recomienda para plantaciones comerciales de maqui, establecer un 10% de polinizantes dentro del predio, similar a otras especies como el avellano europeo, donde el porcentaje de polinizante varía entre un 10 a 15% (Ellena *et al.*, 2018). El mismo autor señala una distribución en zigzag o disponer una hilera completa de mínimo dos variedades polinizantes por cada 8 a 9 hileras de la variedad femenina para así cubrir por completo el período de receptividad del estigma.

La presencia de insectos polinizadores dentro del predio incide considerablemente en la polinización de maqui. Mendoza (2012) indica que los insectos visitantes con mayor presencia en flores masculinas de maqui son las especies *Apis mellifera*, *Policana albopilosa* y *Diphaglossa gayi*, siendo estas dos últimas abejas nativas chilenas. Sosenski y Domínguez (2018) señalan que la introducción de polinizadores no nativos como *Apis mellifera* puede afectar la población de insectos nativos, disminuyendo el porcentaje de cuaja afectando la producción de frutos y semillas.

La aplicación de plaguicidas o insecticidas mientras dura la floración también es un punto negativo al momento de la polinización entomófila, ya que entorpece los vuelos de los polinizadores y/o pueden causar su muerte.

Bonometti (2000) citado en Benedetti (2012), señala que las abejas al polinizar el maqui se inclinan por las partes de la planta que tengan mayor luminosidad, dejando de lado las partes más sombreadas. Un buen manejo de poda lograría obtener mayor porcentaje de flores polinizadas.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del ensayo

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Panguilemo, perteneciente a la Universidad de Talca. Este predio cuenta con 128 hectáreas y está ubicado en la Región del Maule, en el kilómetro 245 ruta 5 sur, entre 35°22'12" Latitud Sur y 71°35'50" Longitud Oeste.

El suelo corresponde a la serie de suelo TALCA, el cual se caracteriza por ser sedimentario, moderadamente profundo, formado por sedimentos aluviales y fluvio-glaciares a partir de los principales ríos de la zona, como el Mataquito, Claro y Maule (CORFO, 1964). Presenta textura franca a franco arcillosa en superficie y arcillosa en profundidad, buen drenaje, permeabilidad moderadamente lenta y escurrimiento superficial lento (Rojas, 2005).

Talca presenta un clima templado y cálido, con temperaturas medias de 14,7°C. Según el sistema Köppen-Geiger, la clasifica como Csb, por lo tanto, el clima predominante es el mediterráneo con temperaturas medias que bordean los 11°C en invierno y 20°C en temporada estival (CORFO, 1964).

#### 3.2 Condiciones ambientales

Durante el mes de octubre del 2018, las temperaturas oscilaron entre los 7,6 y 21,3°C (Figura 3.2). Para los días 09 y 16 de octubre, periodo en el cual se llevaron a cabo las polinizaciones dirigidas, las temperaturas máximas registradas fueron de 17,5 y 19,2°C respectivamente.

La humedad relativa media en los días elegidos para la polinización manual registró valores de 68 y 81,3%, sin embargo, al momento de polinizar, la humedad relativa presente en el ambiente fluctuaba entre 41 y 52%. En cuanto al viento, se registró velocidad promedio de 9,2 km/h el día 09 de octubre, mientras que el día 16 de octubre, la velocidad del viento



promedio fue de 3,9 km/h. Finalmente, no se registraron precipitaciones el día 09 de octubre, sin embargo, entre los días 07 y 08 de octubre, se acumularon 9,8 mm, mientras que el día 16 de octubre se registraron 2,6 mm.

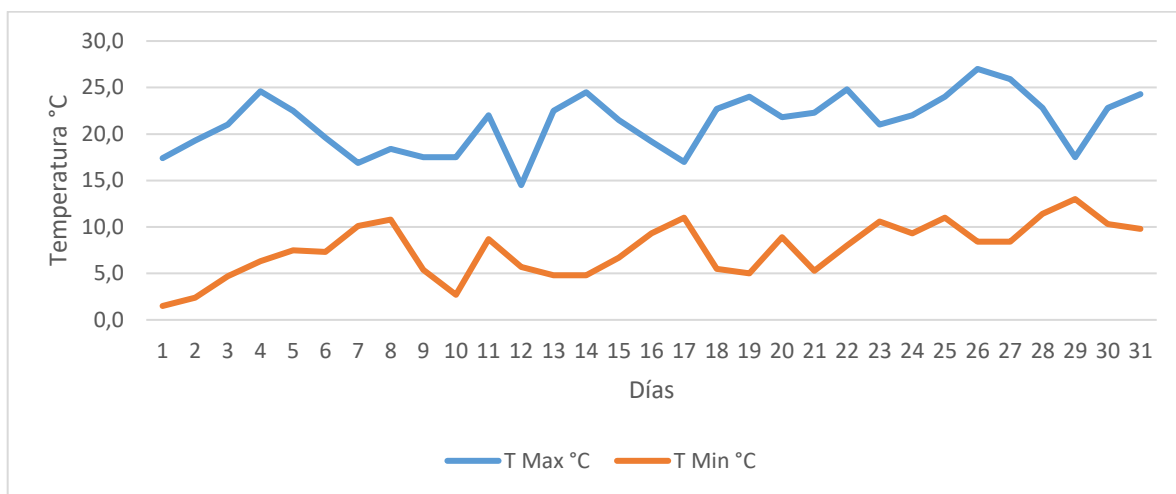


Figura 3.2: Registro de temperatura máxima y mínima durante el mes de octubre de 2018, registradas en la estación agroclimatológica de la Universidad de Talca

### 3.3 Material vegetal

Para el ensayo, se utilizaron tres plantas de la variedad ‘Luna Nueva’, ‘Morena’ y ‘Perla Negra’ respectivamente, establecidas aleatoriamente en la Estación Experimental Panguilemo, en una superficie de 5000 m<sup>2</sup>. El polen aplicado a las variedades femeninas se recolectó desde las variedades polinizantes ‘Pudú’ y ‘Huiña’, también ubicados dentro en la Estación Experimental Panguilemo.

Las plantas estaban dispuestas en camellones altos, para mejorar el drenaje del suelo y evitar que las plantas contrajeran alguna enfermedad a nivel de las raíces que vaya en desmedro en su desarrollo (Zamorano, 2015).

### 3.4 Metodología del ensayo

Para lograr cruzamientos sin contaminación y con el polen deseado, el día 01 de octubre del 2018, se cubrieron 15 ramilletes florales, seleccionados aleatoriamente dentro de cada planta femenina seleccionada.

El ensacado de los ramilletes florales se realizó cuando los botones florales se encontraban cerrados y separados, distinguiéndose cada botón floral de la inflorescencia.

Las bolsas con las cuales fueron cubiertos los ramilletes se confeccionaron a partir de tela antiheladas, material textil no tejido, fabricado a partir de fibras de polipropileno, permeable al aire y moléculas de agua (Zanek *et al.*, 2014). Este material crea una barrera protectora que evita el paso del polen. Cinco ramilletes por planta fueron marcados con cintas de colores como testigo, con el fin de evaluar la polinización bajo condiciones naturales.

Flores masculinas abiertas y con anteras amarillas fueron recolectadas entre las 13:00 y 16:00 horas de los días 9 y 16 de octubre de 2018. Previo al cruzamiento, cada flor masculina fue desprendida de sus pétalos. Los cruzamientos dirigidos fueron realizados en forma manual. Para ello, el ramillete fue descubierto y cada flor femenina abierta fue tocada tres veces con las anteras de la flor donadora de polen. Para finalizar, el ramillete fue identificado con el cruzamiento respectivo y cubierto nuevamente hasta la cosecha de los frutos. Los cruzamientos solo pudieron ser realizados con las variedades polinizantes ‘Huiña’ y ‘Pudú’, puesto que la variedad ‘Vicuña’ no presentó coincidencia en el momento de floración con las variedades femeninas.

Los frutos producidos en los 20 ramilletes florales por planta fueron cosechados el 20 de diciembre del 2018, luego de 60 días de realizada la polinización.

### 3.5 Variables evaluadas

Se determinaron cuatro variables para evaluar el éxito de los cruzamientos, las cuales se detallan a continuación:

#### 3.5.1 Porcentaje de cuaja (%)

Se determinó el porcentaje de cuaja de cada ramillete mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cuaja} = \frac{\text{Número de frutos cuajados}}{\text{Número total de flores en el ramillete}} * 100$$

#### 3.5.2 Peso promedio de la baya (mg)

Para calcular el peso promedio de las bayas, se procedió a pesar en una balanza analítica el total de frutos del ramillete floral, dividiendo el resultado en la cantidad total de frutos. Los datos fueron registrados en mg.

#### 3.5.3 Diámetro promedio de la baya (mm)

El diámetro ecuatorial de cada fruto del ramillete fue medido utilizando un pie de metro digital, en milímetros (mm), dividiendo la sumatoria de diámetros por el número total de frutos del ramillete.

#### 3.5.4 Número promedio de semillas por frutos

Se diseccionó cada fruto para contabilizar el número de semillas dispuestas en su interior, sumando el total de semillas y dividiéndolo por la cantidad de frutos del ramillete.

### 3.6 Tratamientos

Para cada variedad femenina, “Luna Nueva”, “Morena” y “Perla Negra”, se realizó un ensayo independiente, siendo sometida a cuatro tratamientos de polinización:

- ❖ Tratamiento testigo con ramilletes florales descubiertos, expuestos a la polinización natural con agentes polinizadores y polen de cualquier procedencia
- ❖ Polinización manual con polen procedente de la variedad polinizante “Huiña”
- ❖ Polinización manual con polen procedente de la variedad polinizante “Pudú”
- ❖ Ramilletes florales cubiertos sin polinización externa

### 3.7 Diseño experimental

Para la realización de este estudio de compatibilidad de cada variedad femenina se realizaron tres ensayos independientes, con un diseño completo al azar (DCA), con tres repeticiones por tratamiento (plantas) y 5 unidades experimentales (ramilletes florales).

### 3.8 Análisis de datos

Los datos resultantes fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el software Statgraphics centurión XVI. Se verificó el supuesto de homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene. Los datos que presentaban varianzas homogéneas se les aplicó el test de Tukey, mientras que los datos que no cumplieron el supuesto de homogeneidad de varianzas fueron sometidos a la prueba de Kruskal – Wallis, ambos con un valor  $P \leq 0,05$ .

## 4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada ensayo realizado con las variedades ‘Luna Nueva’, ‘Morena’ y ‘Perla Negra’.

### 4.1 Compatibilidad en la polinización de la variedad ‘Luna Nueva’

En la variedad de maqui ‘Luna Nueva’, el 99% de las flores de los ramilletes florales sin cobertura logró desarrollo de frutos, a diferencia de las flores de los ramilletes cubiertos sin intervención, las que no desarrollaron fruto alguno (Cuadro 4.1). Por otra parte, en las flores cubiertas y polinizadas con las variedades masculinas ‘Huiña’ y ‘Pudú’ no se encontraron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de cuaja, alcanzando un porcentaje de 59% y 51% respectivamente.

Los frutos de los ramilletes descubiertos alcanzaron un mayor peso de baya comparados con los frutos de fertilización manual, los cuales obtuvieron pesos de baya semejantes. Por otra parte, el diámetro de la baya presenta diferencias significativas entre los frutos obtenidos en el ramillete descubierta y el tratamiento de polinización con polen de la variedad ‘Pudú’, siendo este último un 20% más pequeño. Para el número de semillas, no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 4.1.: Efectos en las características físicas del fruto según el tipo de polinización en variedad de maqui ‘Luna Nueva’, temporada 2018 en la Región del Maule

<b>Tratamiento</b>	<b>Cuaja<sup>1</sup> (%)</b>	<b>Peso de la baya<sup>2</sup> (mg)</b>	<b>Diámetro de la baya<sup>2</sup> (mm)</b>	<b>Nº de semillas<sup>2</sup></b>
<b>Testigo</b>	99 a	95 a	5,5 a	3,7
<b>Polinización manual con polinizante “Huiña”</b>	59 b	72 b	5,0 ab	3,3
<b>Polinización manual con polinizante “Pudú”</b>	51 b	71 b	4,4 b	3,4
<b>Ramilletes florales cubiertos sin polinización externa</b>	0 c	–	–	–
Significancia	*	*	*	n.s

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, según prueba de <sup>1</sup>Kruskal-Wallis, <sup>2</sup>LSD (Valor  $p \leq 0,05$ ).

Valores de las variables peso y diámetro de baya y número de semillas corresponden a promedios obtenidos desde plantas con ramilletes que desarrollaron frutos.

#### 4.2 Compatibilidad en la polinización de la variedad ‘Morena’

En la variedad ‘Morena’ los ramilletes descubiertos alcanzaron el mayor porcentaje de cuaja entre todos los tratamientos con un 98%. Los cruzamientos manuales con los polinizantes ‘Huiña’ y ‘Pudú’ se obtuvieron un 62% de cuaja en ambos tratamientos, mientras que los ramilletes cubiertos no presentaron cuaja. La polinización manual con polen de la variedad ‘Huiña’ logra bayas con mayor peso y diámetro comparado con las bayas obtenidas en el tratamiento de ramilletes descubiertos, alcanzando los 141 mg (Cuadro 4.2.), mientras que bayas provenientes de la polinización manual con la variedad ‘Pudú’ no presentaron diferencias significativas con ninguno de los tratamientos evaluados. Frutos

provenientes de los distintos tratamientos evaluados presentaron un número similar de semillas por fruto, con valores entre 2,4 y 2,8.

Cuadro 4.2: Efectos en las características físicas del fruto según el tipo de polinización en variedad de maqui ‘Morena’, temporada 2018 en la Región del Maule

<b>Tratamiento</b>	<b>Cuaja<sup>1</sup> (%)</b>	<b>Peso de la baya<sup>2</sup> (mg)</b>	<b>Diámetro de la baya<sup>2</sup> (mm)</b>	<b>N° de semilla<sup>2</sup></b>
<b>Testigo</b>	98 a	88 b	5,1 b	2,6
<b>Polinización manual con polinizante “Huiña”</b>	62 b	141 a	6,3 a	2,4
<b>Polinización manual con polinizante “Pudú”</b>	62 b	96 ab	5,4 ab	2,8
<b>Ramilletes florales cubiertos sin polinización externa</b>	0 c	–	–	–
<b>Significancia</b>	*	*	*	n.s

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, según prueba de <sup>1</sup>Kruskal-Wallis, <sup>2</sup>LSD. (Valor  $p \leq 0,05$ ).

Valores de las variables peso y diámetro de baya y número de semillas corresponden a promedios obtenidos desde plantas con ramilletes que desarrollaron frutos.

#### 4.3 Compatibilidad en la polinización de la variedad ‘Perla Negra’

Para la variedad ‘Perla Negra’ se obtuvo un 100% de fecundación en los ramilletes descubiertos, seguido por el tratamiento con polinización manual usando la variedad ‘Pudú’ como polinizante con un 67% de cuaja y finalmente la polinización con la variedad ‘Huiña’ con un 58% (Cuadro 4.3.). El tratamiento de cobertura sin intervención presentó un 8% de cuaja, siendo esta la única de las tres variedades femeninas que consiguió desarrollar frutos a partir de flores cubiertas, sin ningún tipo de polinización.

Todos los tratamientos que presentan cuaja de bayas produjeron frutos de un tamaño similar, con valores entre 5,7 y 6,0 mm. El número promedio de semillas por baya varió entre 1,0 y 3,4, sin diferencias entre los tratamientos de los ramilletes descubiertos y aquellos cubiertos con polinización manual con polen de las variedades “Huiña” y “Pudú”.

Cuadro 4.3: Efectos en las características físicas del fruto según el tipo de polinización en variedad de maqui ‘Perla Negra’, temporada 2018 en la Región del Maule

<b>Tratamiento</b>	<b>Cuaja<sup>1</sup> (%)</b>	<b>Peso de la baya<sup>2</sup> (mg)</b>	<b>Diámetro de la baya<sup>2</sup> (mm)</b>	<b>N° de semillas<sup>1</sup></b>
<b>Testigo</b>	100 a	150	6,0	3,4
<b>Polinización manual con polinizante “Huiña”</b>	58 c	141	5,6	3,0
<b>Polinización manual con polinizante “Pudú”</b>	67 b	102	5,6	3,0
<b>Ramilletes florales cubiertos sin polinización externa</b>	8 d	90	5,7	1,0
Significancia	*	n.s	n.s	n.s

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, según prueba de <sup>1</sup>Kruskal-Wallis, <sup>2</sup>Tukey (Valor  $p \leq 0,05$ ).



## 5. DISCUSION

El conocimiento acerca de las condiciones de manejo, procesos reproductivos y agronómicos para el establecimiento del maqui como cultivo aun es escaso, ya que se trata de una especie nativa y de recolección silvestre, siendo domesticada recientemente gracias al interés surgido en los últimos años por especies de gran valor nutricional. Aportar al conocimiento de esta especie, desarrollando estudios para completar dicha información, ayudará a mejorar su manejo productivo puesto que, al ser considerada una especie dioica, supone polinización cruzada obligatoria, por lo que establecer la mejor combinación y técnica de polinización optimizaría la producción de este cultivo.

Para asegurar una buena productividad, una interrogante a considerar es la proporción de polinizantes dentro de un cuartel. A pesar de obtener cuajas muy cercanas al 100% en los tratamientos de polinización abierta, González en Fernández (2017) recomienda para las variedades ‘Luna Nueva’, ‘Morena’ y ‘Perla Negra’ al menos un 10% de variedades polinizantes dentro del predio, puesto que un exceso de estos puede disminuir los rendimientos por hectárea, ya que el maqui al ser una especie dioica, presenta individuos con flores femeninas e individuos con flores masculinas con atrofiamiento en el androceo o gineceo, por lo tanto, funciona como una flor unisexual (Gil, 2000).

La variedad de maqui ‘Luna Nueva’ es la más precoz en fructificar de las tres variedades estudiadas, puesto que su antesis inicia a comienzo del mes de octubre en el valle central de la región del Maule (Vogel *et al.*, 2018). Al momento de realizar los cruzamientos manuales, los polinizantes ‘Huiña’ y ‘Pudú’ no se encontraban con la madurez de polen suficiente, ya que existe una desincronización en la apertura de las flores femeninas de maqui con respecto a las flores masculinas, siendo estas últimas las que retardan su apertura (Cárdenas, 1998).

Lo mencionando anteriormente explica los valores obtenidos en esta variedad en los porcentajes de cuaja, lo que se complementa con lo descrito por Seguel (1986), el cual señala que el estado de receptibilidad de los estigmas en las flores femeninas y/o a la madurez de las flores masculinas al momento de la actividad manual, deben ser los adecuados para poder obtener rendimientos favorables, lo que sí ocurrió al momento de polinizar manualmente las variedades ‘Morena’ y ‘Perla Negra’, obteniendo porcentajes de cuaja cercanos al 60% tanto con el polinizante ‘Huiña’ como también con la variedad polinizante ‘Pudú’.

En la variedad de maqui ‘Perla Negra’, una planta desarrolló frutos a partir de ramilletes florales totalmente cubiertos, este resultado no era esperado puesto que el maqui posee sistemas reproductivos dioicos por lo que las flores son hermafroditas o unisexuales con el sexo atrofiado (Verdi, 2004), lo que se refleja en la baja calidad de los frutos obtenidos en los ramilletes cubiertos sin intervención.

En contraste, Vogel *et al.*, (2014) indican haber encontrado en una población costera tres ejemplares hermafroditas presentando un 69% de cuaja. No obstante, el principal modo de polinización para el maqui es por medio de polinización cruzada ya que por autopolinización se logran frutos de una calidad indeseada.

Este fenómeno descrito puede deberse a que exista algún individuo dentro de la variedad ‘Perla Negra’ que haya mantenido cierto número de flores hermafroditas o con estaminodios con cierto grado de fertilidad, ya que solo una planta fue capaz de producir frutos con los ramilletes cubiertos, los cuales contenían solo una semilla por fruto. Según Amaya-Márquez (2016) citado por Nates-Parra (2016) un bajo porcentaje de angiospermas poseen actualmente sistemas reproductivos dioicos, ya que la mayoría ha evolucionado desde sistemas hermafroditas, muy posiblemente debido al alto valor funcional del aseguramiento reproductivo.

Lemus (2005) plantea que el exceso de polen puede provocar una saturación del estigma, afectando de forma negativa la fecundación, produciendo frutos sin semillas, con menor peso promedio de bayas, lo que podría verse reflejado en las bayas de las variedades ‘Luna Nueva’, que obtuvo el mayor peso de baya desde los ramilletes expuestos a polinización abierta. Contrariamente, en la variedad de maqui ‘Morena’ las bayas con mayor peso (141 mg) se presentaron en cruzamiento dirigido con polen de la variedad ‘Huiña’, superior al tratamiento con ramilletes descubiertos (88 mg) esto se respalda con lo expuesto por Seguel (1986) haciendo referencia a que, al efectuar una polinización en forma manual, se maximizan las condiciones de polinización obteniendo mejor calidad de la fruta. Esto puede deberse a la carga genética que posee el polinizante, tal como ocurre en otras especies dioicas como por ejemplo la chirimoya, en donde Apolonio *et al.*, (2015) indican que la variabilidad de las características del fruto está estrechamente relacionada con la fuente de polen, la cual tiene relación directa con parámetros de calidad del fruto como calibre y peso de los frutos. Por el contrario, Gandolfo (1995) señala que, para especies como el palto, el genotipo del polen no incide en las características de los frutos, más bien, le adjudica la calidad de los frutos a una oportuna sincronización de floración.

Las condiciones climáticas manifestadas en la Región de Maule en el periodo de polinización, cuajado y desarrollo de la baya permiten visualizar de mejor manera los resultados obtenidos en los porcentajes de cuaja de las variedades femeninas al momento de realizar la fertilización manual con los polinizantes ‘Huiña’ y ‘Pudú’. Si bien la humedad relativa promedio en los días en que se realizó la polinización manual superaban el 60%, existía un déficit de humedad relativa al momento de llevar a cabo el cruzamiento dirigido. De acuerdo con lo señalado por Vilatuña (1998), una humedad relativa menor al 70% al momento de la polinización provocaría una deshidratación de los pistilos y del polen provocando una disminución en el periodo de receptibilidad del estigma

Del mismo modo, Duarte *et al.*, (2001) comprobaron que los bajos porcentajes de cuaja obtenidos en sus ensayos resultaban de una excesiva sequedad del aire junto a las altas temperaturas durante la época de floración. Además, señalan que el tamaño de los frutos también se ve afectado por tales condiciones, siendo la deshidratación del estigma uno de los principales problemas en la polinización manual.

Según estudios realizados por Higuchi *et al.*, (1998) tanto el porcentaje de germinación del polen como el periodo de floración se ven afectados por temperaturas superiores a 30°C, teniendo efectos negativos en la cuaja y como consecuencia una menor producción y tamaño de frutos (Flores, 2001).

Las temperaturas medias registradas posterior a las polinizaciones manuales no sobrepasaron los 15°C, lo que puede haber afectado al correcto desarrollo del tubo polínico, Muncharaz (2017) señala que la tasa de crecimiento del tubo polínico, se torna más lenta cuando las temperaturas son menores a 20°C. Por otra parte, Shaked *et al.*, (2004) citado por Castro (2018) reportan que bajas temperaturas durante la formación de la flor, reducen el número de semillas y el porcentaje germinativo del polen, como resultado de la disminución en el contenido de almidón y concentraciones de azúcar acumuladas en el grano de polen.

Eventos posteriores de altas temperaturas como las registradas en noviembre, acompañadas de bajos niveles de humedad relativa pueden causar aborto del embrión y momificación de frutos en las primeras etapas del desarrollo (Casilla, 2011).

El retraso/anticipo en la polinización manual puede conducir a la imposibilidad de obtener un porcentaje de cuaja favorable. En este último caso, generalmente los estigmas reciben el polen antes que en condiciones naturales, por lo que Vargas *et al.*, (2001) recomiendan polinizar nuevamente unos 2-3 días después de la primera fertilización y así coincidir con la antesis natural de las flores, lo que ayudaría a incrementar el porcentaje de cuajado.

## 6. CONCLUSIONES

Las variedades femeninas ‘Luna Nueva’, ‘Morena’ y ‘Perla Negra’ al ser polinizadas con las variedades ‘Pudú’ y ‘Huiña’ logran desarrollar frutos y producir semillas, lo que confirma la compatibilidad entre las variedades.

‘Luna Nueva’ y ‘Perla Negra’ presentan compatibilidad similar entre variedades polinizantes, por lo que el polinizar indistintamente con la variedad ‘Huiña’ o ‘Pudú’ no incide en la calidad del fruto.

La variedad ‘Morena’ al ser polinizada de forma manual con la variedad ‘Huiña’ presenta frutos más pesados y de mayor diámetro que los polinizados de forma natural

Las flores de la variedad ‘Luna Nueva’ y ‘Morena’ en ausencia de polen no logran desarrollar frutos.

## 7. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, J.R. 2012. Maqui (*Aristotelia chilensis*): “Un nutracéutico chileno de relevancia medicinal”. Revista de Farmacología de Chile 5 (2): 95-100.

Amaya-Márquez, M. 2016. Polinización y Biodiversidad. En: Iniciativa colombiana de polinizadores (ICPA), Capítulo I: abejas. Universidad Nacional de Colombia, Instituto Humboldt. Bogotá, Colombia.1-103.

Apolonio, I., Castañeda, Á., Franco, O., Morales, E. J., & González, A. 2015. Influencia de la Fuente de Polen y su Efectividad en la Calidad de Frutos de Chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). Agronomía Costarricense, 39(1): 61-69.

Araya, H.; y Lutz, M. 2003. Alimentos funcionales y saludables. Revista chilena de nutrición 30(1):8-14.

Arriagada, J. 2013. Frutos partenocárpicos o sin semillas: ¿qué ocurre en el mundo de las hortalizas? Proyecto Sello Valórico PUCV. Valparaíso, Chile. 3.

Ávila, B., Cruz, F. 2011. Sistema de incompatibilidad gametofítico en plantas: una oportunidad para evitar la endogamia. Mensaje Bioquímico. (35): 67-78.

Barrett S. 2002. The evolution of plant sexual diversity. Revista Nature 3 (1): 274- 284.

Benedetti, S. 2012. Información Tecnológica de Productos Forestales No Madereros Del Bosque Nativo En Chile:” Monografía de MAQUI *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz”. Instituto Forestal Chile. Santiago, Chile. 6-51.

Bonilla, M. 2012. La polinización como servicio ecosistémico. En: Iniciativa colombiana de polinizadores (ICPA), Capítulo I: abejas. Universidad Nacional de Colombia, Instituto Humboldt. Bogotá, Colombia.1-103.

Bonometti, C. 2000. Aspectos reproductivos en flores de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz). Memoria para optar al grado de Licenciado de Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 97 p.

Cabello, P. 2003. Viabilidad polínica en dos estados florales de Maqui, *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. (Elaeocarpaceae). Memoria para obtener al grado de Licenciado de Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 66 p.

Callejas, R., Galleguillos, M., y Benavides, C. 2004. Pérdidas de producción por fallas en la fecundación, competencia y anormal desarrollo de las bayas en vid vinífera. Revista Vendimia 39 (6):1-10.

Cárdenas, C. 1998. Aspectos de la morfología floral, producción de néctar y fructificación en *Berberis darwinii* Hook., *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz, y *Ugni molinae* Turcz. Memoria para optar al grado de Licenciado de Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 111p

Cardoso, J.C., et al. 2018. Towards a unified terminology for angiosperm reproductive systems. Acta Botánica Brasilica. 32(3): 329-348.

Casilla, M. 2011. Análisis de los factores que influyen en la vecería del olivo (*Olea europea* L.) en la Región Tacna. Memoria para optar al grado académico de: Maestro en ciencias (Magister Scientiae) con mención en desarrollo agrario. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. TACNA, Perú. 188p.

Castillo, S. 2002. Efecto de la distancia de las colmenas de abejas (*Apis mellifera*) a los árboles de palto (*Persea americana* mil.) y efecto de un segundo ingreso de colmenas de abejas al huerto de paltos, sobre el número de abejas encontradas en las flores de palto. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile. 97 p.

Castro, M. 2018. Influencia de la polinización cruzada en la formación de semillas en mandarinas cv. 'Clemenules' y 'W. Murcott'. Memoria para optar al título al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile. 109 p.

Chaar, J. E., y Sánchez, E. E. 2010. Efectos de la carga frutal y del ambiente lumínico en ciruelo D'Agen (*Prunus domestica* L.). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 42(1):125-133.

Contreras. 2013. Inducción y desarrollo de la flor del maqui [*Aristotelia chilensis* (Molina) Stunz- Elaeocarpaceae]. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad De Talca. Talca, Chile. 76 p.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 1999. Catastro y Evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Proyecto. CONAF-CONAMA-BIRF. Santiago. Chile. 90 p.

Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 1964. Descripciones proyecto aerofotogramétrico. Santiago, Chile. 389 p.

Damascos, M., y Prado, C. H. B. A. 2001. Defoliación en la especie invierno-verde *Aristotelia chilensis* y su efecto sobre el crecimiento inicial de hojas y ramas. Revista Bosque, 22(1): 45-50.



De Francesco, V. 2000. Embrión y Plántulas de Monocotiledóneas y Dicotiledóneas. CNBA. Buenos Aires, Argentina. [En línea]. Recuperado de <https://botanica.cnba.uba.ar/Trabprac/Tp1/Emb-Plant.html/>. Consultado el 21 de abril 2020.

De Mösbach, E. 2009. Botánica indígena de Chile. Primera edición. Editorial Andrés Bello. Santiago, Chile. 138 p.

Duarte, O., Pineda, A. y Rodríguez, P. 2001. Mejora del cuajado en atemoya “Gefner” (*Annona cherimola* x *Annona squamosa*) con diversos tratamientos de polinización manual. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*. 43 (1): 74-76.

Ellena, M., González, A., Sandoval, F., Escobar, S. 2018. El avellano europeo en Chile: una década de recopilación e investigación, Capítulo XII: Polinización. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Temuco, Chile. 428 p.

Fernández, M., Pizarro-Tapia, R., Sangüesa-Pool, C., Bonomelli, C., Doll, U., Campos, D., Guevara, C., Menéndez-Miguélez, M., Berríos, A., Celis, V., Barrera, C. 2017. Establecimiento de plantaciones con fines productivos de *Aristotelia chilensis* (maqui) en zonas semiáridas degradadas de Chile, usando sistemas de captación de lluvias (SCALLS). Seminario “Plantaciones forestales en el nuevo ciclo de desarrollo forestal”. Realización en Concepción, Chile.

Fernández, X. 2017. La hora del maqui. *Revista Del Campo*. [En línea]. Recuperado el 7 de mayo 2020 desde <https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2017/06/05/La-hora-del-maqui.aspx>.

Flores, M. 2001. Efecto de las Condiciones Ambientales y de los Insectos en la Polinización Natural del Chirimoyo. Memoria para optar al grado de Licenciado en Agronomía y al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile. 109p.

Forcone, A., García, J., y Ayestarán, G. 2006. Polen de las mieles de la Patagonia Andina (Chubut-Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 41 (1-2): 25-39.

Gandolfo, S. 1995. Determinación de los porcentajes de autopolinización y polinización cruzada obtenidos en diferentes combinaciones de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass con diferentes cultivares polinizantes (cv. Zutano, Rincón, Edranol, Bacon y Hass) Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile. 166.

García, M., Ríos, L. A., y Álvarez del Castillo, J. 2016. La polinización de los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. *IDESIA*, 34 (3): 53-68.

Gil-Albert, F., y Velarde, F. G. A. 1995. Tratado de arboricultura frutal:” Morfología y fisiología del árbol frutal. Vol. 1”. Cuarta edición. Editorial Mundi-Prensa Libros. España.

Gil, G. 2000. La producción de fruta: Fruta de clima templado y subtropical y uva de vino. Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 583 p.

Gutiérrez-López, A., Espinoza-Velázquez, J., Flores-Gallegos, A., López-Benítez, A., Ruiz-Torres, N., Rodríguez-Herrera, R. 2019. Absence of concordance between polyembryony and apomixis in maize confirmed through DNA sequencing. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6 (18): 451-461.

Herrera, R. 2017. Determinación del elemento que causa el desprendimiento temprano de los frutos de aguacate (*Persea americana* m.) variedad ‘Hass’ en la hacienda Chaquibamba, Guayllabamba Quito. Memoria para optar al título de Ingeniero Agropecuario. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. 98 p.

Higuchi, H., Utsunomiya, N. y Sakuratani, T. 1998. High temperature effects on cherimoya fruit set, growth and development under greenhouse conditions. *Scientia Horticulture* 77:23-31.

Hoffmann, A. 1982. Flora silvestre de Chile: Zona Araucana. Segunda edición Editorial Claudio Gay. Santiago, Chile. 257 p.

Hoffmann, A. 1997. Flora Silvestre de Chile, Zona Araucana. Segunda edición. Editorial Claudio Gay. Santiago, Chile. 258 p.

Hoopingarner R.A., Waller G.D. 1993. Crop pollination, in: Graham J.M. (Ed.), *The hive and the honey bee*, Dadant & Sons, Hamilton, IL. 1043-1082.

Jiménez-Durán, K., & Cruz-García, F. 2011. Incompatibilidad sexual, un mecanismo genético que evita la autofecundación y contribuye a la diversidad vegetal. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 3 (1): 1-9.

Kriebel, R. 2006. *Drymonia tomentulifera*, sp. 'Nova' de Costa Rica y notas sobre la biología reproductiva del género *Drymonia* (Gesneriaceae: Episcieae). *Lankesteriana International Journal on Orchidology*. 6 (2): 43-47.

Koltunow, A. 2003. APOMIXIS: A Developmental Perspective. *Annual Review of Plant Biology* 54 (5): 47-74.

Leal, A. 2006. Concentración de Extracto Enzimático Obtenido de Hojas de maqui (*Aristotelia chilensis* Mol.) para su Utilización en Quesería. Memoria para optar al título de Licenciado en Ingeniería de los Alimentos. Escuela de Ingeniería en Alimentos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 107 p.

Lemus, G. 2005. Control de la caída de flores de flores en Nogal Serr. Revista Tierra Adentro. 63: 18-21

Loor, R., Casanova, T., y Plaza, L. 2016. Mejoramiento y homologación de los procesos y protocolos de investigación, validación y producción de servicios en cacao y café. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, Ecuador. 4 p.

Marticorena, C y Rodríguez, R .2005. Flora de Chile. Vol. 2. Plumbaginaceae – Malvaceae. Tercera Edición. Editorial Universidad de Concepción, Chile. 128 p.

Mendoza, J. 2012. Entomofauna asociada a flores de notro (*Embothrium coccineum* J.R. et G.Forster) y maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) en la zona de Valdivia. Memoria para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 76.

Mendoza, C. 2015. Compatibilidad genética de 64 clones élites de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipos Nacional y Trinitario. Memoria para optar al título de Ingeniera Agropecuaria. Facultad de Ciencias Pecuarias. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. 86 p.

Monzón, V. 1998. Biología de *Osmia cornuta* L. (Hymenoptera; Megachilidae) y su utilización como polinizador de peral (*Pyrus communis*). Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, España. 112 p.

Mora, A. 1999. Producción de néctar en flores de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) y su entomofauna asociada a su polinización. Memoria para optar al título de Licenciado en Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 96 p.

Muncharaz, M. 2017. El Almendro: Manual técnico. Segunda edición. Editorial Mundiprensa. España. 452 p.

Nates-Parra, G. 2016. Iniciativa Colombiana de Polinizadores - Abejas - ICPA. Bogotá, D. C. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 364 p.

Naumova, T. N. 1993. Apomixis in Angiosperms: Nucellar and Integumentary Embryony. Editorial CRC Press. Boca Ratón, Fl., USA. 144 p.

Ortega, E., Caballero, J. E., García, P. M., Gómez, E. M., y López-Higuera, F. D. 2016. Biología reproductiva y producción en almendro. Revista de Fruticultura. 49 (1). 6-12.

Pantoja, A., Smith-Pardo, A., García, A., Saenz, A., y Rojas, F. 2014. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. Santiago, Chile. 56 p.

Pérez, J. 2007. Efecto de la inducción floral artificial por ciclos termoinductivos en fresa (*Fragaria x anannassa*) en Honduras. Memoria para optar al título de Ingeniero agrónomo. Departamento de Ciencias y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 21 p.

Quero, A. 2009. Apomixis importance for tropical forage grass selection and breeding. Review. Revista. Mexicana. De Ciencias Pecuarias. 1(1):25-42.

Ramírez-Gil, J. 2017. Calidad del fruto de aguacate con aplicaciones de ANA, boro, nitrógeno, sacarosa y anillado. Agronomía Mesoamericana. 28 (3): 591-603.

Rejón, J., Suárez, C., Alché, J., Castro, A., y Rodríguez, M. 2012. Evaluación de diferentes métodos para estimar la calidad del polen en distintos cultivares de olivo (*Olea europaea* L.). Polen. 20 (1): 60-72.

Ricci, M., Ramírez, C., Ramírez J.C. 2008. Análisis cuantitativo de la flora de bosques y matorrales de la isla Robinson Crusoe (Archipiélago de Juan Fernández, Chile). *Revista geográfica de Valparaíso*. 41: 62-76.

Rivera, A. 2015. Control de la apogamia en el helecho *Dryopteris affinis* spp *affinis* a través del cultivo in vitro. Tesis para optar al grado de Magíster en Biotecnología Aplicada a la Conservación y Gestión Sostenible de Recursos Vegetales. Universidad de Oviedo. Oviedo, España. 33 p.

Rodríguez-Rojas, T. J., Andrade-Rodríguez, M., Canul-Ku, J., Castillo-Gutiérrez, A., Martínez-Fernández, E., y Guillén-Sánchez, D. 2015. Viabilidad de polen, receptividad del estigma y tipo de polinización en cinco especies *Echeveria* en condiciones de invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 6(1): 111-123.

Rojas, P. 2005. La vitivinicultura y su proceso de expansión en ladera en el valle de Lontué, séptima región del Maule. Memoria para optar al título de Geógrafo. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 108 p.

Sánchez-Damas, J. 2006. Estudio anatómico de la poliembrionía en tres portainjertos de cítricos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2): 145-152.

Sato, K. I., Tokmakov, A. A., y Fukami, Y. (2000). Fertilization signalling and protein-tyrosine kinases. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 126 (2): 129-148.

Seguí-Simarro, J. 2010. Androgenesis Revisited. *The Botanical Review*. 76 (3): 377-404.

Seguel, I. 1986. Biología reproductiva de algunas especies de Myrtaceae en la X Región-Chile. Memoria para optar al título de Profesor de Biología y Química. Facultad de Filosofía y Humanidades. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 76 p.

Shaked, R., Rosenfeld, K., Pressman, E. 2004. The effect of low temperatures on carbohydrates metabolism in developing pollen grains of pepper in relation to their number and functioning. *Scientia Horticulturae*. 102 (1): 29-36.

Strasburger, E. 1994. Tratado de botánica. Octava edición. Editorial Omega. Barcelona, España. 1068 p.

Sosenski, P., y Domínguez, C. 2018. El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico. *Revista mexicana de biodiversidad*. 89 (3): 961-970.

Taisma, M. A., & Varela, C. W. 2005. Sistema de compatibilidad en la especie distílica *Cordia curassavica* (JACQ.) R&S (Boraginaceae). *Interciencia*. 30 (7): 431-435.

Urban, O. 1934. Botánica de las plantas endémicas de Chile. Soc. Imp. Lit. Concepción, Chile. 289 p.

Vallejos, F., y Estrada, E. 2002. Mejoramiento genético en plantas. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 349 p.

Valdebenito, G. y Aguilera, M. 2013. Información tecnológica de productos forestales no madereros del bosque nativo de Chile:” Antecedentes silvícolas *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. Instituto Forestal de Chile. Santiago, Chile. 33 p.

Vargas, F., Romero, M.A., Clavé, J., Santos, J., Batlle, I., Rovira, M. 2001. Cuajado en cruzamientos controlados de cultivares de almendro. *ITEA Producción vegetal*. 97(3): 238-245.

Verdi, V. 2004. Evaluación del periodo de receptividad del estigma en maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) y murta (*Ugni molinae* Turcz.). Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 114 p.

Vilatuña, Y. 1998. Incremento del cuajado de frutos en chirimoya (*Annona cherimola* Mill) con polinización manual en la mañana y tarde. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura. Universidad Zamorano. Honduras. 34p.

Vogel, H.; Razmilic, I.; San Martín, J.; Doll, U.; y González, B. 2008. Plantas medicinales chilenas: Experiencias de domesticación y cultivo de Boldo, Matico, Bailahuén, Canelo, Peumo y Maqui. Segunda edición. Editorial Universidad de Talca. Talca, Chile. 194 p.

Vogel, H., Peñailillo, P., Doll, U., Contreras, G., Catenacci, G., y González, B. 2014. Maqui (*Aristotelia chilensis*): Morpho-phenological characterization to design high-yielding cultivation techniques. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 1 (4), 123-133.

Vogel, H. 2018. El caso de la domesticación del maqui. IX Seminario de la academia chilena de ciencias agronómicas: “Intensificación sostenible de la producción frutícola, vinícola y hortícola para una alimentación saludable”. Realizado en Talca, Chile.

Yuri, J. A., Lobos, G., y Lepe, V. 2002. Pomáceas: Inducción floral. Centro de Pomáceas, Universidad de Talca. Talca, Chile. *Boletín Técnico*. 2 (5): 1.

Zamorano, N. 2015. Determinación del agente causal de pudrición húmeda en raíces y cuello de maqui (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz). Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. Talca, Chile. 36 p.

Zanek, C. T., Valenzuela, O., y Czepulis Casares, J. A. 2014. Uso de manta térmica para el control de heladas durante el periodo inicial de un cultivo de pimiento bajo invernadero. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos. San Pedro, Argentina. 5 p.