

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**EFEECTO DE LA ARQUITECTURA Y LA DENSIDAD DE PLANTAS  
SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS DEL ESPINO**  
*(Acacia caven (Mol.) Mol.)*

**JOSÉ MANUEL RODRIGO SILVA**

**SANTIAGO - CHILE**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**EFFECTO DE LA ARQUITECTURA Y LA DENSIDAD DE PLANTAS  
SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS DEL ESPINO**  
*(Acacia caven (Mol.) Mol.)*

**EFFECT OF ARCHITECTURE AND PLANT DENSITY ON ESPINO**  
*(Acacia caven (Mol.) Mol.) FRUIT PRODUCTION*

**JOSÉ MANUEL RODRIGO SILVA**

**SANTIAGO - CHILE**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**EFECTO DE LA ARQUITECTURA Y LA DENSIDAD DE PLANTAS  
SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS DEL ESPINO**  
*(Acacia caven (Mol.) Mol.)*

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Agrónomo

**JOSÉ MANUEL RODRIGO SILVA**

<b>PROFESORES GUÍAS</b>	<b>Calificaciones</b>
Sr. Luis Piña Moraga Ingeniero Agrónomo Mg. Sc.	6,8
Sr. Alfredo Olivares Espinoza Ingeniero Agrónomo Mg. Sc.	7,0
<b>PROFESORES EVALUADORES</b>	
Sr. Antonio Vita Alonso Ingeniero Forestal	7,0
Sra. María Teresa Varnero Moreno Químico Farmacéutica	6,8

**SANTIAGO - CHILE**

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos más sinceros a todos los trabajadores de la universidad que hicieron posible el que yo aprendiera estos años.

Al Coné, al Mauro, al Jeffry, al Sergio, al Mota, a mis compañeros, a las señoras de limpieza, a los guardias, a todas las secretarias de la U (menos a la Paty), a los jardineros, al charqui, al lupino, a los compañeros del casino que la llevan (René, Chino, Chica, Johana, Sra Isabel, Daniela, Lucho, Olguita), Al profe Oscar (botella), al Chamorro, al Aballay.

A mis profes guías que me tuvieron paciencia de revolucionarios, muchas gracias Luis y Don Alfredo. Un gran gusto conocerlos, compartir y robarles un poco de sí. También al Seguel y al Bigote, que también fueron profes guías míos.

A todos los profesores que me hicieron clases, porque de todos aprendí algo (en algunos casos aprendí cómo hacer, y en otros, cómo no hacer)

A mi familia que me apoyó más de lo que la sociedad exige (lamentablemente uno no elige ni a los hijos ni a los hermanos), dándome las condiciones materiales para poder estudiar y ser papá a la vez.

A mis mujeres Annelise y Violeta que me hacen feliz todos los días (casi todos).

A la selección de Agronomía que me entrego muy buenas horas de compañerismo.

A los compañeros (Max, Anne, Pame, Gloria, hermana de Gloria, Supertramp, Ecuatoriano, Laiper y Vicente) que me dieron su vital apoyo en la cosecha de esos infinitos 180 árboles, sin su ayuda hubiese sido más que imposible.

Al Big Bang.

Al Albo campeón.

A los estudiantes secundarios, que prenden con agua.

Pero por sobre todo al pueblo y sus gloriosas luchas que le dieron sentido a mi vida.

**ÍNDICE**

	Número
<b>RESUMEN.....</b>	6
<b>Palabras clave.....</b>	6
<b>ABSTRACT.....</b>	7
<b>Keywords.....</b>	7
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	8
<b>Hipótesis.....</b>	9
<b>Objetivos específicos.....</b>	10
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	11
<b>Lugar del ensayo.....</b>	11
<b>Metodología.....</b>	11
<b>Análisis estadístico.....</b>	17
<b>RESULTADOS.....</b>	18
<b>Arquitectura y densidad en la producción de frutos.....</b>	18
<b>Variables descriptivas en la producción de frutos.....</b>	21
<b>DISCUSIÓN.....</b>	25
<b>CONCLUSIONES.....</b>	29
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	30

## RESUMEN

La formación de *Acacia caven* se encuentra extendido entre el río Copiapó y el río Laja, utilizando cerca de 3.000.000 de hectáreas de secano. Entre los beneficios del matorral de *Acacia caven* se encuentran una mayor productividad de forraje bajo su influencia, aumento de materia orgánica bajo su copa, una mayor disponibilidad hídrica, protección para animales tanto del calor como del frío y el aprovechamiento de sus brotes y frutos como forraje en épocas de escasez. Estudios preliminares demostraron que la arquitectura o número de fustes del espino tiene un efecto sobre la producción de frutos; sin embargo, no se ha estudiado el efecto de la densidad poblacional y su interacción con la arquitectura.

El propósito de esta investigación fue cuantificar el efecto de tres densidades poblacionales (distancia de 1-3 metros, 4-7 metros y mayor a 8 metros al individuo más cercano) y de tres arquitecturas de árboles (un fuste, dos a tres fustes y cuatro o más fustes) sobre la producción de frutos del espino. El estudio se realizó en un sector de 60 hectáreas que posee un espinal adulto, sin manejo silvícola. Se seleccionaron 180 árboles, combinando las densidades poblacionales y arquitecturas señaladas. Se cosechó la totalidad de los árboles al término del ciclo de floración y fructificación y se midió la producción de frutos, expresada en peso seco por individuo. Además, se midieron variables descriptivas de los árboles (altura total, altura de copa, ancho de copa norte-sur y este-oeste) para evaluar la relación entre estas variables y la producción de frutos, con el objetivo de construir ecuaciones predictivas. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con estructura factorial 3x3. El factor densidad contó con los niveles alta densidad, media densidad y baja densidad (AD, MD y BD respectivamente), mientras que el factor arquitectura contó con los niveles monofustal, dos a tres fustes y cuatro o más fustes (MF, 2F y 4F respectivamente). Se utilizaron 20 árboles por cada combinación de arquitectura y densidad. Numéricamente, los ejemplares en baja densidad y con arquitectura de 4F presentaron una mayor producción de frutos. No hubo diferencias significativas en la producción de frutos para los factores por separado, pero existió interacción significativa de la densidad en la arquitectura monofustal. El ancho de copa norte-sur fue la variable que mejor permitió estimar la producción de frutos, siendo más importante que los factores de densidad y arquitectura. Además, la densidad poblacional afecta el tamaño de copa de los árboles, disminuyendo en la medida en que la densidad aumenta. Se concluye que árboles con tamaño de copas similares poseen una producción de frutos similar y que la densidad poblacional influye sobre el tamaño de copa de los árboles, por lo que se considera que este factor es relevante para tomar medidas de manejo de espinales destinados a producción de frutos.

### Palabras clave

Manejo predial, densidad poblacional, secano, manejo silvícola, silvopastoreo.

## ABSTRACT

The *Acacia caven* scrub is wide spread between the Copiapó and Laja rivers, covering about 3 million rainfed hectares. Some of *Acacia caven* benefits are the greater forage under its influence, increased organic matter under its tree crown, greater water availability, protection for animals (both heat and cold) and the use of their buds and end fruits as fodder in times of shortage. Preliminary studies showed that the number of tree trunks of *Acacia caven* has an effect on fruit production, however the effect of population density and its interaction with the architecture has not been studied. The purpose of this research was to quantify the effect of three population densities (distance between 1 to 3, 4 to 7 and more than 8 meters to the closest individual) and of three tree architectures (one trunk, between 2 and 3, and 4 or more trunks) on *Acacia caven* fruit production.

The research was made in an area of 60 hectares with adult trees, without silvicultural management. 180 trees were selected combining the indicated population densities and the architectures. All trees were harvested at the end of the fructification cycle and the productions of trees were measured through the dry weight of each individual. Also, descriptive variables of the trees were measured (total height, crown height, north to south crown diameter and east to west crown diameter) to evaluate the relation between these variables and fruit production, for constructing predictive equations. A 3 x 3 factorial experiment was designed. The individuals were selected by random. The density factor was designed with 3 levels: AD, MD and BD, and the architecture factor was also designed with three levels: MF, 2F and 4F. Twenty trees for each combination of architecture and density were used. The individuals with low density and 4F architecture showed a major fruit production. No significant differences in the fruit production for each factor in its own were found, but a significant interaction of density on MF architecture was found. The north-south diameter was the descriptive variable that better allowed estimating the fruit production, being more important than density and architecture factors. Also, the population density has an effect on the crown diameter, diminishing by greater density. It concludes that trees with similar crown size have a similar fruit production and that the population density has an effect on the crown size. Therefore, it is considered that this factor (north-south diameter) is relevant for the management of *Acacia caven* for fruit production.

### Keywords

Farm management, population density, silvicultural management, silvopasture, rainfed.

## INTRODUCCIÓN

El matorral de *Acacia caven* se extiende desde el río Copiapó al río Laja, desde los paralelos 32 y 37° LS (Castillo *et al.*, 1990; Fuenzalida, 1965, citado por Olivares, 2006) ocupando cerca de 3.000.000 de hectáreas del secano, entre la Región de Coquimbo y la Región del Bío Bío (Gajardo, 1987).

Según Olivares y Gastó (1971), el desarrollo del espinal es producto de la degradación de la vegetación clímax y su presencia representa una etapa final natural de equilibrio, inferior al clímax. La destrucción del estrato arbóreo, principalmente mediante corte, fuego y sobretalajeo permanente, da lugar a una pradera degradada dominada por especies herbáceas de bajo valor forrajero, permitiendo la invasión de especies prístinas no deseadas, de las familias *Brassicaceae* y *Boraginaceae* (Olivares, 2006). Sin embargo, si la presión excesiva sobre el medio se reduce, se puede lograr una comunidad disclimax, formada por especies anuales de buen valor forrajero (Olivares y Gastó, 1971).

Dado esto, si se aplican estrategias de manejo adecuadas conservando el estrato arbóreo y arbustivo en una pradera, se puede lograr una formación con potencial silvoagropecuario de importancia económica (Olivares, 2006), otorgando una mayor diversidad y estabilidad al sistema, logrando así armonizar lo ecológico con lo económico; la conservación con la producción (Olivares, 1989).

Según Olivares (1989), es posible modelar ecosistemas para el aprovechamiento más integral de los recursos, produciendo simultáneamente frutos, tallos, raíces, corteza u otro producto, considerando el uso múltiple de la tierra.

Entre los beneficios del matorral de *Acacia caven*, se puede mencionar que bajo la influencia de su copa mejora la calidad (composición botánica) y cantidad de materia seca producida, por efecto de: aumento de la materia orgánica en el suelo (Olivares *et al.*, 1983); una mayor disponibilidad hídrica aprovechable (Castillo *et al.*, 1990) que prolonga el ciclo de crecimiento de la pradera; aumento de la disponibilidad de fósforo y potasio (Olivares *et al.*, 1988); y por el microclima creado que protege a la pradera tanto de las altas, como de las bajas temperaturas (Olivares *et al.*, 1983).

Por otra parte, los beneficios del matorral sobre el animal se ven reflejados en: protección a las crías, disminuyendo las muertes de corderos únicos de 17,5 a 8,9% y de mellizos de 51,3 a 35,3% (Manterola, 1979, citado por Olivares, 1989); disminución del consumo de agua en ovinos del orden de 35% medido en el periodo estival y aumento de la ganancia de peso de 5,3 a 11 kg en 60 días de estudio (Olivares y Caro, 1998). En general, con la presencia del espino, los animales pastorean durante las horas de menor temperatura y rumian a la sombra durante las horas de mayor temperatura, descansando más y caminando menos, lo que significa menor gasto energético.



Algunos estudios sobre la arquitectura del espino indican que la semilla tiene un alto valor nutritivo y que, a mayor número de vástagos, existe una mayor producción de flores y frutos (Olivares y Ortiz, 1991). Resultados muy similares se obtuvieron en la producción de leña con diferentes arquitecturas donde, a mayor número de ramas, mayor producción (Olivares y Alvarado, 1991). En ambos estudios se establecieron fórmulas con las que la estimación de producción se obtuvo con variables fáciles de determinar, como altura de copa, diámetro de copa, diámetro basal de rama, largo de rama, área basal máxima y número de ramas.

Según Gómez (2011), la utilización de vainas de espino en alimentación animal podría establecerse como una oportunidad de suplementación en aquellos meses donde el forraje es de mala calidad y normalmente escaso, para mejorar la condición de las hembras gestantes, en particular en el período de último tercio de gestación, logrando que las ovejas lleguen al parto con una buena condición corporal e influya directamente en un mejor peso al nacimiento en corderos.

Dada la importancia del espino y su necesaria presencia en el manejo de terrenos de pastoreo en zonas áridas y semiáridas de clima mediterráneo de Chile, es importante continuar con su estudio, sobre todo en lo que se refiere a maximizar la producción de frutos para ser usados como complemento alimenticio en épocas de escasez, logrando elevar significativamente la productividad y recuperar zonas con deterioro progresivo en el corto plazo.

Este ensayo es parte del proyecto “Sistema de manejo silvopastoril del espinal para producción de forraje y frutos”, financiado por el III Concurso del Fondo de Investigación del Bosque Nativo de CONAF.

### **Hipótesis**

Hipótesis 1: Para una misma densidad (expresado como distancia entre individuos), a mayor número de fustes en un individuo, mayor producción de frutos.

Hipótesis 2: Para una misma arquitectura, a mayor densidad, menor producción de frutos por individuo.

Hipótesis 3: Conociendo la altura del árbol, el diámetro de copa, altura de copa y largo de ramas, es posible predecir la producción de frutos.

### **Objetivos específicos**

1. Cuantificar el efecto de la arquitectura del espino en la producción de frutos.
2. Cuantificar el efecto de la densidad poblacional del espino en la producción de frutos.
3. Construir una ecuación de predicción de cantidad de frutos basado en variables descriptivas (altura del árbol, diámetro de copa, altura de copa y largo de ramas).

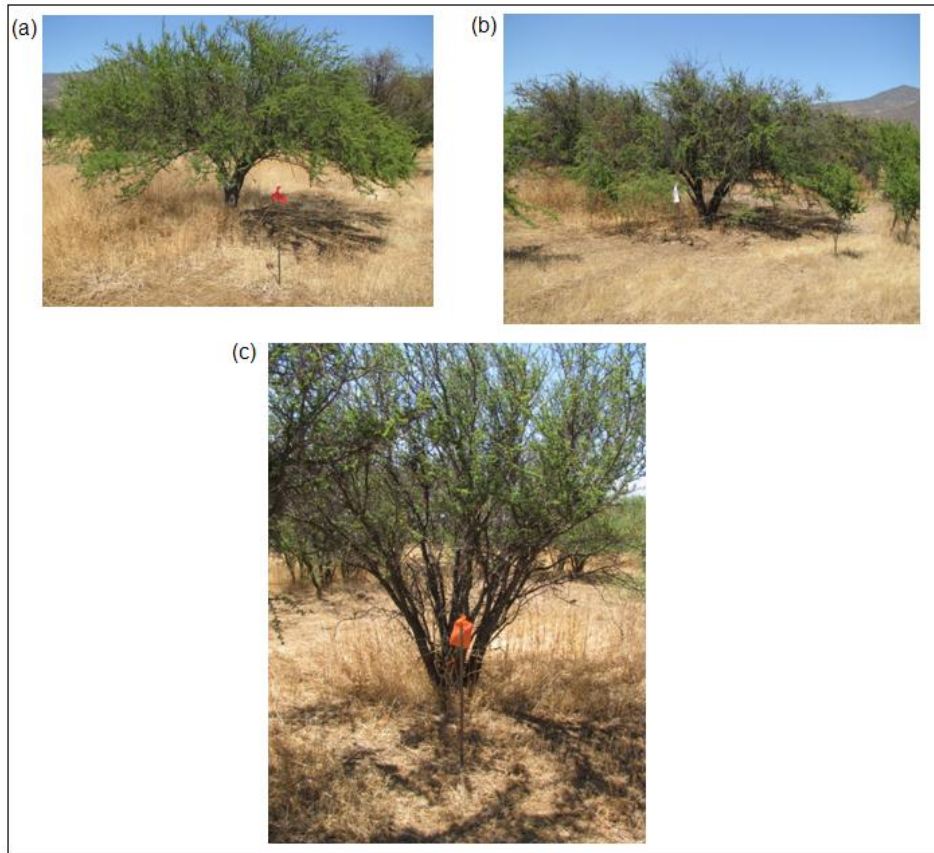
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar del ensayo

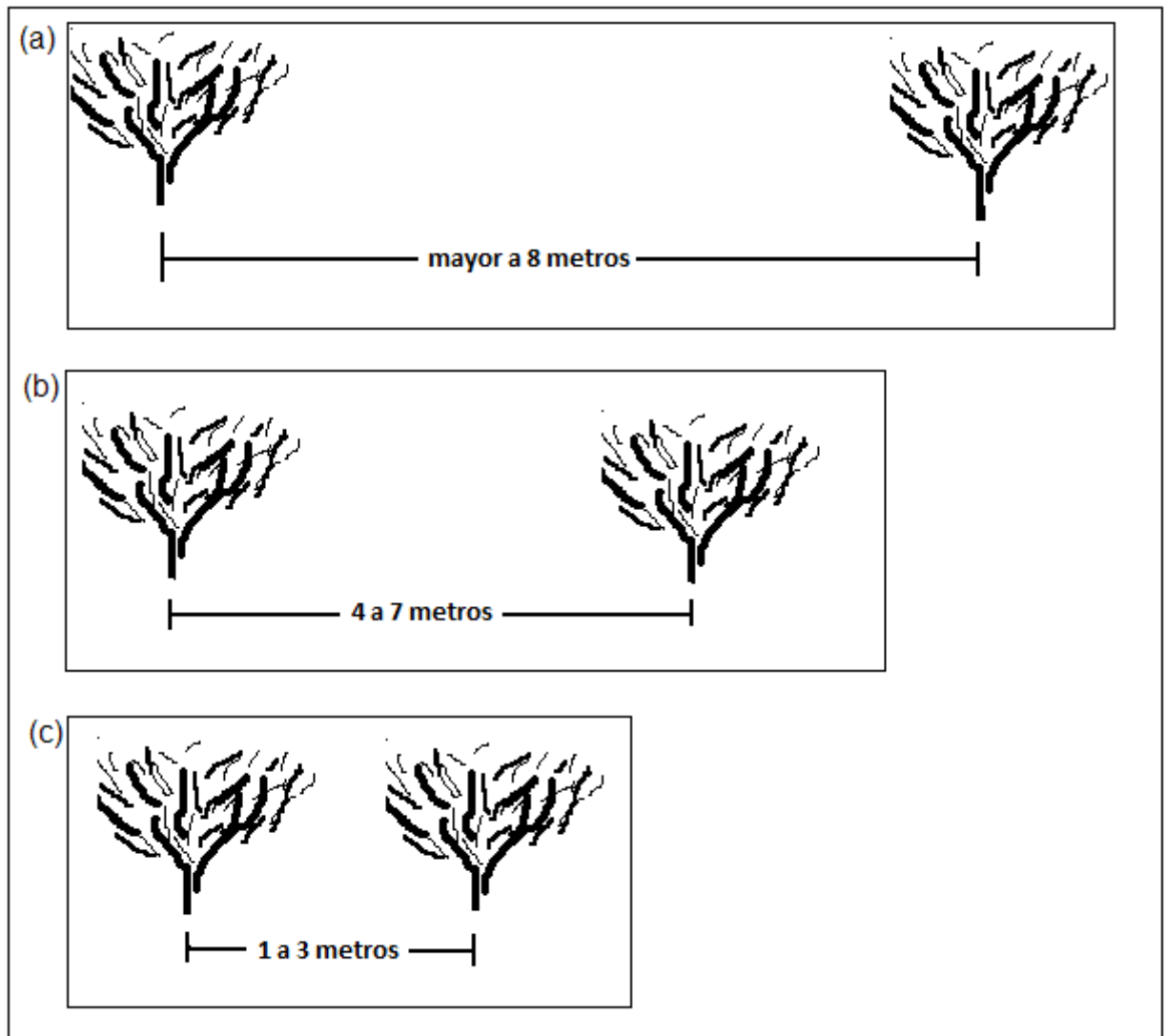
El estudio se realizó en el Programa de Rumiantes Menores y Pastizales de Secano de la Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva de la Universidad de Chile, ubicada en Rinconada de Maipú (33°29'S, 70°51'O; 476 m.s.n.m.). Se utilizó un sector de 60 hectáreas que posee un rodal puro de *Acacia cavendishii*. La zona en donde se desarrolló el estudio presenta un clima de tipo mediterráneo típico del secano interior de la zona central, que se caracteriza por tener una gran variabilidad en cantidad y distribución de las precipitaciones. La mayor parte de las precipitaciones anuales se concentra en los meses de invierno y alcanza valores entre los 40 y 800 mm, con un promedio de 300 mm año<sup>-1</sup>, dejando un periodo seco de 7 a 8 meses. El suelo del ensayo pertenece a la serie Pudahuel, miembro de la familia franca gruesa, mixta de los vertadicos durixerrolls (Mollisols). Son suelos ligeramente profundos, de textura moderadamente gruesa, la profundidad efectiva del suelo varía entre los 35 y 70 cm. Se estima que la temperatura media anual del suelo varía entre 15 y 16°C (CIREN, 1996).

### Metodología

Se evaluó el efecto de tres arquitecturas y tres densidades poblacionales sobre la producción de frutos del espino. Arquitectura se definió como el número de fustes que presenta el individuo a una distancia igual o menor a 30 cm del suelo (Figura 1), mientras que densidad poblacional se definió como distancia del árbol seleccionado al individuo más cercano (Figura 2).



**Figura 1.** Fotografías de las distintas arquitecturas utilizadas en el ensayo: (a) 1 fuste (MF); (b) 2 a 3 fustes (2F); (c) 4 y más fustes (4F).



**Figura 2.** Esquemas de las densidades poblacionales utilizadas en el ensayo: (a) Densidad baja (mayor a 8 metros); (b) Densidad media (entre 4 y 7 metros); (c) Alta densidad (de 1 a 3 metros).

Dadas las densidades y las arquitecturas planteadas, las posibles interacciones se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Interacciones entre densidad poblacional y arquitectura del espino.

Arquitecturas	Densidades poblacionales		
	Baja densidad (BD)	Media densidad (MD)	Alta densidad (AD)
1 fuste (MF)	MFBD	MFMD	MFAD
2 – 3 fustes (2F)	2FBD	2FMD	2FAD
4 o más fustes (4F)	4FBD	4FMD	4FAD

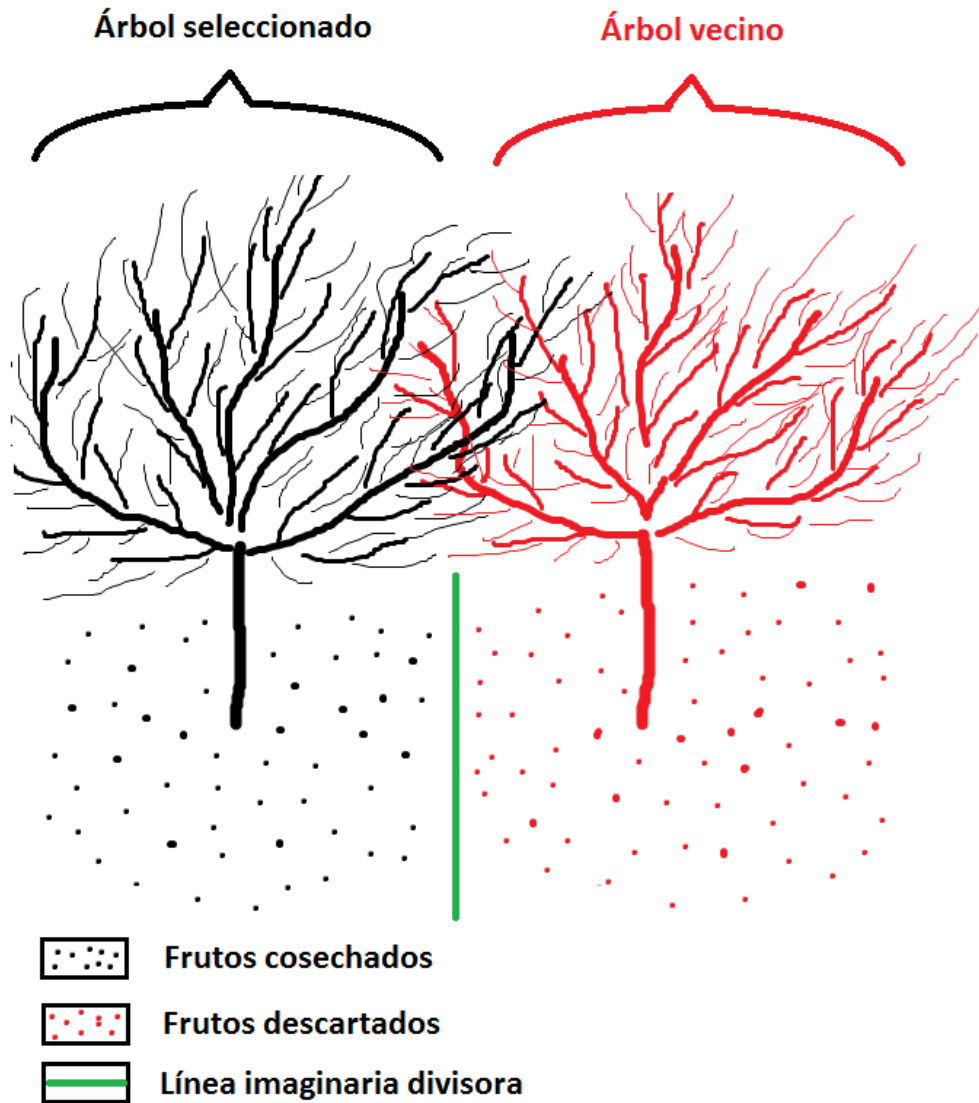
Durante el mes de enero de 2013, se delimitó el área de trabajo y se eligieron ejemplares adultos y homogéneos. Para este estudio, se consideró un individuo adulto aquel que presentó una altura total en el rango de 3 a 5 m y un diámetro de copa en el rango de 3 a 5 m. Cada individuo seleccionado fue clasificado e individualizado según su arquitectura y densidad. Una vez seleccionado, cada ejemplar fue georreferenciado con un GPS (Garmin GPSmap 62), para su posterior seguimiento. Para cada combinación de densidad y arquitectura, se escogieron 20 ejemplares (repeticiones), de modo que el ensayo constó con un total de 180 árboles.

Desde comienzos de marzo a mediados de abril, cada ejemplar se cosechó remociendo el árbol y recolectando los frutos de forma manual, depositándolos en una tela plástica ubicada próxima al individuo (Figura 3). Los frutos que permanecieron en el árbol fueron colectados manualmente con herramientas de cosecha. Para los casos en que las copas de dos árboles se traslapaban, dificultando diferenciar la copa del árbol seleccionado, se procedió primero a establecer una línea imaginaria promedio bajo intersección de la copa de ambos árboles, luego se removieron y descartaron los frutos que se encontraban en el suelo y fuera de la proyección del individuo de interés y, finalmente, se procedió a realizar la cosecha cuidadosamente para no recolectar frutos del individuo adyacente al seleccionado (Figura 4). Para todos los casos, aquellos frutos que se encontraron en el suelo bajo la proyección de la copa del árbol seleccionado, se consideraron como parte de la producción de frutos del árbol.

Los frutos fueron secados en estufa con aire forzado a 60 °C por 48 horas para determinar su peso seco. La variable respuesta fue la producción, en peso seco, de frutos por parte del árbol.



**Figura 3.** Procedimiento utilizado en la recolección de frutos. (a) Recolección manual bajo la copa, (b) Tela plástica de recolección.



**Figura 4.** Esquema gráfico que representa la selección de frutos para los casos en que la copa del árbol seleccionado se traslapaba a un árbol vecino con frutos.

Finalmente, desde mediados de abril hasta finales del mismo, se midieron en cada individuo las siguientes variables descriptivas: altura total (m), diámetro de copa este-oeste (m), diámetro de copa norte-sur (m) y la altura desde el suelo hasta el comienzo de la copa (altura de copa), con el objetivo de relacionar estas variables con la producción de frutos.



### **Análisis estadístico**

El diseño experimental correspondió a un diseño completamente aleatorizado, con estructura factorial de 3x3. El primer factor fue la arquitectura con tres niveles: MF (1 fuste), 2F (2 a 3 fustes) y 4F (4 o más fustes); el segundo factor fue la densidad poblacional con tres niveles: AD, MD y BD (1-3 metros, 4-7 metros y mayor a 8 metros al individuo más cercano, respectivamente). La unidad experimental fue el espino, con 20 repeticiones por cada combinación de factores con un nivel.

Previo a los análisis estadísticos, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, y la homogeneidad de varianza mediante la prueba de Levene. En los casos en que no se cumplieron los supuestos, los datos fueron transformados utilizando el método Box-Cox, probándose posteriormente los supuestos estadísticos.

Una vez cumplidos los supuestos, los resultados fueron analizados mediante un ANDEVA con un nivel de significancia del 5%. En los casos en que se encontraron diferencias significativas, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Además, para relacionar las variables descriptivas del árbol (altura total, diámetro de copa, altura de copa y largo de ramas) con las variables productivas (producción de frutos por individuo), se realizaron regresiones múltiples entre estas variables para conocer cuál de estas posee una mayor significancia en la producción de frutos. Aquella variable con mayor significancia en la producción de frutos fue incluida como covariable en el ANDEVA (de producción de frutos versus arquitectura y densidad) para conocer el efecto de ésta en el análisis.

## RESULTADOS

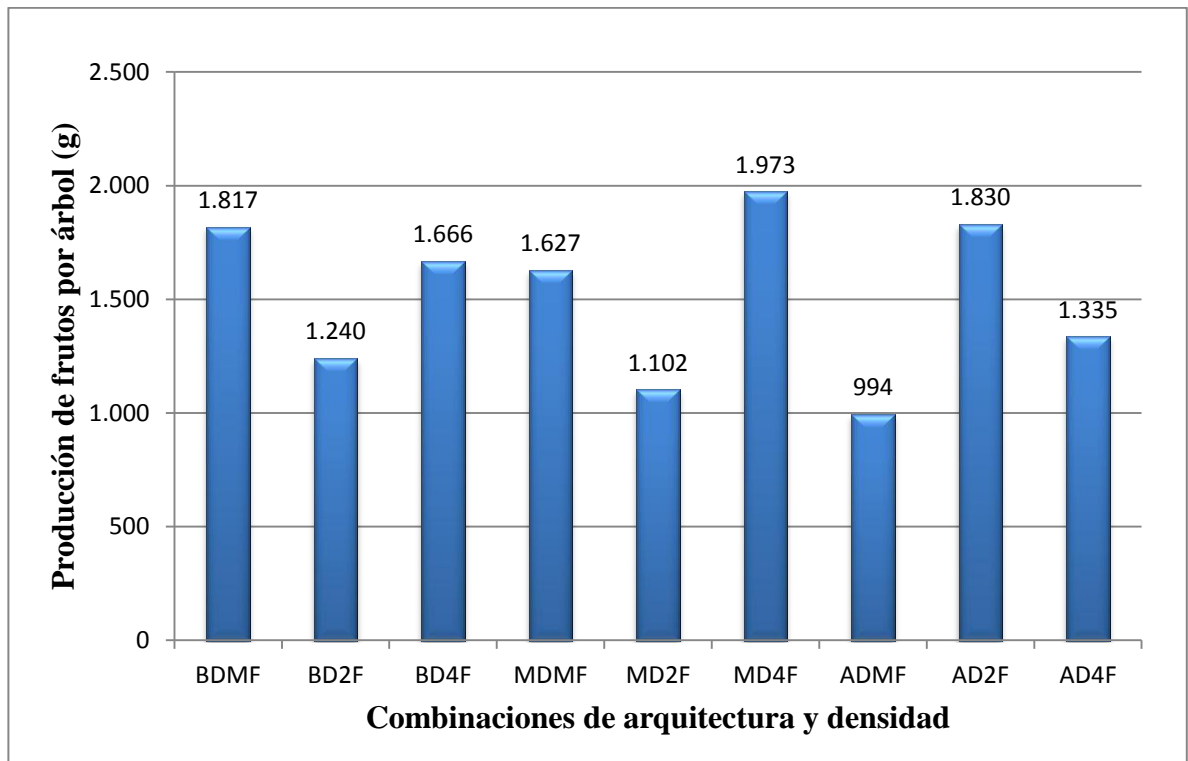
### Arquitectura y densidad en la producción de frutos

Previo al análisis estadístico, se presenta la información obtenida al analizar los factores densidad y arquitectura por separado. Numéricamente, en el factor arquitectura, la mayor producción de frutos se obtuvo en árboles con cuatro o más fustes (Cuadro 2), mientras que las menores producciones se presentaron en árboles de dos y tres fustes, similares a la producción obtenida en árboles monofustales. Para el factor densidad, la menor producción se obtuvo en árboles sujetos a condiciones de alta densidad (AD), mientras que en las condiciones de baja y media densidad, la producción de frutos fue similar. Cabe señalar que, en todas las situaciones estudiadas, existió una alta variabilidad en la producción de frutos por individuo.

**Cuadro 2.** Producción de frutos de espino (g por individuo;  $\pm$  DE), según diferente arquitectura y densidad poblacional.

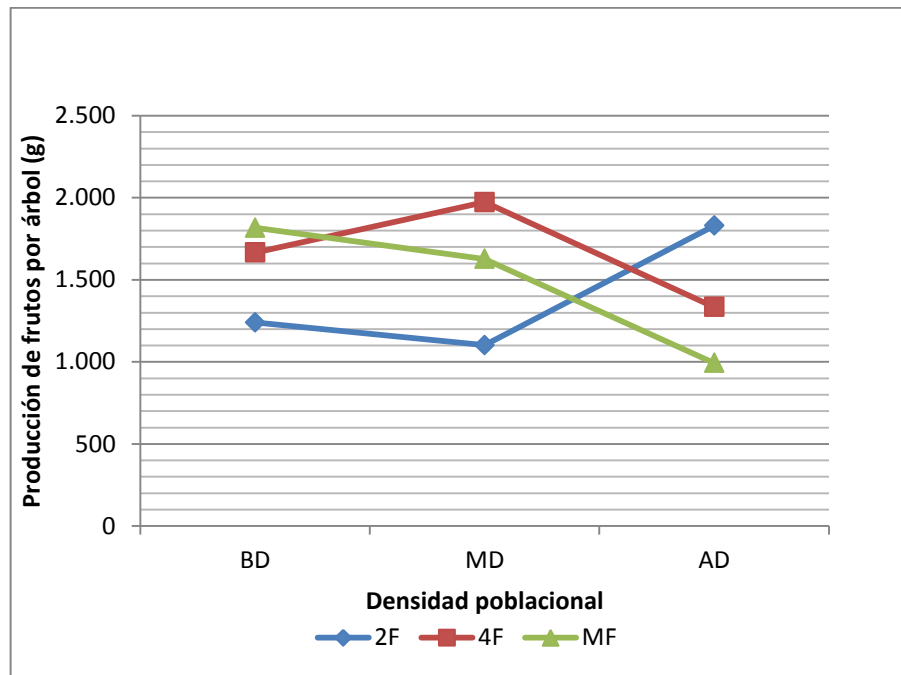
Factor	
Arquitectura	Producción de frutos por árbol (g)
4 o más fustes	1.657,8 ( $\pm$ 1.231)
2 – 3 fustes	1.390,8 ( $\pm$ 1.031)
Monofustal	1.479,3 ( $\pm$ 1.166)
Densidad	
Alta densidad	1.386,2 ( $\pm$ 1.122)
Media densidad	1.567,0 ( $\pm$ 1.188)
Baja densidad	1.574,5 ( $\pm$ 1.133)

Al analizar la producción promedio de cada combinación de factores (Figura 5), se observó que la menor producción se presentó en árboles bajo condiciones de AD y con arquitectura MF, mientras la mayor producción se obtuvo en los árboles con 4F y MD. Para la BD y MD, la menor producción se observó en los individuos con 2F; por el contrario, bajo condiciones de AD, la mayor producción fue en árboles con esta arquitectura.



**Figura 5.** Producción de frutos (g por individuo) para las distintas interacciones posibles entre arquitectura y densidad poblacional.

El resultado del análisis de varianza mostró que los factores arquitectura y densidad, independientes uno del otro, no poseen un efecto significativo sobre la producción de frutos del espino ( $P > 0,05$ ); sin embargo, la interacción de estos factores es estadísticamente significativa ( $P = 0,021$ ). Al observar la interacción entre arquitectura y densidad sobre el peso seco (Figura 6), se puede inferir que tanto los árboles MF como los 4F se comportan relativamente iguales bajo las distintas condiciones de densidad, vale decir, ambos mantienen una producción similar tanto bajo condiciones de BD como de MD, tendiendo a disminuir ambos en AD. En el caso de los árboles con arquitectura 2F, la situación es inversa, ya que la producción de frutos tiende a aumentar con una mayor densidad.



**Figura 6.** Interacción entre la arquitectura y la densidad sobre el peso seco de frutos de espino.

Al analizar el efecto de la arquitectura dentro de los tres niveles de densidad, se observó que no hubo efecto estadísticamente significativo sobre la producción de frutos (Cuadro 3), mientras que en el caso de la densidad dentro de los tres niveles de arquitectura (Cuadro 4), se observó un efecto significativo sobre la producción de frutos en el caso de los árboles MF, siendo mayor la producción en baja densidad y menor en la alta densidad. La alta variabilidad que presentan los datos obtenidos en todos los tratamientos explicaría la no existencia de diferencias estadísticamente significativas, pese a la diferencia numérica entre los tratamientos.

**Cuadro 3.** Efecto de la arquitectura del espino, dentro de cada uno de los niveles de densidad poblacional, sobre la producción de frutos por individuo (g).

Arquitectura	Densidad poblacional		
	Alta densidad	Media densidad	Baja densidad
4 o más fustes	1.334,8 ± 1.189 <b>a</b>	1.972,7 ± 1.234 <b>a</b>	1.665,7 ± 1.247 <b>a</b>
2 - 3 fustes	1.830,1 ± 1.288 <b>a</b>	1.101,8 ± 761 <b>a</b>	1.240,3 ± 866 <b>a</b>
Monofustal	993,7 ± 680 <b>a</b>	1.626,6 ± 1.370 <b>a</b>	1.817,4 ± 1.221 <b>a</b>

Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

**Cuadro 4.** Efecto de la densidad poblacional del espinal, dentro de cada uno de los niveles de arquitectura, sobre la producción de frutos por individuo (g).

Densidad poblacional	Arquitectura		
	4 o más fustes	2 – 3 fustes	Monofustal
Alta densidad	1.334,8 ± 1.189 <b>a</b>	1.830,1 ± 1.288 <b>a</b>	993,7 ± 680 <b>a</b>
Media densidad	1.972,7 ± 1.234 <b>a</b>	1.101,8 ± 761 <b>a</b>	1.626,6 ± 1.370 <b>ab</b>
Baja densidad	1.665,7 ± 1.247 <b>a</b>	1.240,3 ± 866 <b>a</b>	1.817,4 ± 1.221 <b>b</b>

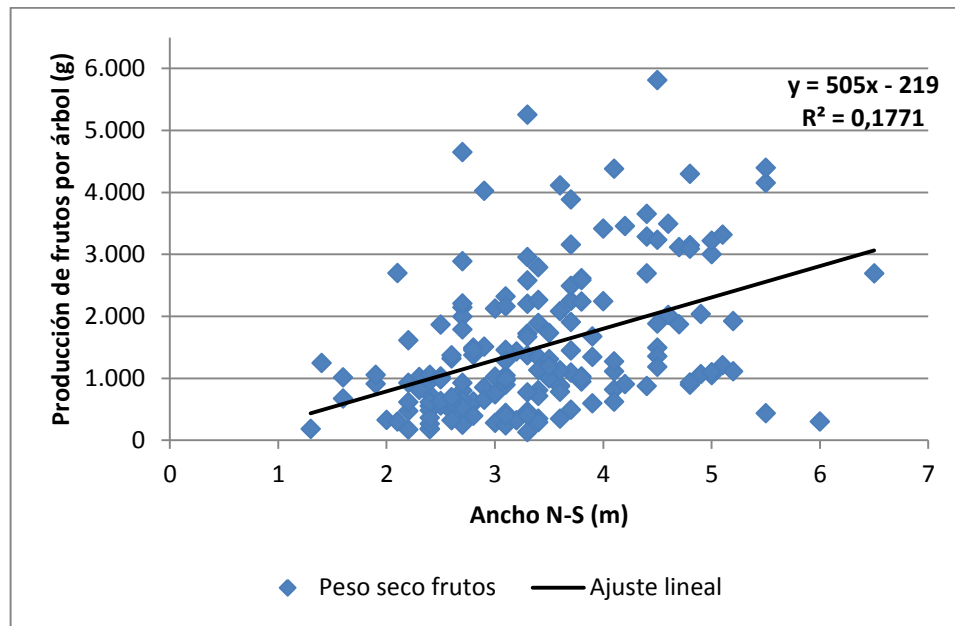
Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

### Variables descriptivas en la producción de frutos

Al realizar una regresión múltiple entre las variables descriptivas de los árboles (altura total, altura de copa, ancho de copa norte-sur, ancho de copa este-oeste) y la variable productiva (producción de frutos), se obtuvo que el ancho N-S explica un 17,7% del peso de los frutos de los árboles (Cuadro 5, Figura 7) y la ecuación de la regresión obtenida corresponde a  $Y = 505 \text{ Ancho N-S} - 219$ . Dado que el ancho N-S fue la variable descriptiva más importante en la producción de frutos, se realizó un análisis de varianza utilizando esta variable como covariable. Los resultados de este ANDEVA arrojaron que, al utilizar el ancho norte como covariable, ni la densidad, ni la arquitectura, ni su interacción fueron significativas (P=0,07), mientras que la covariable ancho N-S fue muy significativa (P=0,000).

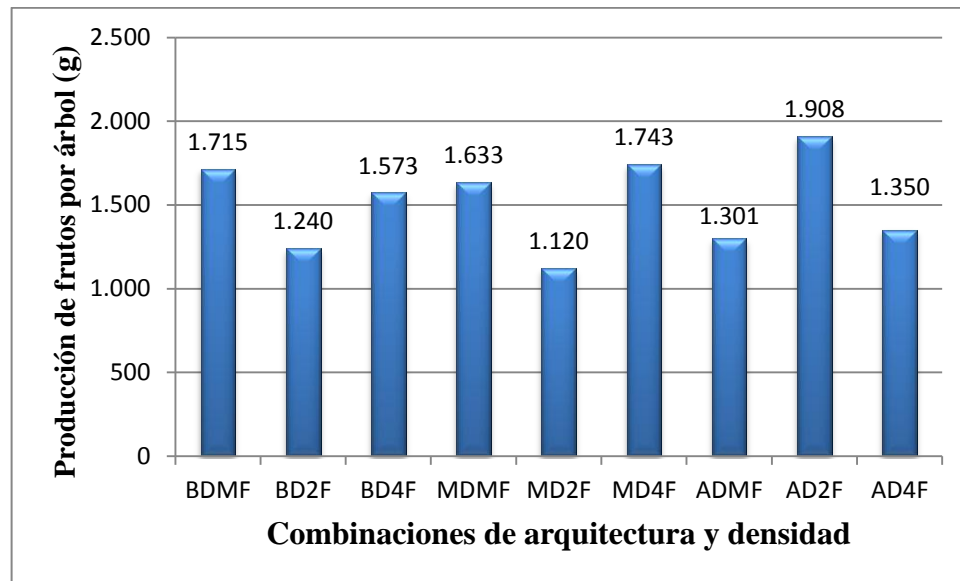
**Cuadro 5.** Mejores combinaciones de regresiones, en función de  $R^2$ , entre la o las variables descriptivas (ancho N-S, ancho E-O, altura copa y altura total) y la variable productiva expresada como producción de frutos.

Ecuación de regresión	$R^2$
Producción de frutos = - 219 + 505 Ancho N-S	<b>17,7</b>
Producción de frutos = 30 + 400 Ancho E-O	14,1
Producción de frutos = - 895 + 294 Altura total + 440 Ancho N-S	18,5
Producción de frutos = - 188 - 26 Altura copa + 505 Ancho N-S	18,2
Producción de frutos = - 819 + 412 Altura total - 288 Altura copa + 421 Ancho N-S	19,3
Producción de frutos = - 902 + 303 Altura total + 461 Ancho N-S - 25 Ancho E-O	18,5
Producción de frutos = - 828 + 440 Altura total - 310 Altura copa + 468 Ancho N-S - 56 Ancho E-O	19,3



**Figura 7.** Regresión lineal entre el ancho N-S y la producción de frutos del espino.

Si se utiliza el ancho de copa N-S como covariable en el análisis de varianza, la producción de frutos varía en relación a los resultados presentados anteriormente. Al comparar los resultados de la Figura 5 con los presentados en la Figura 8, las diferencias más importantes fueron para el caso de los árboles MF, dado que en la situación de MF-AD, la producción de frutos por individuo aumenta 300 gramos, mientras que en MF-BD disminuye en 100 gramos al agregar la covariable. Estas diferencias explicarían la pérdida de significancia estadística de la densidad poblacional dentro de la arquitectura MF, dado que disminuyen las diferencias entre MF-BD, MF-MD y MF-AD.



**Figura 8.** Producción de frutos de espino (g por individuo) según las distintas combinaciones de arquitectura y densidad poblacional del espinal, luego de utilizar el ancho de copa N-S como covariable.

Dados los resultados anteriormente expuestos y la importancia del ancho N-S sobre la producción de frutos, se consideró pertinente realizar un análisis de varianza con arquitectura y densidad como factores y con ancho N-S como respuesta, para conocer el efecto de la densidad y arquitectura en el ancho N-S del árbol. Los resultados mostraron que sólo la densidad influye significativamente en el ancho N-S del árbol, tendiendo a disminuir su valor en la medida en que aumenta la densidad (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Efecto de la densidad poblacional del espinal sobre el ancho de copa N-S de los árboles.

Densidad poblacional	Ancho N – S (m)
Alta densidad	3,11 <b>b</b>
Media densidad	3,53 <b>a</b>
Baja densidad	3,53 <b>a</b>

Al analizar los promedios de combinación de factores (Cuadro 7), se puede observar que es la combinación entre AD y MF, la situación que entrega un menor promedio de ancho N - S, cuestión que podría explicar la menor producción promedio de AD en todos sus niveles.

**Cuadro 7.** Ancho N – S promedio en cada combinación de factores en un nivele.

Arquitectura	Densidad poblacional		
	Alta densidad	Media densidad	Baja densidad
4 o más fustes	3,36	3,87	3,59
2 – 3 fustes	3,23	3,35	3,39
Monofustal	2,74	3,38	3,61



## DISCUSIÓN

Dada la significancia del ancho de copa N-S como covariable al realizar el ANDEVA, se puede inferir que esta variable descriptiva es la que permite estimar de mejor manera la producción de frutos por individuo. Los resultados del presente ensayo indicarían que, en árboles con dimensiones de ancho de copa N-S similares, la producción de frutos sería similar, independiente de la arquitectura y densidad en la cual se encuentre el individuo. Esta información es concordante, además, con las observaciones realizadas en el campo, donde se apreció que la producción de frutos se concentra en el lado norte del árbol, cuestión que podría ser expresada como consecuencia de una mayor radiación directa y una mayor temperatura media (Figura 9), lo que explicaría la significancia de esta variable sobre la producción de frutos. Por otra parte, bajo condiciones carentes de manejo productivo, sólo el factor densidad influiría sobre el ancho de copa N-S, por lo que este factor sería más relevante que la arquitectura o el número de fustes del árbol para llegar a determinar el potencial productivo de un espinal. La baja influencia de la arquitectura sobre la producción de frutos puede ser explicada por la homogeneidad de los árboles seleccionados. Bajo un sistema con un manejo productivo de los individuos, la arquitectura podría adquirir importancia. En el estudio realizado por Olivares y Ortiz (1991), la selección de los árboles consideró sólo la arquitectura de los árboles, sin contemplar el tamaño de las copas, obteniendo que los árboles con más fustes fueron los que más produjeron frutos, siendo éstos últimos, probablemente, individuos con mayor ancho de copa N-S.



**Figura 9.** Fotografía del hábito de floración en espino, en donde se observa una mayor concentración de flores en la exposición norte del individuo.

Dado esto, es posible suponer que, pese a la alta variabilidad de la producción de frutos, árboles con tamaño de copas similares tendrían producciones de frutos similares, independiente de la arquitectura del ejemplar.

El manejo de la arquitectura del árbol podría tener efectos sobre la penetración y distribución de la luz al interior de la copa, cuestión que ayudaría a una correcta inducción floral (Razeto, 2006). Estudios en vid indican que, si se presenta una alta proporción de follaje en condiciones de sombreado, sólo una parte de las hojas mantendría el suministro de asimilados para la producción de frutos (Vidal, 2004); más aún, la producción de frutos tendrá que competir con la mantención de tejidos verdes sombreados (Pastenes *et al.*, 2001, citado por Vidal, 2004). Otro efecto que podría tener la arquitectura del árbol sobre su productividad fue estudiada por Rosati *et al.* (2013), quienes determinaron que el diámetro basal de las ramas está correlacionado negativamente con la frecuencia de ramificación y con el diámetro de los dardos frutales de un año, por lo que diámetros pequeños y altas ramificaciones serían características importantes de la arquitectura para aumentar el rendimiento productivo de los árboles.

El sombreado ha sido identificado como uno de los factores más importantes en la disminución del rendimiento en uva (Smart, 1985, citado por Fernández y Takamiya, 1994), probablemente por un aumento de necrosis de yemas y disminución de yemas fructíferas (Pérez y Kliewer, 1990; Pérez y Momberg, 1989, citados por Fernández y Takamiya, 1994), por un aumento de madera improductiva, lo que disminuye el índice de área foliar (Benvenuto, 2013) y por hojas parásitas que, producto del sombreado, producen menos materia seca que la que ellas mismas necesitan (Gil, 1997).

De este modo, es factible suponer que estos factores, actuando de manera conjunta, podrían influir sobre la producción de frutos del espinillo y sobre el hecho de que las diferentes arquitecturas estudiadas no posean efecto sobre el rendimiento productivo del árbol. Esto adquiere particular relevancia en individuos que no están sometidos a manejos agronómicos o silvícolas tendientes a incrementar la producción de frutos.

En relación a la densidad poblacional de un huerto o una formación vegetal natural, una recomendación habitual es utilizar árboles pequeños, ya que reducen o eliminan los centros sombreados e improductivos de la copa, generando una mayor superficie en relación con el volumen y un mayor porcentaje foliar expuesto a la luz solar (Heinike, 1975, citado por Nuñez, 1992). Según Génard *et al.* (2000), la fotosíntesis por unidad de área foliar iluminada disminuye con un aumento de la densidad del huerto, vale decir, la variación de fotosíntesis por unidad de área foliar, está principalmente determinada por la fracción de área foliar expuesta al sol. Por otra parte, una copa de gran volumen, puede tener efectos negativos en el requerimiento de frío al que deben ser expuestas las yemas, siendo las yemas florales aquellas con mayores requisitos, ocurriendo la brotación y floración con retraso y desuniformidad, pudiendo resultar al cabo de varios años, en un vigor cada vez menor (Gil, 1997).

En huertos de ciruelos, el manejo de la densidad de plantación tendría un efecto de competencia entre árboles adyacentes. En la medida en que la densidad es mayor, disminuiría el tamaño de la copa (Nuñez, 1992), cuestión que se debiera tener en cuenta al momento de estudiar la posibilidad de establecer un huerto productivo de espinos, para evitar los efectos negativos producidos por la competencia, a la vez que se maximiza el aprovechamiento del espacio (Cambra y Cambra, 1983). En el caso de huertos comerciales de manzanos, un aumento en el número de plantas por unidad de superficie provocaría una menor producción por árbol y una mayor producción por unidad de superficie (Cambra y Cambra, 1983). Según Lavee *et al.* (2012), ejemplares de mayor tamaño presentarían una mayor producción por individuo y una menor producción por unidad de superficie, además de dificultarse las labores de manejo en individuos con estas características.

La influencia de la densidad poblacional sobre el ancho de copa podría deberse a una competencia por nutrientes, agua, radiación, o bien por alelopatías que puedan existir. Una sobrepoblación en el huerto, además de provocar dificultades de manejo, produce muerte de yemas y de ramillas, sobre todo en aquellos sectores menos expuestos a la radiación solar (Razeto, 2006), lo que podría explicar que exista una relación directa entre el tamaño de copa de los árboles estudiados y la densidad poblacional de la formación vegetal.

Otro factor que podría influir sobre la producción de frutos de un árbol, es el fenómeno conocido como añerismo. Según Smith y Samach (2013), el añerismo puede ser provocado por una alta carga frutal que disminuye el crecimiento vegetativo y la floración de la temporada siguiente, posiblemente por una dinámica de auxinas. Dadas las características del presente estudio, no es posible determinar si el espino es una especie susceptible a este fenómeno, ya que sólo se seleccionaron árboles que tuvieran frutos y sólo se midió durante la temporada en estudio. Para analizar el efecto del añerismo sobre la producción de frutos del espino, se sugiere realizar mediciones durante varias temporadas y considerar factores estudiados para este fenómeno como condiciones climáticas, carga frutal, crecimiento vegetativo, anillado y poda. Cabe destacar el efecto que un gran volumen de copa tendría sobre la temperatura en las yemas, y por lo tanto sobre la carga frutal, dado los resultados obtenidos por Shurich (1985, citado por Callejas y Reginato 2000), en manzanos, donde resalta que la carga frutal explicaría un 37% del añerismo, sin embargo al incorporar la variable temperatura, explicaría un 65% del fenómeno.

El presente estudio se acerca a la rama de investigación de la fruticultura relacionada con densidad y arquitectura en la producción de frutos en donde se considera, más que la producción de frutos por individuo, la producción de frutos por unidad de superficie y por cantidad de radiación interceptada. Dentro de una misma especie, los árboles de tamaño reducido poseen una mayor eficacia productiva por unidad de superficie que los de gran tamaño, pues interceptan más luz solar y, además, obtienen una mejor distribución de ella al interior del follaje (Razeto, 2006).

De este modo, y considerando que este ensayo está enfocado en aportar información para establecer sistemas de manejo silvopastoriles del espinal que sean sustentables y que consideren la utilización integral de los recursos disponibles, los resultados del presente estudio permiten recomendar el manejo de un espinal con altas densidades (siempre y cuando no entorpezcan el talaje de los animales) y árboles pequeños, dejando árboles de gran tamaño para el refugio de los animales, tanto del frío como del calor. Árboles pequeños presentarían también una menor dificultad para las labores de manejo y para la cosecha de los frutos. El planteamiento de este manejo está basado en obtener la mayor producción de frutos por unidad de superficie.

No obstante lo anterior, la fruticultura considera como parámetro de calidad el tener frutos de mayor tamaño en desmedro de la cantidad. Para el caso de alimentación animal, el parámetro de calidad de mayor importancia sería el contenido de nutrientes de los frutos y la cantidad de éstos, por lo que no se requeriría un manejo de poda tan intensivo como para el caso de la fruticultura tradicional. Un manejo que podría ser adecuado para aumentar la cantidad de frutos es el anillado de los árboles, que aumenta la inducción floral, el cuaje de frutos y el tamaño de frutos (Razeto, 2006; Robinson *et al.*, 2007)

La optimización de la productividad del espino en la producción animal, estará en función del ordenamiento predial acorde a las potencialidades de los suelos y los objetivos del sistema de producción utilizado, debiendo existir un apotramiento de los sitios con altas densidades de espino para su utilización cuando no se disponga de suficiente cantidad de forraje nutritivo en las praderas naturales o naturalizadas (Gastó *et al.*, 2002). De acuerdo a las necesidades, se debiera planificar la utilización de diferentes sectores en el predio, por ejemplo, sitios de veranada e invernada, aprovechando los beneficios del espino como recurso forrajero, como protección del frío y del calor, como aportador de nutrientes al suelo y como mejorador de la pradera, utilizando los criterios entregados por D'Angelo (2002), vale decir, aplicar los principios del ordenamiento territorial a nivel predial.

Cabe destacar que, al recorrer el campo, se observó una gran cantidad de árboles de todas edades, densidades y arquitecturas que no presentaron frutos. Además, se observó que los espinos florecen y fructifican en ramas de más de un año y también se pudo corroborar diferencias importantes en la forma de los frutos entre un árbol y otro. Por esto, se sugiere extender el estudio del espinal para obtener resultados con mayor significancia de esta especie de importancia ecológica, tanto por su extensión en el país, como por sus bondades productivas.

## CONCLUSIONES

Dados los antecedentes estudiados y los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que copas de tamaño similar, tendrán una producción similar de frutos expresado en peso seco.

Se concluye también que la densidad influye significativamente en el tamaño de copa del árbol. Además, los árboles con mayor volumen de copa tendrán una mayor producción de frutos que los árboles pequeños. No obstante, árboles pequeños tendrían una mayor producción de frutos por unidad de superficie.

Finalmente, el mejor predictor de la productividad de los espinos es la variable ancho N-S, dada su alta significancia como covariable del análisis de varianza.

## LITERATURA CITADA

- Benvenuto, A. 2013. Evaluación de diferentes sistemas de conducción en granados (*Punica granatum L.*) var. Wonderful en diferentes zonas de Chile. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 50 p.
- Callejas, R. y G. Reginato. 2000. Formación de la yema floral y factores que determinan la alternancia en las producciones. *Revista Frutícola* 21 (2): 61-68.
- Cambra, M. y R. Cambra. 1983. Diseños de plantación y formación de árboles frutales. Zaragoza, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Estación Experimental de Aula Dei. 158 p.
- Castillo, H.; A. Olivares.; G. Polzenius y W. Potter. 1990. Variaciones de la humedad aprovechable del suelo y su efecto en la producción de materia seca de la pradera desarrollada bajo la influencia del espino. *Avances en Producción Animal* 15: 19-27.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana: Descripciones de suelos materiales y símbolos. Santiago, Chile. 425 p. (Publicación CIREN N° 115).
- D'Angelo, C. 2002. Aplicación de los principios de la ordenación territorial a casos hipotéticos pp. 751-780. *In: Gastó, J., P. Rodrigo e I. Aranguiz. (Eds.). Ordenación Territorial, Desarrollo de Predios y Comunas Rurales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. LOM Ediciones. Santiago, Chile. 995 p.*
- Fernández, J. y A. Takamiya. 1994. Influencia de la carga y la orientación del follaje sobre la productividad potencial y la calidad de los cvs. Thompson Seedless, Flame Seedless y Ribier, en el sistema de conducción "Gable". Tesis de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. 123 p.
- Gajardo, R. 1987. La vegetation naturelle du Chile: Proposition d'un système de classification et representation de la distribution géographique. Teses Dr. Université D'Aix-Marseille, Faculté de Sciences et Techniques de Saint Jerome. 301 p.
- Gastó, J.; P. Rodrigo e I. Aranguiz. (Eds.). 2002. Ordenación Territorial, Desarrollo de Predios y Comunas Rurales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. LOM Ediciones. Santiago, Chile. 995 p.
- Genard, M.; Baret, F. and D. Simon. 2000. A 3D peach canopy model used to evaluate the effect of tree architecture and density on photosynthesis at a range of scales. *Ecological Modelling* 128: 197-209.

Gil, G. 1997. Fruticultura: el potencial productivo: crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos. Santiago, Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. 342 p.

Gómez, D. 2011. Efecto de la suplementación con frutos de espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) en la condición corporal, peso vivo en último tercio de gestación y peso al nacimiento de corderos en ovejas Suffolk. Memoria de título. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 32 p.

Lavee, S.; A. Haskal. and B. Avidan. 2012. The effect of planting distances and tree shape on yield and harvest efficiency of cv. Manzanillo table olives. *Scientia Horticulturae* 142: 166-173.

Nuñez, J. 1992. Efecto del sistema de conducción y del Paclobutrazol sobre el desarrollo vegetativo y la producción del ciruelo, cultivar Santa Rosa. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 141 p.

Olivares, A. y J. Gastó. 1971. Comunidades de terófitas en subseres postaradura y en exclusión en la estepa de *Acacia caven* (Mol.) Hook. Et Arn. *Boletín Técnico Facultad de Agronomía* 34: 1-24.

Olivares, A.; R. Cornejo y J. Gandara. 1983. Influencia de la estrata arbustiva (*Acacia caven* (Mol.)). Hook et Arn. en el crecimiento de la estrata herbácea. *Avances en Producción Animal* 8: 19-28.

Olivares, A.; H. Castillo y G. Polzenius. 1988. Modificaciones de las características microambientales provocadas por la presencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. II. Influencia en la estrata herbácea. *Avances en Producción Animal* 13 (1-2): 41-48.

Olivares, A. 1989. El ecosistema silvipastoral. *Avances en Producción Animal* 14 (1-2): 3-14.

Olivares, A. y W. Alvarado. 1991. Relación entre el hábito de crecimiento del espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) y la producción de leña y carbón. *Avances en Producción Animal* 16 (1-2): 95-107.

Olivares, A. y G. Ortiz. 1991. Influencia del hábito de crecimiento del espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) en la producción de flores y frutos. *Avances en Producción Animal* 16 (1-2): 81-93.

Olivares, A. y W. Caro. 1998. Efecto de la presencia de sombra en el consumo de agua y ganancia de peso de ovinos en pastoreo. *Agrosur* 26: 77-80.

Olivares, A. 2006. Relaciones entre el estrato arbóreo, el estrato herbáceo y la conducta animal en el matorral de *Acacia caven* (espinal). *Sécheresse* 17 (1-2): 333-338.

Razeto, B. 2006. Para Entender la Fruticultura. Cuarta edición. Bruno Razeto, Edición y Comercialización de Libros. Santiago, Chile. 518 p.

Robinson, T.; G. Reginato y S. Hoying. 2007. Sistema “Tall Spindle”: Alternativa para la conducción de huertos de manzanos en alta densidad. Revista Frutícola 28 (1): 29-33.

Rosati, A.; A. Paoletti.; S. Carporali and E. Perri. 2013. The role of tree architecture in super high density olive orchards. Scientia Horticulturae 161: 24-29.

Smith, H. and A. Samach. 2013. Constraints to obtaining consistent annual yields in perennial tree crops. I: Heavy fruit load dominates over vegetative growth. Plant Science 207: 158-167.

Vidal, A. 2004. Descripción de la estructura, productividad y radiación en el sistema de conducción en el sistema “Gable” para tres variedades de uva de mesa. Memoria de título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 45 p.