

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**VARIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y PARÁMETROS DE CALIDAD DE SEMILLAS EN  
BOSQUE NATURALES DE *BEILSCHMIEDIA MIERSII*: RESULTADOS  
PRELIMINARES.**

Informe de práctica profesional presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales.

NICOLE PAZ SAEZ GEOFFROY

TEMUCO – CHILE

2013

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**VARIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y PARÁMETROS DE CALIDAD DE SEMILLAS EN  
BOSQUE NATURALES DE *BEILSCHMIEDIA MIERSII*: RESULTADOS  
PRELIMINARES.**

Informe de práctica profesional presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales.

NICOLE PAZ SAEZ GEOFFROY  
PROFESOR GUIA: ADISON RICARDO ALTAMIRANO NAVARRETE

TEMUCO – CHILE

2013

**VARIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y PARÁMETROS DE CALIDAD DE SEMILLAS EN  
BOSQUE NATURALES DE BEILSCHMIEDIA MIERSII: RESULTADOS  
PRELIMINARES.**

PROFESOR GUÍA:

---

ADISON RICARDO ALTAMIRANO NAVARRETE  
INGENIERO FORESTAL,  
DOCTOR EN CIENCIAS FORESTALES  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES  
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

PROFESOR CO-GUÍA:

---

ALEJANDRO MIRANDA CERPA  
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES,  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES  
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

CALIFICACIÓN PROMEDIO INFORME DE PRÁCTICA PROFESIONAL: \_\_\_\_\_

## AGRADECIMIENTOS

Eternamente agradezco a mi madre por su apoyo incondicional, por enseñarme a luchar por los sueños, a ser cada día mejor persona, a aspirar siempre a más y a levantarme cuando he caído. A mi padre de quien siempre he recibido amor incondicional y apoyo, quien se ha esforzado para darnos lo mejor siempre. Ambos han sido el pilar fundamental para llegar a ser quien soy y a esforzarme cada día por mejorar siempre. Le agradezco a mi hermano Andrés quien siempre ha sido un ejemplo a seguir y que ayudo en la revisión de este informe. A mis abuelos que ya no están y a mi abuelo Pedro quien es un segundo padre para mí. A Susana la hermana que nunca tuve y con quien iniciamos el desafío universitario.

A mi novio, Eduardo, a quien agradezco infinitamente la paciencia en días estresantes de estos últimos 2 años, el apoyo incondicional y la ayuda en lo que más ha podido y por sobre todo por confiar en mí y amarme incondicionalmente. A los amigos de siempre, a mi amiga Carrie quien me soporto y aconsejo en esta etapa.

Le agradezco a la profesora Zoia Neira y Soraya Calzadilla por su buena disposición siempre para con este proyecto, por brindarnos las herramientas necesarias cuando lo necesitamos y por la dedicación. Al profesor Cesar Arriagada y a la profesora Maribel Parada a quienes agradezco la buena voluntad de apoyarnos con instrumentos necesarios para este proyecto.

Al profesor Adison quien fue el precursor de que participará en este proyecto y de quien he aprendido mucho a lo largo de mi paso por la universidad, quien me ha aconsejado y guiado para hacer de este trabajo lo mejor posible.

A Alejandro un amante de lo que hace, de quien aprendí además de muchos conocimientos a crecer como profesional y como persona, quien confió en mí para esta gran aventura. Gracias por aceptar mi participación en este proyecto tan lindo y por guiarme siempre de la mejor manera posible.

Finalmente agradezco a Anglo American Chile, principalmente a la División El Soldado quienes autorizaron y pusieron nuestra disposición lo necesario para muestrear y tomar datos. También al Regimiento de Caballería Blindada N°1 “Granaderos” de Quillota, Jaime Kopaitic de Agrosuper, Lorenzo Herrera, Carlos Bahamondes, Rafael Cabrera, condominio costa Cachagua, Andrés Prieto, Jean Claude Echard, Rosauro Valdivia, Carmelo Astudillo y Kurt Sielfeld propietarios de los predios a los que ingresamos a realizar muestreo. A todos muchas gracias.

**Variación en la producción y parámetros de calidad de semillas en bosque naturales de *Beilschmiedia miersii*: resultados preliminares.**

**RESUMEN**

Las semillas forestales constituyen uno de los principales insumos para la producción de plantas nativas. La producción de semillas en bosques naturales depende de factores tanto bióticos como abióticos que operan a diferentes escalas espaciales. En este estudio se evaluó la variabilidad de la producción y calidad de semillas en bosques naturales de *Beilschmiedia miersii*. Se muestrearon 50 localidades para evaluar producción y 13 para calidad en las regiones Metropolitana y de Valparaíso. Se estimó la densidad de frutos y la proporción de árboles con fruto por localidad en un radio de observación de 250 m. Por otro lado, los parámetros de calidad evaluados son: i) volumen, ii) contenido de humedad de la semilla y iii) peso del fruto. Utilizando modelos de regresión múltiple se relacionó i) densidad de frutos y ii) proporción de árboles con frutos, con diferentes variables ambientales. Los resultados muestran que la producción de frutos se encontraría positivamente asociada a la temperatura media y a la elevación, favoreciéndose a su vez con la cercanía a cuerpos de agua. La proporción de árboles con frutos sólo se asociaría positivamente a la temperatura media. Los parámetros de calidad de semillas presentan una variación en función a la procedencia geográfica, y por otro lado, las localidades con agua permanente y con mayor densidad de árboles tienen semillas significativamente de mayor tamaño y contenido de humedad que semillas de condiciones más xéricas y con árboles más aislados. Este conocimiento ayudará al establecimiento de fuentes semilleras, lo cual es fundamental para asegurar el abastecimiento continuo de semillas, en particular para especies con alto valor de conservación.

*Palabras clave:* fuentes semilleras, variabilidad ambiental, bosque mediterráneo.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas mediterráneos del mundo existen zonas de alta riqueza y endemismo de especies vegetales (Cowling *et al.* 1996). En Chile, la alta tasa de deforestación y la significativa alteración de ecosistemas por la concentración humana han alterado la composición natural y provocado la pérdida de gran parte de los ecosistemas naturales (di Castri *et al.* 1981, Aschmann 1990). Se estima que en los últimos 40 años ha ocurrido una pérdida aproximada del 40% de los bosques remanentes de la zona central de Chile (Schulz *et al.* 2010)

En este contexto, es relevante considerar para el sustento, fomento y mejoramiento de los programas de manejo, recuperación y conservación del bosque nativo en la zona central de Chile, que la producción de semillas forestales sea de alta calidad (Jara 1998). La sobrevivencia y éxito de una plantación depende en gran medida de la calidad de las semillas utilizadas y de la selección apropiada de la procedencia genética, lo que influirá en la tolerancia a factores ambientales del sitio a instalarse (Gajardo 1993).

Una manera de impulsar la producción de semillas de alta calidad es mediante el establecimiento de fuentes semilleras. De acuerdo a Zobel y Talbert (1984) las fuentes semilleras son grupos de árboles de una especie, donde predominan individuos fenotípicamente aceptables o deseables en cuanto a vigor, forma y sanidad, los cuales son manejados para aumentar y sostener una producción de semillas en cantidad y calidad. El establecimiento de fuentes semilleras busca abastecer la demanda de semillas de árboles nativos a través de rodales con alta semillación (Castillo y Moreno 2000).

La identificación de fuentes semilleras en el bosque esclerófilo de la zona central de Chile, con alto grado de amenaza, intervención y reemplazo, es una base fundamental para la recuperación y restauración de estos bosques, debido a la pérdida y perturbación antrópica a la que está sometido (Pavez *et al.* 2010, Shultz *et al.* 2010).

La producción de semillas puede presentar una variación entre individuos y localidades geográficas, debido a que este proceso puede estar regulado por factores bióticos o abióticos, que además pueden operar a diferentes escalas espaciales. Se ha observado que la producción de semillas posee un alto nivel de fluctuación en los tamaños de producción y asincronicidad entre años, incluso ausentándose en algunos años la producción de semillas en ciertas localidades (Schaik y Noordwijk 1985, Liebhold *et al.* 2004, Donoso 2006, Norden *et al.* 2007, Cannon *et al.* 2007).

En los últimos años se ha observado una reducción de las poblaciones de *Beilschmiedia miersii* (Gay) Kosterm., debido a la reducción del hábitat original provocado por cambios a otros usos del

suelo (agricultura, minería, urbanización, redes viales, etc) (Novoa 2004). Esto ha generado que las subpoblaciones que hoy encontramos sean en su mayoría remanentes de comunidades que se desarrollaron bajo condiciones ambientales diferentes a las actuales.

*Beilschmiedia miersii* (Lauraceae) es un árbol perenne de hasta 25m de alto, endémico de Chile central. Declarado monumento natural mediante el DS. N° 13 exento el año 1995 y está catalogado como especie vulnerable según el Libro Rojo de la Flora Terrestre Chilena (CONAF 1985). Sin embargo, Gajardo *et al.* (1987) proponen a la especie en la categoría de “En peligro” ya que se ha reducido su área de distribución, por su frágil regeneración natural y por su escasa protección.

*B. miersii* distribuye en quebradas de la cordillera de la costa en la zona central de Chile (32°13'S - 34°13'S). Sus poblaciones se encuentran mayoritariamente en la Región de Valparaíso, fuera de ésta se conocen subpoblaciones en las comunas de Paine (laguna de Aculeo), Melipilla y Alhué en la Región Metropolitana y en Loncha, en el cerro El Poqui y Doñihue, en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (Novoa 2004). Se estima existen 180.000 individuos, que crecen en 162 localidades y cubren aproximadamente 5.000 ha. de las regiones V, RM y VI (Anglo American Chile y CICA Ingenieros Consultores 2002, Novoa 2004). Una de las subpoblaciones más grandes se encuentra en la División El Soldado en la cordillera El Melón (Región de Valparaíso) de la empresa Anglo American Chile. Esta localidad tiene más de 10.000 ejemplares que representan alrededor del 30% de la población total en el país (Anglo American Chile y CICA Ingenieros Consultores 2002)

Las condiciones ambientales en las que se desarrolla corresponden al clima mediterráneo, con precipitaciones medias de aproximadamente 500 mm, temperaturas medias de 13,2 °C y una prolongada estación seca de hasta 7 meses en la zona norte de la distribución de la especie (Ramírez *et al.* 2004, Badano *et al.* 2005). Forma bosques en asociación con peumo (*Cryptocarya alba*), canelo (*Drimys winteri*), lingue (*Persea lingue*), lun (*Escallonia sp.*) junto a otras especies higrófilas con las cuales forma bosques perennifolios mixtos de distribución fragmentada. En estos bosques, frecuentemente es la especie dominante en cuanto a tamaño y altura, destacando notoriamente en el paisaje (Novoa 2004). Es posible que *B. miersii*, solo pueda regenerar esporádicamente, en años con precipitaciones abundantes. La mayoría de las subpoblaciones remanentes se encuentran en fondos de quebradas, requiriendo generalmente altas cantidades de humedad por influencia de agua edáfica o de neblina costera (Serra *et al.* 1986, Hechenleitner *et al.* 2005). Su distribución se encuentra positivamente asociada la precipitación anual y la temperatura promedio del cuarto mes más cálido (Pliscoff y Fuentes-Castillo 2011). Se desarrolla principalmente en exposiciones umbrías o polares (S, O, SO) y en altitudes entre los 15-1200msnm.

El fruto de *B. miersii* es una drupa elipsoide de pericarpio coriáceo y los frutos son uniseminados (Nishida 1999, Rodríguez *et al.* 1983). Las semillas son de germinación hipógea, por lo cual es de gran importancia las condiciones microambientales del sustrato (luz, humedad, etc) para facilitar la germinación y establecimiento de los nuevos individuos (Serra *et al.* 1986). Como otras lauráceas, el belloto del norte tiene semillas recalcitrantes, con las que producen plántulas abundantemente en años lluviosos, pero que se secan casi íntegramente en la temporada estival (Novoa 2004).

Con la finalidad de realizar una evaluación inicial de la variabilidad en la producción y parámetros de calidad de semillas de *B. miersii* orientado al establecimiento de fuentes semilleras en bosques naturales, este trabajo tiene como objetivos específicos: i) Determinar los factores ambientales asociados a una mayor producción de semillas de *B. miersii* ii) Definir la variabilidad de los parámetros de calidad de semillas de *B. miersii* en diferentes procedencias geográficas y para diferentes condiciones de sitio y iii) Establecer criterios ambientales para el establecimiento de fuentes semilleras de *B. miersii*, en función a la producción y parámetros calidad de semillas.

## 2. MÉTODOS

Una vez definida el área de estudio se creó un mapa de subpoblaciones conocidas y georreferenciada de *B. miersii* en base a tres fuentes de información diferentes. Para realizar los posteriores análisis de la variabilidad en la producción de frutos, se crearon variables climáticas y topográficas, las cuales se imputaron a la distribución de subpoblaciones de *B. miersii*. Se realizaron los trabajos de campo para obtener datos de producción y coleccionar los frutos. Una vez obtenida la información de campo se crearon las bases de datos a partir del procesamiento de esta información.

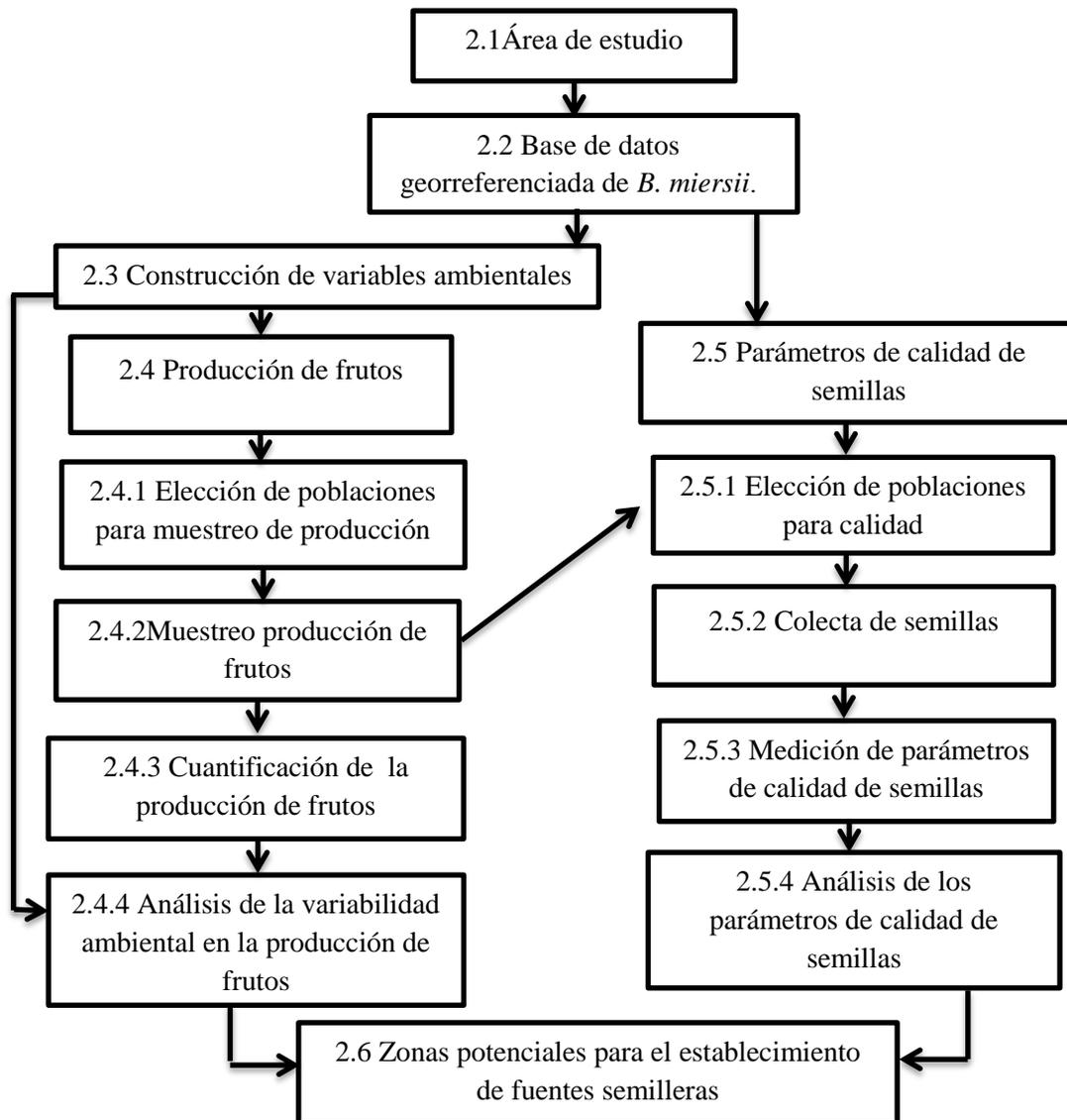
Para la estimación de la producción de frutos se analizó la variabilidad ambiental a través de variables a escala regional, donde se compararon los diferentes localidades muestreadas en terreno, evaluando la densidad de frutos por árbol (N° frutos/m<sup>2</sup> copa) y la proporción de árboles con frutos (%). Los parámetros de calidad medidos fueron el promedio de los pesos del fruto (g), del volumen de frutos (cm<sup>3</sup>) y del contenido de humedad de las semillas (%), los cuales se compararon para las diferentes procedencias geográficas. Se evaluaron además los parámetros de calidad para dos ensayos en diferentes condiciones de sitio, uno que evalúa la presencia/ausencia de agua permanente y otro que evalúa una alta/baja densidad de árboles de la especie.

La variabilidad ambiental de la densidad de frutos (N° frutos/m<sup>2</sup> copa) y la proporción de árboles con frutos (%) por localidad se analizó mediante modelos de regresión lineal simple y análisis de

estadística descriptiva. Los parámetros de calidad se evaluaron mediante análisis estadísticos descriptivos.

En base a esta información y análisis se dan los primeros alcances sobre una propuesta de zonas potenciales para el establecimiento de fuentes semilleras de acuerdo a la variabilidad ambiental en la producción de frutos, proporción de árboles con frutos y de los parámetros de calidad de semillas en diferentes procedencias geográficas.

A través de un esquema se presentan los capítulos que aborda la metodología del trabajo (Figura 1).

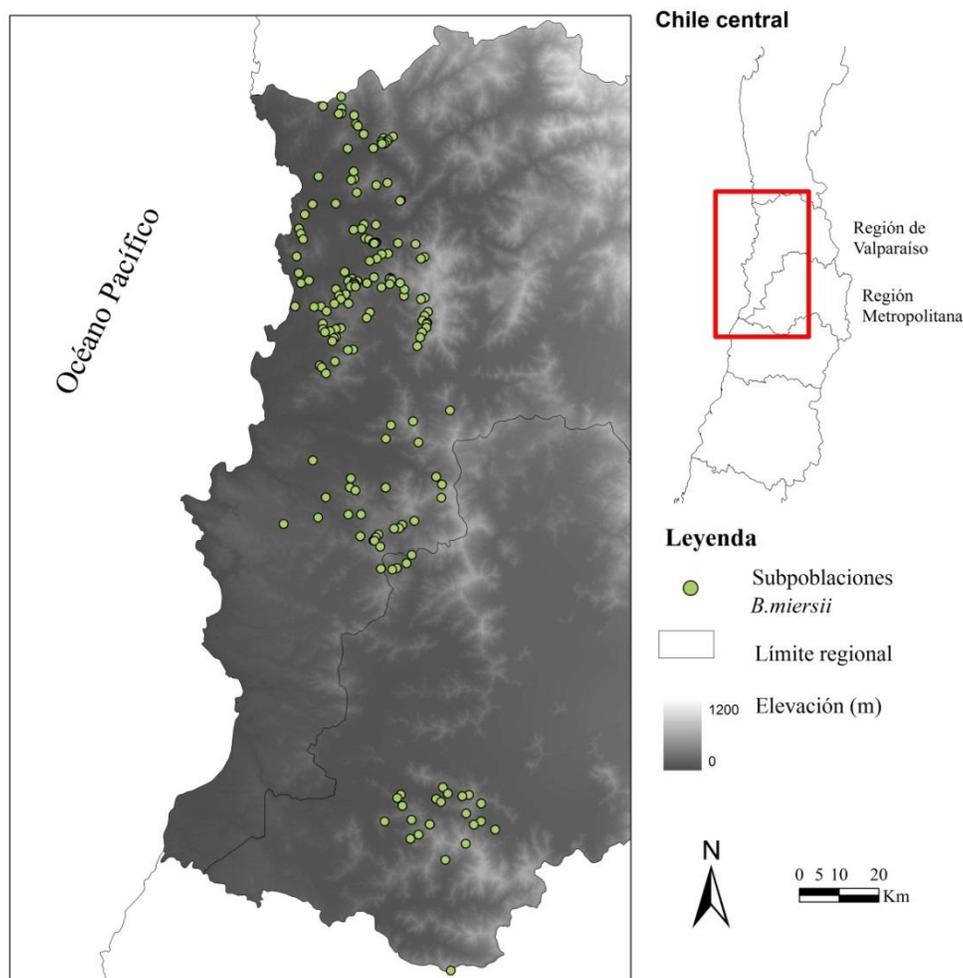


**Figura 1.** Esquema resumen de la metodología descrita en el informe.

**2.1 Área de estudio.** El área estudio se encuentran ubicadas en la zona central de Chile, regiones de Valparaíso y Metropolitana, entre las localidades de Petorca y Altos de Cantillana (32°13'S - 33°49'S) (Figura 2). Las subpoblaciones remanentes de *B. miersii* se encuentran circunscritas a la cordillera de la costa, en la cual se presentan condiciones microclimaticas diferentes a la depresión intermedia debido a la influencia del océano pacifico.

Esta área presenta un clima del tipo mediterráneo (Di Castri y Hajek 1976) el cual se caracteriza por presentar una fuerte estacionalidad, con precipitaciones marcadas en el periodo de invierno y luego un periodo de aridez estival cuya duración e intensidad disminuyen hacía el sur, (Luebert y Pliscoff 2006). El área se caracteriza por presentar veranos secos e inviernos húmedos con una fuerte variabilidad interanual debido a la Oscilación del Sur el Niño (ENOS), con una temperatura media anual de 13,2 °C, pero que supera los 30°C en verano y desciende por debajo de los 0°C en invierno, la precipitación media anual es de 500mm (Di Castri y Hajek 1976 y Bandano *et al.* 2005). Las precipitaciones son mayores que en el interior de la zona central (Cereceda 1989) y la influencia de las neblinas costeras compensa parcialmente el déficit hídrico de algunas zonas (Larraín *et al.* 2002, Cereceda *et al.* 2002), estas condiciones están principalmente determinadas por el relieve y la elevación, la cercanía a la costa y la dirección y fuerza de los vientos predominantes (Luebert y Pliscoff 2006).

**2.2 Base de datos georreferenciada de *Beilschmiedia miersii*.** Se creó una base de datos de presencia de *B. miersii*, con el fin de identificar las subpoblaciones presentes en el área de estudio. Esto se realizó en base al catastro de bosque nativo, utilizando desde el primer al sexto grado de dominancia de la especie (CONAF 2011) y se utilizó la información georreferenciada de otros dos estudios (Novoa 2004 y Anglo American Chile y CICA Ingenieros Consultores 2002). En ArcGis 9.3 se cruzaron las tres fuentes de información para obtener la base de datos georreferenciada de subpoblaciones conocidas de *B. miersii* (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución geográfica de *B. miersii* al interior del área de estudio. Cordillera de la Costa, Región de Valparaíso y Región Metropolitana (32°13'S - 33°49'S).

**2.3 Construcción de variables ambientales.** Se construyeron mediante análisis SIG y modelación espacial variables climáticas y variables topográficas.

Para la construcción de las variables climáticas se recopiló información de precipitación, oscilación térmica y temperatura media del año 2011 a través de la DGA y de una base de datos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y la Federación Gremial Nacional de Productores de Fruta (FEDEFruta)<sup>1</sup>. Para completar los espacios que no traían datos y los que tenían información en el mes de 1 a 10 días y de 10 a 20 días, se realizó una regresión lineal simple entre el dato del mes faltante y el dato del mismo mes de la estación más similar. Se escogió la estación más similar comparando la elevación, la distancia entre estaciones y los

<sup>1</sup> [www.agroclima.cl](http://www.agroclima.cl)

datos meteorológicos de enero a diciembre de las estaciones en ArcGis 9.3. Una vez obtenidos los datos se calcularon los promedios anuales para crear las variables climáticas utilizando métodos de interpolación. Se usó la combinación del método de *regresión geográfica ponderada (GWR)* y el método *kriging* (Di Piazza *et al.* 2011). *GWR* estima los valores climáticos en toda el área en base a la elevación y la longitud, calculando para cada celda un error residual y el método *kriging* interpola corrigiendo los errores residuales produciendo un mapa de la corrección de los residuos de la estimación *GWR*. Las estimaciones finales se obtienen sumando las estaciones de *GWR* con las estimaciones de los residuos de *kriging*.

Las variables topográficas utilizadas fueron la elevación, índice de humedad topográfico (topographic wetness index - TWI), la distancia a cursos de agua permanente y la pendiente. El modelo de elevación digital se obtuvo a través de los datos de las imágenes provenientes del radar *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, con resolución espacial de 90m. El TWI se calculó en ArcGis 9.3 e indica la disponibilidad de agua potencial (Beven y Kirkby 1979, O'Loughlin 1981), el cual es calculado como el  $\ln(a/\tan b)$ , donde  $b$  es la pendiente de la superficie analizada y  $a$  es la superficie aportante sobre cada punto, calculado como  $a = A/L$ , donde  $A$  (en  $m^2$ ) es la superficie aportante sobre cada punto y  $L$  (en  $m$ ) es la longitud de la isolínea. Los valores mayores de TWI representan zonas relativamente planas, que son grandes áreas aportante de humedad (fondos de quebrada), donde es esperable encontrar una mayor disponibilidad de agua que en zonas con mayor pendiente (Wilson y Gallant 2000). La distancia al curso de agua se calculó en base a la red hídrica del área de estudio utilizando sólo los cursos de agua permanentes. La pendiente se caracterizó en terreno mediante la evaluación visual, estableciendo tres rangos, (baja (<5%), media (5 – 45%) y alta (> 45%).

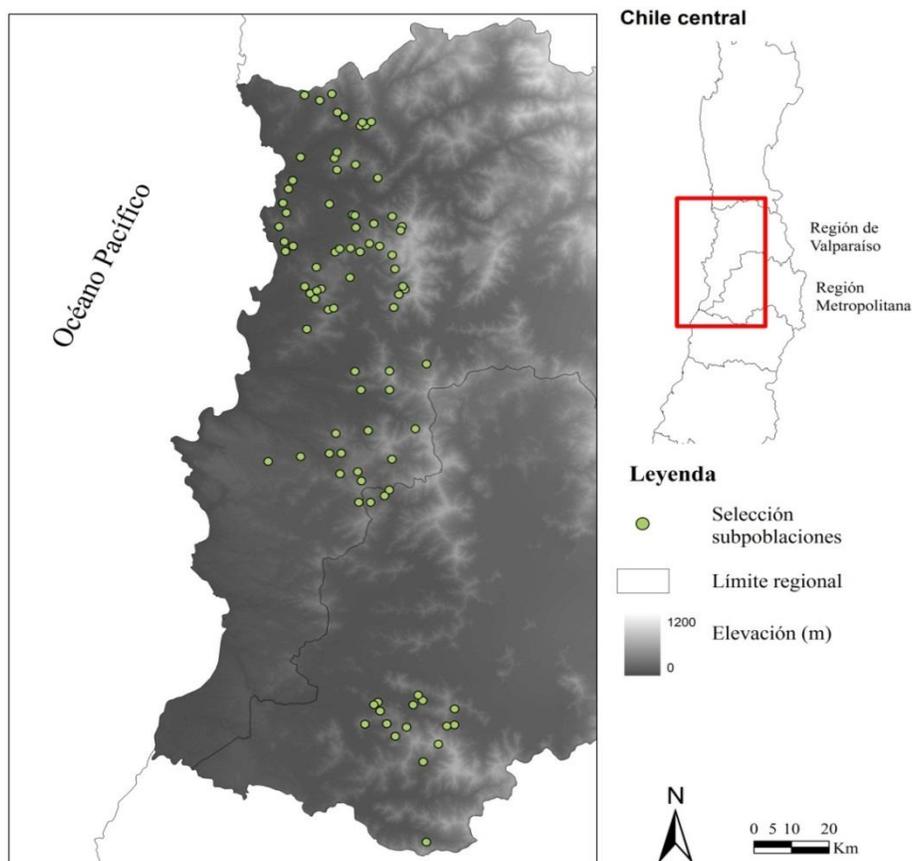
Se creó además un índice de densidad, para el análisis de los hábitats presentes en las subpoblaciones el cual se calculó como el cociente del número total de árboles en el hábitat y el producto de la cobertura del hábitat en las parcelas con el índice de rugosidad. La cobertura en la parcela se calculó en terreno, la cual representa el porcentaje que cubren los diferentes hábitat dentro de los 250m evaluados y el índice de rugosidad se calculó con los datos de rugosidad obtenidos en terreno que indican el grado de textura del dosel del bosque, en donde se asignó un valor de 90% a alta rugosidad, 70% a media y 50% a baja rugosidad del cobertura vegetal en la quebrada.

## 2.4 Producción de frutos

**2.4.1 Elección de subpoblaciones para muestreo de producción.** Para seleccionar las subpoblaciones a muestrear, se imputaron las variables climáticas a la base de datos de ocurrencia de *B. miersii* en las áreas de estudio, agrupando así las subpoblaciones con condiciones climáticas similares en 30 clústers diferentes para asegurar la representación de todo el gradiente de variación (Kaufman y Rousseeuw 1990), esto se realizó en ArcGis 9.3.

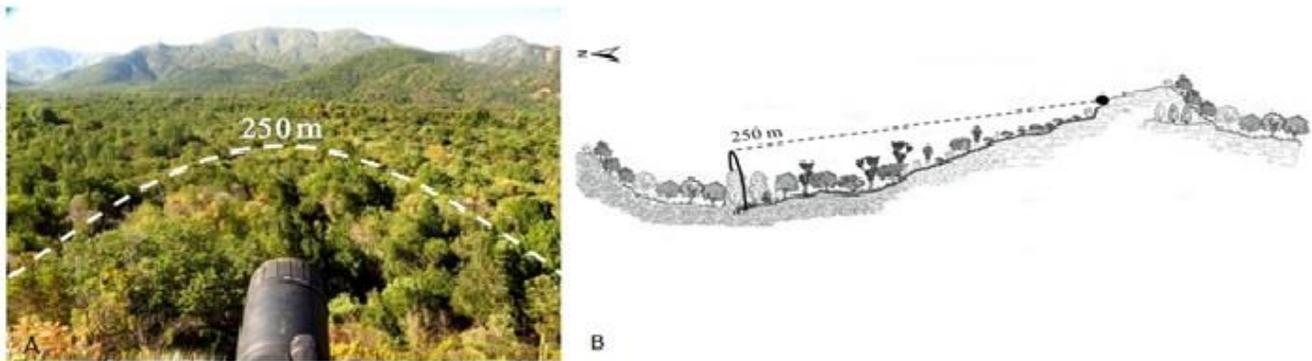
De cada clúster se escogieron 2 subpoblaciones que representara las características del clúster. Además, se escogieron subpoblaciones que estuviesen cerca de cursos de agua permanente y que al menos el 20% de los datos climáticos extremos estuviesen representados con las subpoblaciones escogidas.

Se seleccionaron un total de 90 subpoblaciones, de las cuales se priorizaron 50 subpoblaciones con mejores condiciones de acceso, mayor cercanía a los caminos y con mayor representatividad de los clúster (Figura 3).



**Figura 3.** Subpoblaciones de *B. miersii* seleccionadas para muestreo de producción de frutos.

**2.4.2 Muestreo producción de frutos.** La toma de datos para la producción de frutos se llevó a cabo mediante la observación panorámica de la subpoblación a muestrear, la cual se realizó en un radio de 250 m. desde el punto de observación en dirección al bosque (Figura 4a). La observación se realizó en altura desde laderas exposición norte, debido a que la vegetación presente es más rala, lo que permite una mejor observación hacia las quebrabas y laderas exposición sur, lugares en donde se encuentra con mayor frecuencia *B. miersii* (Figura 4b).



**Figura 4.** Observación panorámica de subpoblaciones de *B. miersii*, a) visualización de los 250m. en los trabajos de campo y b) esquema del perfil de la observación radial desde altura.

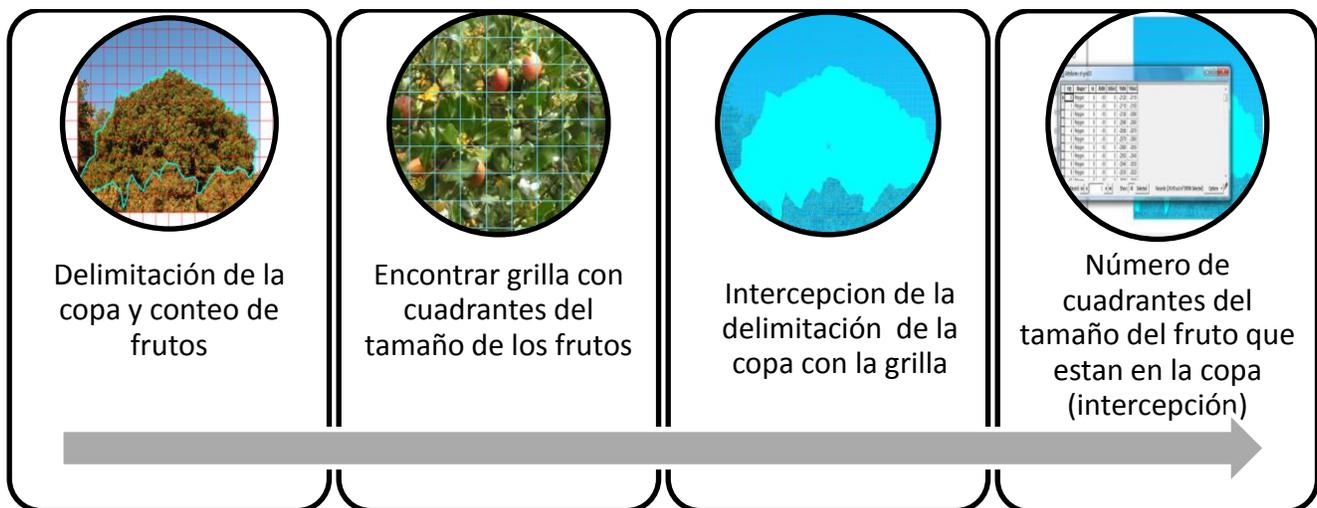
Una vez definido el punto de observación, se siguieron los siguientes pasos: i) se anotaron las coordenadas del punto de observación con GPS ii) con un range finder, instrumento que mide distancias, se midió la distancia radial de 250m. para así establecer la parcela a muestrear, luego iii) se categorizaron los hábitat presentes (quebradas, laderas con exposición norte o sur), los que a su vez se caracterizaron iv) con su pendiente (baja (<5%), media (5 – 45%) y alta (> 45%)), v) la cobertura del hábitat en la parcela (% superficie cubierta en la parcela de ese hábitat y que en total deben sumar 100%), vi) rugosidad del dosel del hábitat (baja, media, alta) y vii) cobertura del dosel en el hábitat (% de cobertura del bosque).

Una vez caracterizados los hábitats i) se observó cada hábitat con binoculares marca Simmons de 10x50 y un telescopio terrestre Bushnell Legend Ultra HD 20-60 x80, ii) se describió por hábitat si habían individuos de *B. miersii*, iii) se anotó si tenían frutos y flores, iv) se describió la posición sociológica de los árboles con frutos y v) se capturó una o más fotografías según fuese necesario de la copa de los individuos con frutos con una cámara Canon powershot SX40 con un zoom óptico de 35x ultra gran angular, para posteriormente cuantificar los frutos del individuo en gabinete.

En ocasiones el punto de observación establecido en gabinete no tenía buen acceso, o mala visibilidad por lo que se buscó en terreno el mejor punto de observación de la sub población a observar y se guardó en el GPS. Se encontraron algunas subpoblaciones que no estaban descritas en ninguna de las fuentes de información utilizadas, estas localidades se agregaron y fueron muestreados de la misma manera y cuando tuviesen un mínimo de 5 árboles de la especie

**2.4.3 Cuantificación de la producción de frutos.** Las variables a evaluar para la producción de frutos son la densidad de frutos por árbol y la proporción de árboles con frutos por localidad, para calcular estas variables se transcribieron los datos obtenidos en los trabajos de campo a una base de datos.

Para calcular el número de frutos, i) se cargó en ArcGis 9.3 la fotografía de la copa del árbol, ii) se delimitó el contorno de la copa del árbol y se creó una grilla para guiar el conteo de frutos, ii) se contabilizó el número de frutos manualmente para la copa completa obteniendo así el número total de frutos, para el cálculo de densidad iii) se generó una grilla sobre la imagen de la copa en la que el tamaño del cuadrante fuese del mismo tamaño del fruto de la fotografía del árbol, luego iv) se interceptó la grilla anterior con el contorno de la copa para saber el número de cuadrantes del tamaño de un fruto que había en la copa (Figura 5). Finalmente se calculó el área promedio de un fruto, lo cual se obtuvo del promedio de anchos y largos de 645 frutos obtenidos en terreno y medidos con un pie de metro, este valor de 0,00103509 m<sup>2</sup> se utilizó como dato constante para todos los árboles.



**Figura 5.** Esquema para el cálculo de densidad de frutos.

Con estos datos se calculó primero la superficie productora de cada árbol, la cual se obtuvo mediante el producto del número de cuadrantes del tamaño de los frutos por copa y del área promedio de un fruto. Finalmente se obtuvo la densidad de frutos por árbol ( $N^{\circ}$  frutos/ $m^2$  copa) como el cociente entre el número de frutos y la superficie productora del árbol. La densidad de frutos por localidad ( $N^{\circ}$  frutos/ $m^2$  copa) se obtuvo del promedio de la densidad de frutos por árbol.

La proporción de árboles con frutos se calculó como el cociente entre el número de árboles totales en la localidad y el número de árboles con fruto en la localidad, datos que fueron obtenidos en terreno.

Con estos datos se crearon tres bases de datos diferentes una con los datos de cada árbol, una segunda con los datos a nivel regional, calculada con los promedios de los datos de los árboles de la localidad y una tercera en la cual se calcularon los promedios de las variables para cada hábitat presente en las 41 localidades con árboles con frutos, obteniendo así 3 bases de datos de hábitat una de quebradas, laderas sur y laderas norte.

**2.4.4 Análisis de la variabilidad regional en la producción de frutos.** Los datos utilizados para el análisis de la variabilidad ambiental fueron sólo de las localidades que tenían al menos un árbol productor de frutos, siendo 41 localidades las analizadas. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos obteniendo los promedios, máximos y mínimos de la densidad de frutos en cada localidad y de la proporción de árboles con frutos por localidad. Se realizó un modelo de regresión lineal múltiple para la densidad de frutos por árbol ( $N^{\circ}$  frutos/ $m^2$  copa) y la proporción de árboles con frutos con las variables ambientales considerando un nivel de significancia del valor  $p \leq 0,05$ . Para evitar la multicolinealidad entre las variables predictoras se calculó el coeficiente de correlación lineal entre las variables ambientales (climáticas y topográficas), descartando aquellas con un valor de  $r > 0,6$  (Calvin 2003). Se utilizaron diferentes potenciales variables predictoras. Las comparaciones entre estos modelos fueron realizadas usando índices y pruebas estadísticas, tales como el índice de información de Akaike (AIC), el valor de  $p$  y la proporción que representó la variación en el modelo ( $R^2$ ). Estos análisis se realizaron en el software R (R Development Core Team 2009).

Con la base de datos de los hábitats se realizaron análisis de estadística descriptiva, a través de diagramas de caja (Boxplot), para visualizar los valores máximos, mínimos y medianas para densidad de frutos por hábitat y para proporción de árboles con frutos por hábitat. Además se realizó al igual que por localidades un modelo de regresión múltiple entre las variables respuesta y las variables predictoras, esto se realizó sólo con los datos de quebrada ya que los demás hábitat no tenían datos suficientes para realizar el modelo.

## **2.5 Parámetros de calidad de semillas**

**2.5.1 Elección de subpoblaciones para colecta de frutos.** Las subpoblaciones para la colecta de frutos se escogieron en base a las subpoblaciones visitadas en los trabajos de campo de producción de frutos (50 subpoblaciones), las localidades que tenían al menos 5 árboles con frutos fueron escogidos para la colecta, seleccionando un total de 16 localidades. Con las 16 localidades se analizó como influyen la procedencia geográfica en los parámetros de calidad de semillas a evaluar. Además se realizó un ensayo para evaluar el efecto de las condiciones de sitio. Se escogieron entre las 16 localidades, 2 con presencia de curso de agua permanente (a no más de 10 m de distancia de los árboles, y otras 2 con ausencia de curso de agua permanente. Por otro lado se escogieron 2 localidades con densidad alta de árboles de la especie y 2 con densidad baja de árboles. Para cada subpoblación con agua se escogió una sin agua y para cada subpoblaciones con densidad alta se escogió una subpoblación de densidad baja, estas debían estar lo más cercana posible y tener similares características climáticas o que fuesen del mismo clúster.

**2.5.2 Colecta de frutos.** La colecta se realizó a través de diferentes técnicas, asegurándose siempre de que los frutos colectados estuvieran en buen estado. Se utilizó tubos unidos con codos de PVC, a los cuales se les incluyo en el extremo superior un codo en forma de embudo y en el inferior una bolsa de género. El extremo superior se colocó bajo el fruto, el cual bajaba dentro de los tubos hacia la bolsa de género, colectándose así la mayoría de los frutos por árbol. Si la altura de la copa de los arboles superaban los 4-5m se puso una malla en el suelo y se trepó a la copa por el fuste del árbol moviendo las ramas para que los frutos cayesen al suelo y fuesen colectados. Además se creó un boomerang el cual era lanzado a las copas y así mover algunas ramas para que los frutos cayeran al piso y fuesen colectados sobre la malla. En cada localidad se colectaron los frutos de los 10 primeros árboles con frutos y de cada árbol se colecto 20 frutos, estos se guardaron en una malla para cada árbol y con su rotulación. El almacenamiento de las mallas con los frutos se realizó en cajas de plumavit con arena húmeda.

**2.5.3 Medición de parámetros de calidad de semillas.** Los parámetros medidos fueron i) largo y ancho del fruto (tamaño) ii) peso del fruto, iii) peso de la semilla y iv) contenido de humedad de la semilla. Con estos datos se construyeron las variables a comparar entre las diferentes procedencias geográficas y para el análisis de diferentes condiciones de sitio.

El largo (mm) y ancho (mm) se midieron con un pie de metro. Con esto se calculó el volumen (cm<sup>3</sup>) de frutos producidos en cada localidad, basándose en la forma de un elipsoide. El peso (g) del fruto se midió con una balanza de precisión al igual que el peso de la semilla (g). Para el contenido de humedad (%) de la semilla se realizaron dos pruebas en un horno de secado para encontrar el tiempo y la temperatura adecuada, estas pruebas buscaban encontrar el punto en el que el peso de la semilla seca fuese constante.. El mejor resultado obtenido en el que el peso se mantenía constante fue con la semilla cortada en 8 trozos y secada a 100°C por 24 hrs. El peso de la semilla se midió antes de calcular el contenido de humedad, y se midió cortada en 8 trozos. Una vez obtenido el peso se secaban en el horno y se volvían a pesar una vez secas para luego de medir el contenido de humedad, el cual se calculó mediante la ecuación (1) empleada por el ISTA (International Seed Testing Association. 2004).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso original semilla} - \text{peso tras secado semilla}}{\text{peso original semilla}} * 100 \quad (1)$$

Los parámetros de calidad se evaluaron para cada semilla, se pesó y midió el tamaño de los 20 frutos de cada árbol y de los primeros 10 frutos medidos se sacó la testa y se cortó la semilla en 8 trozos, los cuales se pesaron y luego se dejaron en el horno de secado a 100°C para después de 24hrs volver a pesarlas. Adicionalmente se determinó el estado sanitario de la semilla ya que los datos utilizados para los análisis estadísticos fueron solo los datos de semillas en buen estado sanitario.

**2.5.4 Análisis de los parámetros de calidad de semillas.** Se realizaron análisis estadísticos descriptivos de los valores máximos, mínimos y promedios y se elaboraron diagramas de caja del volumen (cm<sup>3</sup>). Se representó el peso del fruto (g) y el contenido de humedad de la semilla (%) tanto para comparar la incidencia en las diferentes procedencias geográficas como para las diferentes condiciones de sitio donde se evaluó la presencia/ausencia de agua y alta/baja densidad de árboles. Los análisis se realizaron en el software R.

## **2.6 Zonas potenciales para el establecimiento de fuentes semilleras**

Para realizar la propuesta de zonas y criterios para el establecimiento de fuentes semilleras, se realizó una predicción de los modelos de producción de frutos en ArcGis9.3, utilizando los valores de los coeficientes, las variables y los valores de la intercepción que otorgaron los modelos realizados en

software R. Esta predicción más los resultados preliminares de los parámetros de calidad de semillas se unieron para establecer criterios en los que exista una mayor producción de frutos de alta calidad

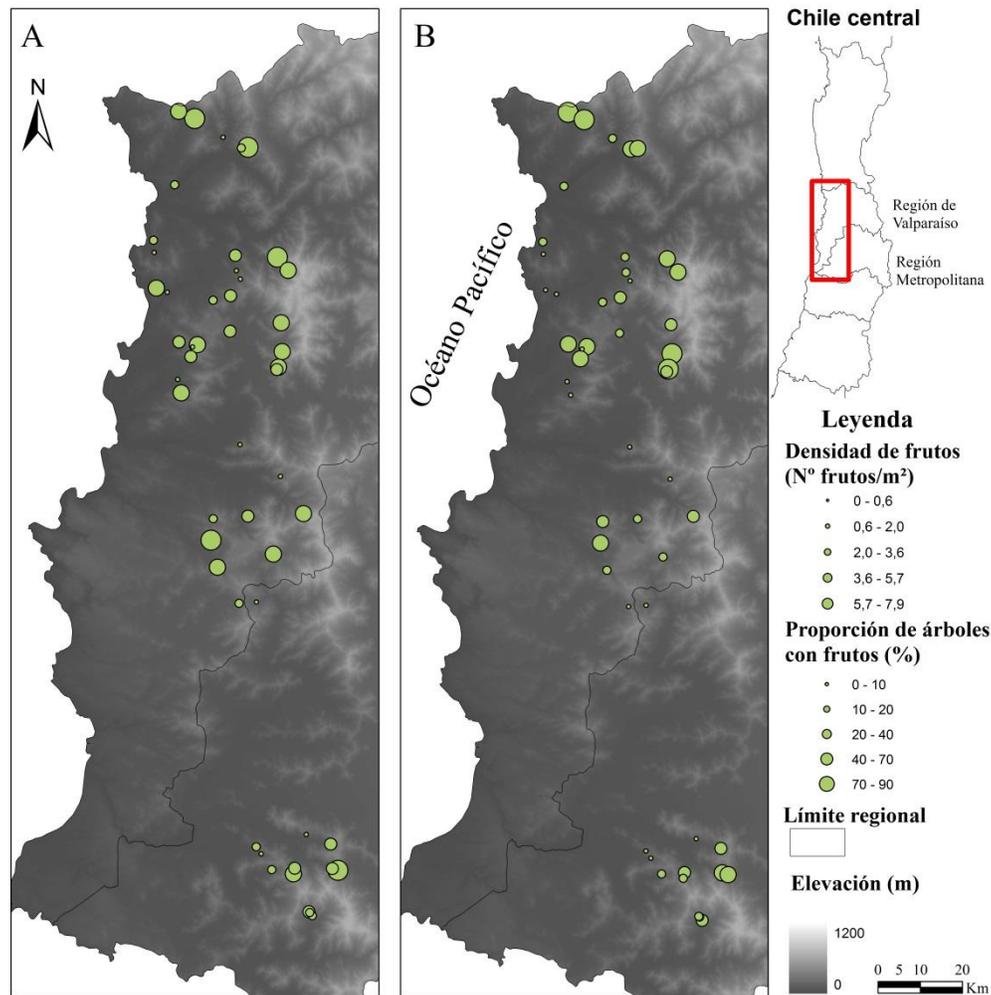
### 3. RESULTADOS

#### **3.1 Recopilación de información.**

Se recopiló información georreferenciada de 171 subpoblaciones, de las cuales se muestrearon 50 para evaluar la producción de frutos y 13 para la medición de parámetros de calidad de semillas. Las sub poblaciones muestreadas se desarrollan en rangos de altura entre 20 y 825 m.s.n.m., encontrando a la mayoría de las sub poblaciones alrededor de los 400 m.s.n.m., la temperatura media varía entre el rango de 13,7 a 16,2 °C.

#### **3.2 Producción de frutos.**

De las 50 subpoblaciones muestreadas, 41 de ellas contenía al menos 1 árbol con frutos. En base a los objetivos del trabajo, los análisis se llevaron a cabo con las localidades que solo poseían al menos un árbol con fruto. Se observó que la densidad de frutos a nivel regional tiene una variabilidad espacial en todo el gradiente longitudinal (Figura 6a). El promedio de la densidad de frutos de las 41 subpoblaciones es de 3.4 frutos/m<sup>2</sup> copa y los valores se encuentran en un rango de 0,15 a 7,91 frutos/m<sup>2</sup>copa, un 43,9% de las localidades se encuentra sobre el promedio. En cuanto a la proporción de árboles con frutos el promedio es de 34% y los valores se encuentran en un rango de 3% a 93%, también se observa una variabilidad espacial (Figura 6b) y se estima que un 24,4% de las localidades presenta al menos un 50% de árboles con frutos.



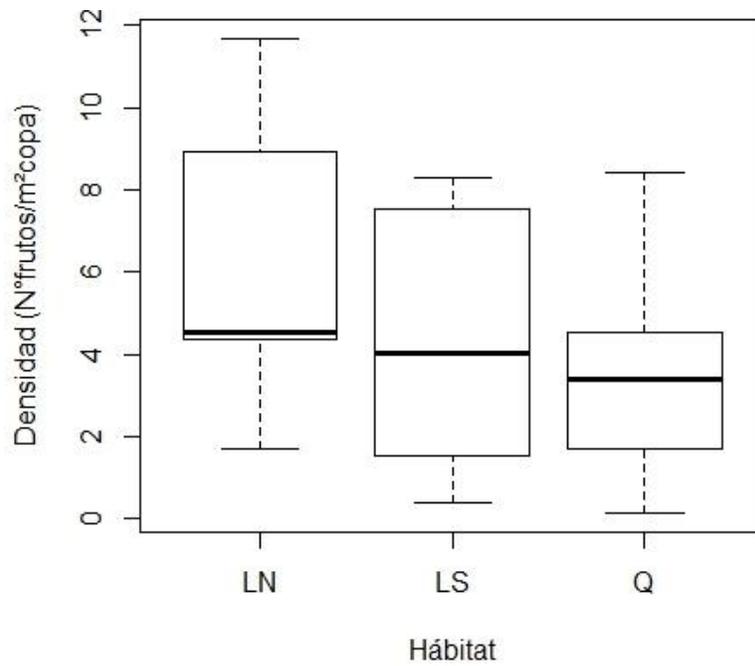
**Figura 6.** Distribución geográfica de las subpoblaciones muestreadas .A) densidad de frutos por localidad (frutos/m<sup>2</sup>copa) y B) proporción de árboles con frutos por localidad (%).

Hábitats de fondos de quebrada se encuentran en 39 subpoblaciones y la densidad de frutos varía en un rango de 0,15 a 8,41 frutos/m<sup>2</sup>copa, con un promedio de 3.3 frutos/m<sup>2</sup> copa (Figura 7), la proporción de árboles con fruto se encuentra en un rango del 3% al 91% y la proporción promedio de árboles con frutos en las quebradas es de 35% (Figura 8).

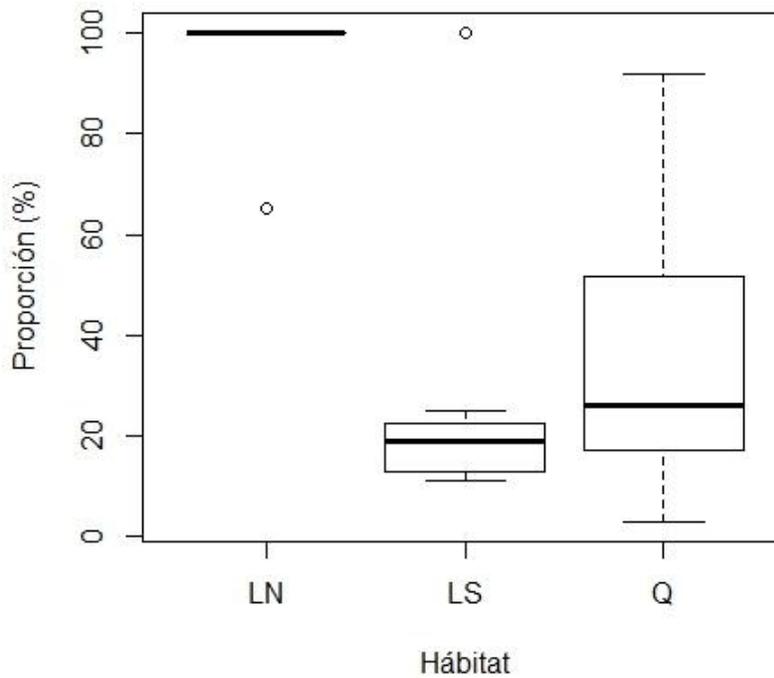
Las laderas exposición sur se encuentran en 7 de las 41 subpoblaciones y la densidad de frutos se encuentra en un rango de 0,38 a 8,31 frutos/m<sup>2</sup>copa, con un promedio de 4.4 frutos/m<sup>2</sup> copa (Figura 7), la proporción de árboles con fruto se encuentra en un rango de 11% a 100% y la proporción promedio de árboles con frutos en laderas sur es de 29% (Figura 8).

De 41 subpoblaciones, en 5 se encontraron laderas exposición norte y la densidad de frutos se está en un rango de 1,68 a 11,67 frutos/m<sup>2</sup>copa, con un promedio de 6,23 frutos/m<sup>2</sup> copa (Figura 7), la

proporción de árboles con fruto se encuentra en un rango de 65% a 100% y la proporción promedio de árboles con frutos es de 93% (Figura 8).



**Figura 7.** Densidad de frutos por hábitat para: LN- laderas exposición norte en 5 localidades, LS- laderas exposición sur en 7 localidades y Q- quebradas en 39 localidades.



**Figura 8.** Proporción de árboles con frutos por hábitat para: LN- laderas exposición norte en 5 localidades, LS- laderas exposición sur en 7 localidades y Q- quebradas en 39 localidades.

**3.2.1 Variabilidad ambiental en la producción de frutos.** La variabilidad ambiental se evaluó a nivel regional y en fondos de quebradas ya que los hábitats de ladera norte y sur no poseían datos suficientes para realizar un modelo de regresión lineal múltiple. Las variables respuesta son la densidad de frutos y la proporción de árboles con frutos, en cuanto a las variables predictoras, se utilizaron variables climáticas y topográficas, siendo estas la elevación (m), temperatura media (°C), precipitación anual (°C), distancia a curso de agua permanente (m), oscilación térmica (°C), índice de humedad topográfica y además se agregó un índice de densidad en el análisis de los fondos de quebradas (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Variables climáticas y topográficas para modelar la densidad de frutos y la proporción de árboles con frutos a nivel regional y en los fondos de quebradas. Los valores indicados corresponden a las 41 subpoblaciones con frutos. (Código = abreviatura utilizada; D. Est. = Desviación estándar; Min. = Valor mínimo; Máx. = Valor máximo; r (DFS) = coeficiente de correlación de Pearson para la relación con densidad de frutos por localidad; r (PAFS) = correlación con la proporción de árboles con fruto por localidad; r (DFQ) = correlación con la densidad de frutos en las quebradas; r (PAFQ) = correlación con la proporción de árboles con frutos en las quebradas.

| Variables y unidades de medida            | Código | Media | D.Est | Min.  | Máx.  | r (DFS)     | r (PAFS)    | r (DFQ)     | r (PAFQ)    |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Variables respuesta</i>                |        |       |       |       |       |             |             |             |             |
| Densidad de frutos regional               | DFS    | 3,35  | 2,08  | 0,15  | 7,91  | n.a         | 0,46        | n.a         | n.a         |
| Proporción árboles con frutos regional    | PAFS   | 0,34  | 0,25  | 0,03  | 0,93  | 0,46        | n.a         | n.a         | n.a         |
| Densidad de frutos en quebrada            | DFQ    | 3,33  | 1,95  | 0,15  | 7,75  | n.a         | n.a         | n.a         | 0,47        |
| Proporción árboles con frutos en quebrada | PAFQ   | 0,35  | 0,25  | 0,03  | 0,91  | n.a         | n.a         | 0,47        | n.a         |
| <i>Variables predictoras</i>              |        |       |       |       |       |             |             |             |             |
| Elevación (m)                             | DEM    | 405   | 190   | 20    | 825   | 0,0038*     | 0,0003 n.s  | 0,0030 n.s  | 0,0003 n.s  |
| Temperatura media (°C)                    | Tmed   | 14,8  | 0,6   | 13,7  | 16,2  | 1,2153*     | 0,2025***   | 0,7103 n.s  | 0,2100***   |
| Precipitación (mm)                        | Pp     | 236,3 | 57,4  | 138,5 | 333,4 | 0,0042 n.s  | -0,0007 n.s | 0,0042 n.s  | -0,0009 n.s |
| Distancia a curso de agua (m)             | Dcap   | 2639  | 269   | 30    | 10377 | -0,0002 n.s | -0,8618 n.s | -0,0003*    | -0,0162 n.s |
| Oscilación térmica (°C)                   | Oterm  | 16,2  | 1,7   | 12,3  | 20,6  | 0,1824 n.s  | -0,0086 n.s | 0,1613 n.s  | -0,0136 n.s |
| Índice de Humedad Topográfica             | TWI    | 1,3   | 1,4   | 5,5   | 10,7  | -0,2379 n.s | -0,0173 n.s | -0,3996 n.s | -0,0320 n.s |
| Índice de densidad                        | ID     | 105   | 87    | 12    | 360   | n.a         | n.a         | 0,0058 n.s  | -0,0345 n.s |

n.a. = no aplica.

n.s. = no significativa.

\*p < 0,05.

\*\*p < 0,01.

\*\*\*p < 0,001.

Dada la alta correlación entre la elevación con la oscilación térmica ( $r = 0,781$ ) y de la precipitación con la oscilación térmica ( $r = 0,883$ ) (Cuadro 2), fueron elegidas la elevación y la precipitación debido a que no existe relación entre ellas.

**Cuadro 2.** Correlación entre variables predictoras para la producción de frutos.

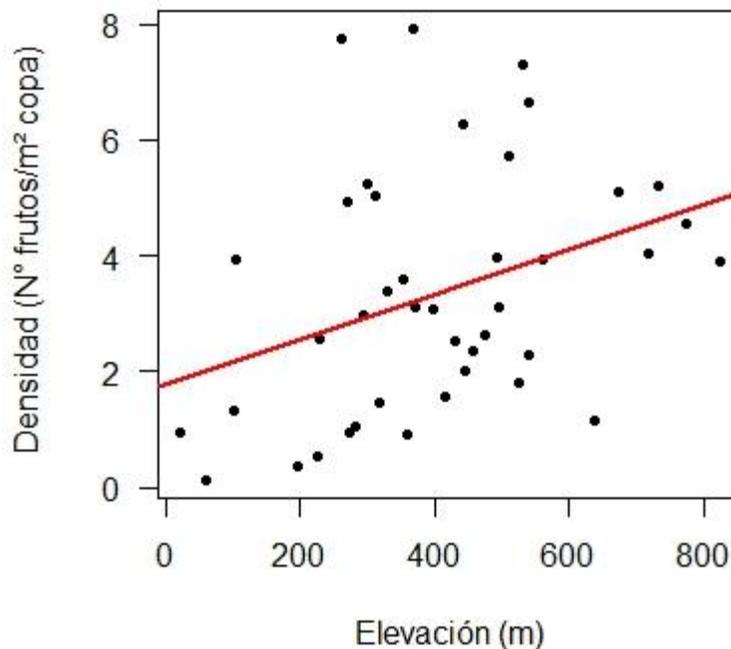
| Variable                            | Dcap   | DEM    | TWI    | Tmed   | Pp    | Otérn |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Distancia a curso de agua (Dcap)    | 1      |        |        |        |       |       |
| Elevación (DEM)                     | 0,061  | 1      |        |        |       |       |
| Índice de humedad topográfico (TWI) | 0,286  | -0,066 | 1      |        |       |       |
| Temperatura media (Tmed)            | -0,356 | 0,202  | -0,286 | 1      |       |       |
| Precipitación (Pp)                  | 0,171  | 0,531  | 0,220  | -0,398 | 1     |       |
| Oscilación térmica (Otérn)          | 0,136  | 0,781  | 0,122  | -0,217 | 0,883 | 1     |

**3.2.1.1 Variabilidad ambiental en la producción de frutos a nivel regional.** Se escogieron dos modelos con variables diferentes para la densidad de frutos por localidad, ambos modelos obtuvieron valores similares en los parámetros de evaluación. En el primer modelo para la densidad de frutos (MDR1), se retuvieron dos de las cinco variables explicatorias usadas para ajustar el modelo. Los mejores predictores fueron la elevación y la distancia a los cursos de agua permanentes, ambos parámetros altamente significativos (Cuadro 3). La densidad de frutos incrementó con el aumento de la elevación (Figura 9) y a menor distancia a los cursos de agua permanente (Figura 10). En el segundo modelo (MDR2), se retuvieron dos de las cinco variables explicatorias usadas para ajustar el modelo. Los mejores predictores para la densidad de frutos fueron la elevación y la temperatura media, ambos parámetros altamente significativos (Cuadro 3). Obteniendo mayor producción con el aumento de la elevación (Figura 9) y la temperatura media (Figura 11).

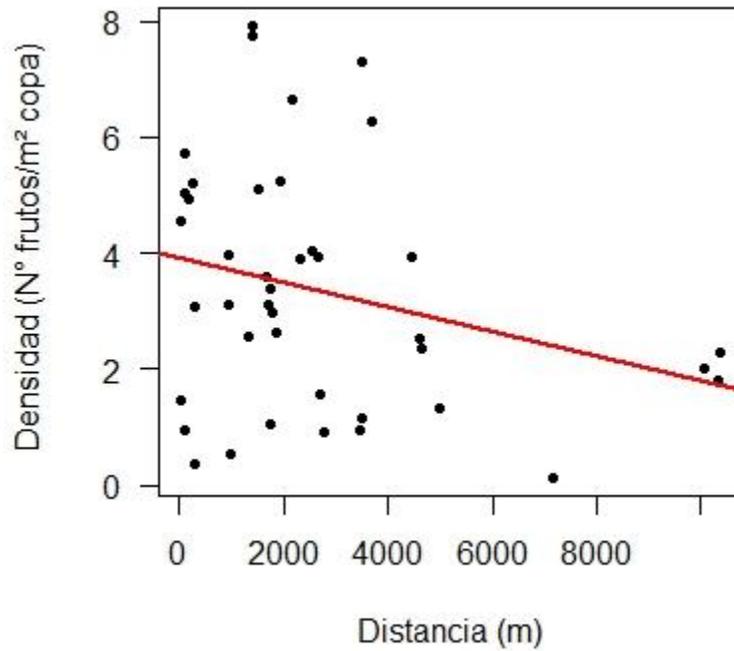
**Cuadro 3.** Modelos seleccionados para predecir la variación espacial de la densidad de frutos y la proporción de árboles con frutos de *B. miersii* en el área de estudio. MDR1 - modelo 1 para predecir la densidad de frutos a nivel regional; MDR2- modelo 2 para predecir la densidad de frutos a nivel regional; MDQ1- modelo 1 para predecir la densidad de frutos en fondos de quebradas; MPR1 - modelo 1 para predecir la proporción de árboles con frutos a nivel regional; MPQ1 - modelo 1 para predecir la proporción de árboles con frutos en fondos de quebradas. R<sup>2</sup>= Proporción de la varianza explicada; AIC = Criterio de Información de Akaike; ECM = error cuadrático medio.

| Modelo | Variables respuesta           | Variables predictoras     | Intercepto | Coef     | t-value | p       | R <sup>2</sup> | AIC    | ECM    |
|--------|-------------------------------|---------------------------|------------|----------|---------|---------|----------------|--------|--------|
| MDR1   | Densidad de frutos            | Elevación                 | 2,3133     | 0,00405  | 2,572   | 0,01413 | 0,211          | 173,61 | 1,89*  |
|        |                               | Distancia a curso de agua |            | -0,00023 | -2,043  | 0,04802 |                |        |        |
| MDR2   | Densidad de frutos            | Elevación                 | -13,0154   | 0,00319  | 1,988   | 0,05400 | 0,212          | 173,58 | 1,89*  |
|        |                               | Temperatura media         |            | 1,01620  | 2,050   | 0,04730 |                |        |        |
| MDQ1   | Densidad de frutos            | Elevación                 | 2,9299     | 0,00293  | 1,781   | 0,08330 | 0,219          | 163,17 | 1,84*  |
|        |                               | Distancia a curso de agua |            | -0,00029 | -2,608  | 0,01319 |                |        |        |
| MPR1   | Proporción árboles con frutos | Temperatura media         | -2,6697    | 0,20250  | 3,682   | 0,00070 | 0,258          | -5,91  | 0,21** |
| MPQ1   | Proporción árboles con frutos | Temperatura media         | -2,7652    | 0,20998  | 3,617   | 0,00088 | 0,261          | -3,74  | 0,21** |

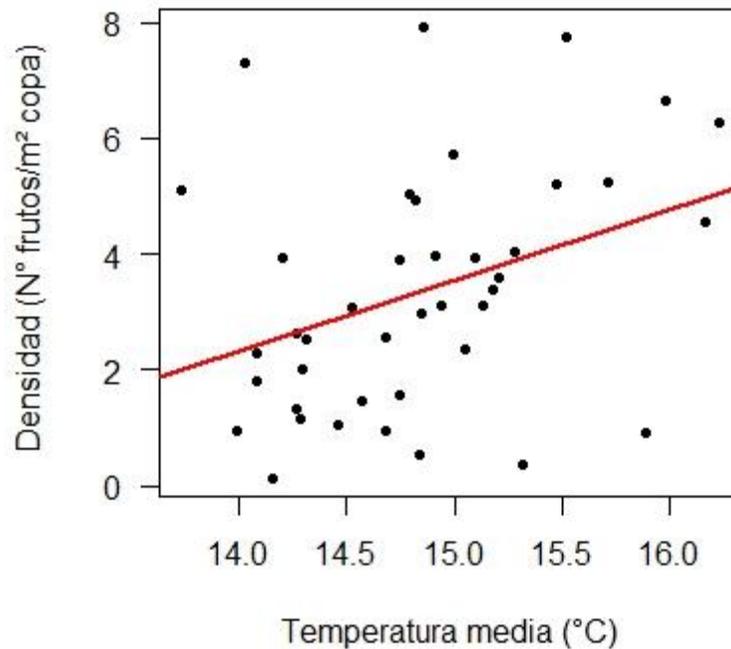
\* = N° frutos/m<sup>2</sup>copa  
 \*\* = % árboles con frutos



**Figura 9.** Gráfico de dispersión entre la elevación (m) y la producción de frutos por localidad (N° frutos/m<sup>2</sup> copa), para el MDR1.



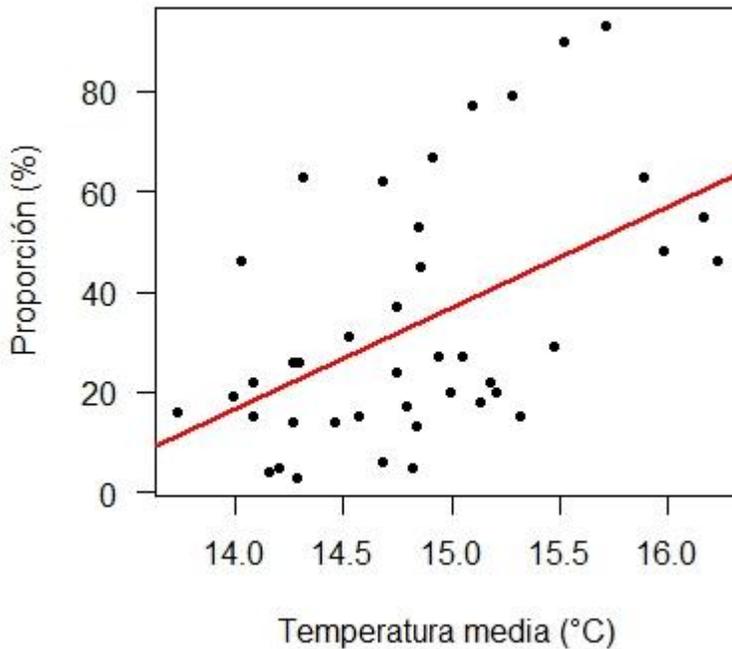
**Figura 10.** Gráfico de dispersión entre la distancia a cursos de agua permanente (m) y la producción de frutos por localidad (N° frutos/m<sup>2</sup> copa), para el MDR1.



**Figura 11.** Gráfico de dispersión entre la temperatura media (°C) y la producción de frutos por localidad (N° frutos/m<sup>2</sup> copa), para el MDR1.

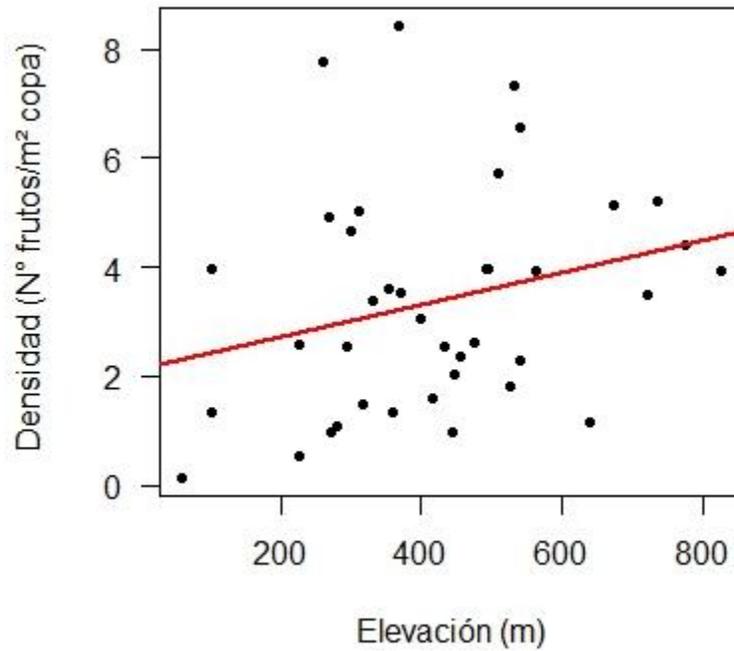
El modelo seleccionado para la proporción de árboles con frutos (MPR1) retuvo una de las cinco variables explicatorias usadas para ajustar el modelo. El mejor predictor fue la temperatura media,

siendo un parámetro altamente significativo (Cuadro 3). La proporción de árboles con frutos por localidad incremento con el aumento de la temperatura media (Figura 12).

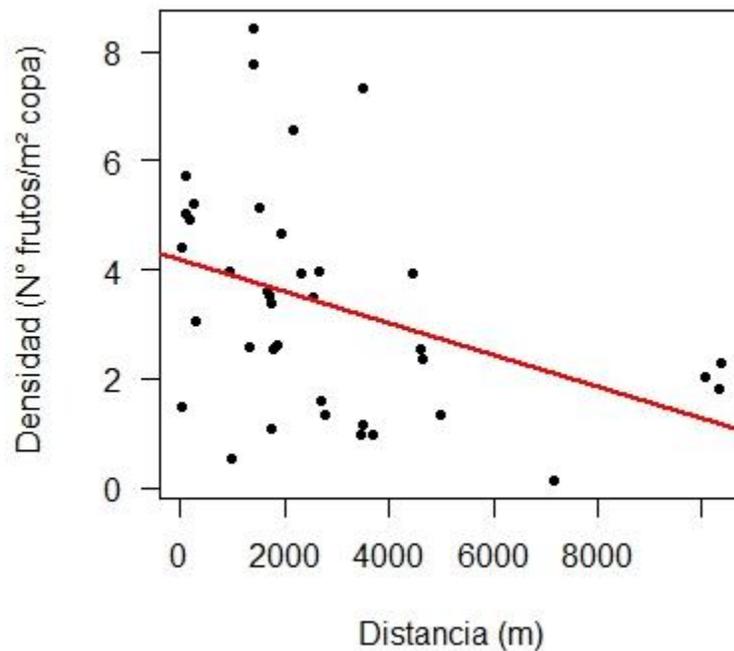


**Figura 12.** Gráfico de dispersión entre la temperatura media (°C) y la proporción de árboles con frutos por localidad (%), para el MPR1- modelo 1 para predecir la proporción de árboles con frutos a nivel regional.

**3.2.1.2 Variabilidad ambiental en la producción de frutos en fondos de quebradas.** Se realizó un modelo de regresión lineal múltiple, para cada variable respuesta junto con todas las variables predictoras solo para el hábitat de fondos de quebradas. En el modelo seleccionado para la densidad de frutos en quebradas (MDQ1) se retuvieron dos de las cinco variables explicatorias usadas para ajustar el modelo. Los mejores predictores para la densidad de frutos fueron: la elevación y la distancia a los cursos de agua permanentes, siendo ambos parámetros altamente significativos (Cuadro 3). La densidad de frutos en quebradas incremento con el aumento de la elevación (Figura 13) y aumentó a menor distancia a los cursos de agua permanente (Figura 14).



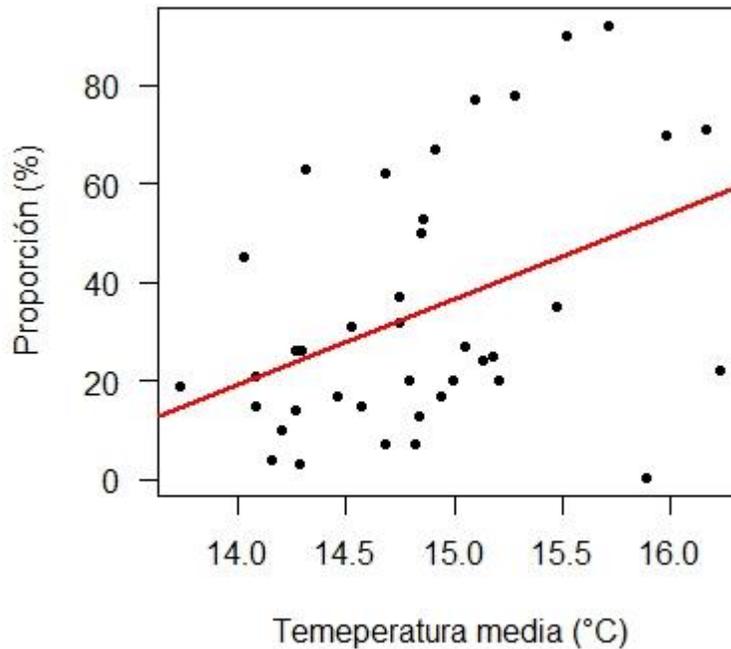
**Figura 13.** Gráfico de dispersión entre la elevación (m) y la densidad de frutos en quebradas (N° frutos/m<sup>2</sup> copa), para el MDQ1.



**Figura 14.** Gráfico de dispersión entre la distancia a cursos de agua permanentes (m) y la densidad de frutos en quebradas (N° frutos/m<sup>2</sup> copa), para el MDQ1.

El modelo seleccionado para la proporción de árboles en quebradas (MPQ1) retuvo una de las cinco variables explicatorias usadas para ajustar el modelo. El mejor predictor fue la temperatura

media, siendo un parámetro altamente significativo (Cuadro 3). La proporción de árboles con frutos por localidad incremento con el aumento de la temperatura media (Figura 15).

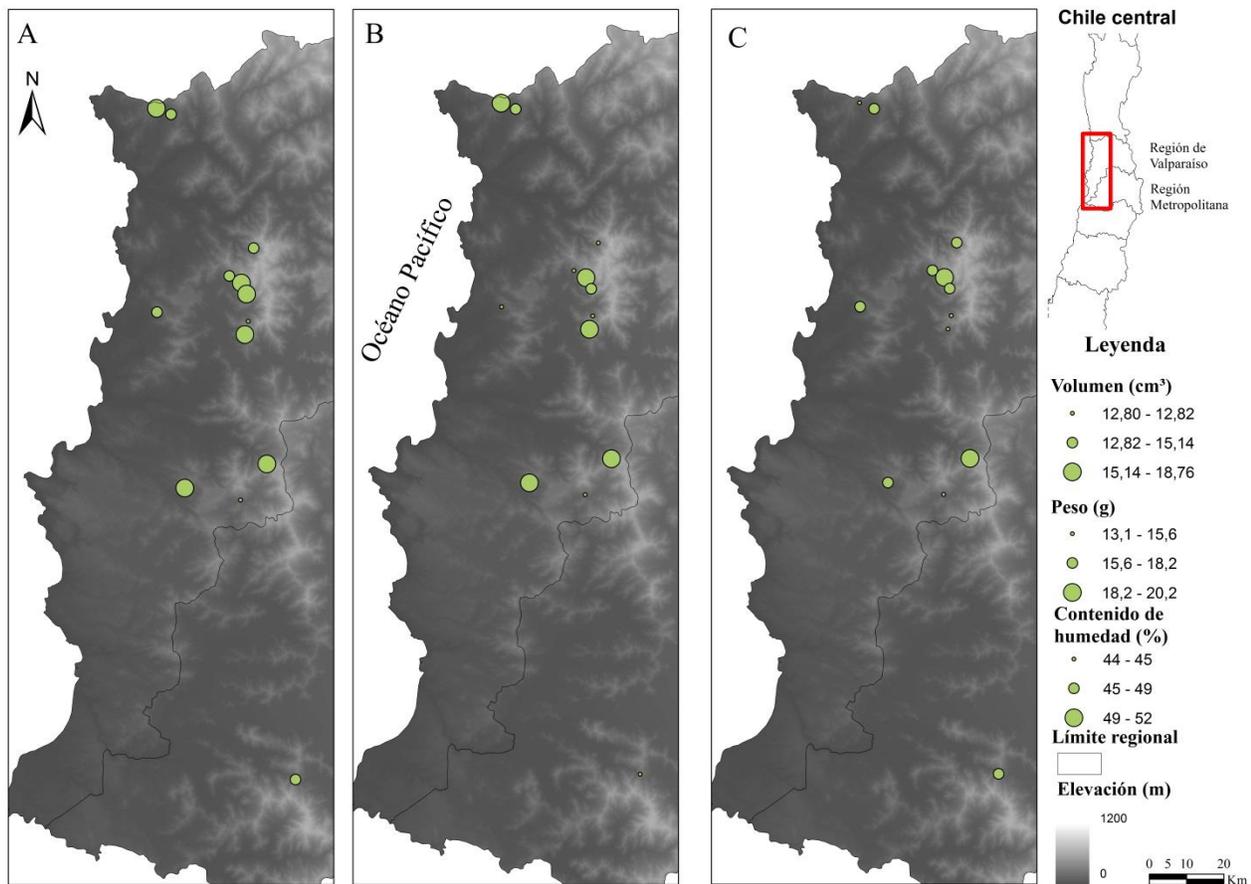


**Figura 15.** Gráfico de dispersión entre la temperatura media (°C) y la proporción de árboles con frutos en quebradas (%), para el MPQ1.

### 3.3 Parámetros de calidad de semillas

Se colectó un total de 2062 semillas en 13 localidades y de estas se utilizaron para los análisis solo los datos de las semillas con buen estado sanitario. Para realizar los análisis entre las procedencias geográficas se utilizaron 1795 semillas. Para los análisis de condiciones de sitio, en el caso de presencia/ausencia de agua se utilizaron los datos de 655 semillas con estado sanitario bueno y en el caso de alta/baja densidad se utilizaron los datos de 507 semillas con buen estado sanitario.

Se observó que los parámetros de calidad de semillas evaluados poseen una variabilidad espacial según su procedencia geográfica, en donde el promedio del volumen de es de 15,66 cm<sup>3</sup> para las 13 localidades y los valores se encuentran en un rango de 12,92 a 19,120 cm<sup>3</sup> (Figura 16a). En cuanto al promedio del peso de los frutos, este es de 16,932 g y se encuentran en un rango de 13,457 a 20,221 g (Figura 16b) El promedio del contenido de humedad es de 48% y los valores se encuentran en un rango de 43% a 52% en las distintas procedencias geográficas (Figura 16c).



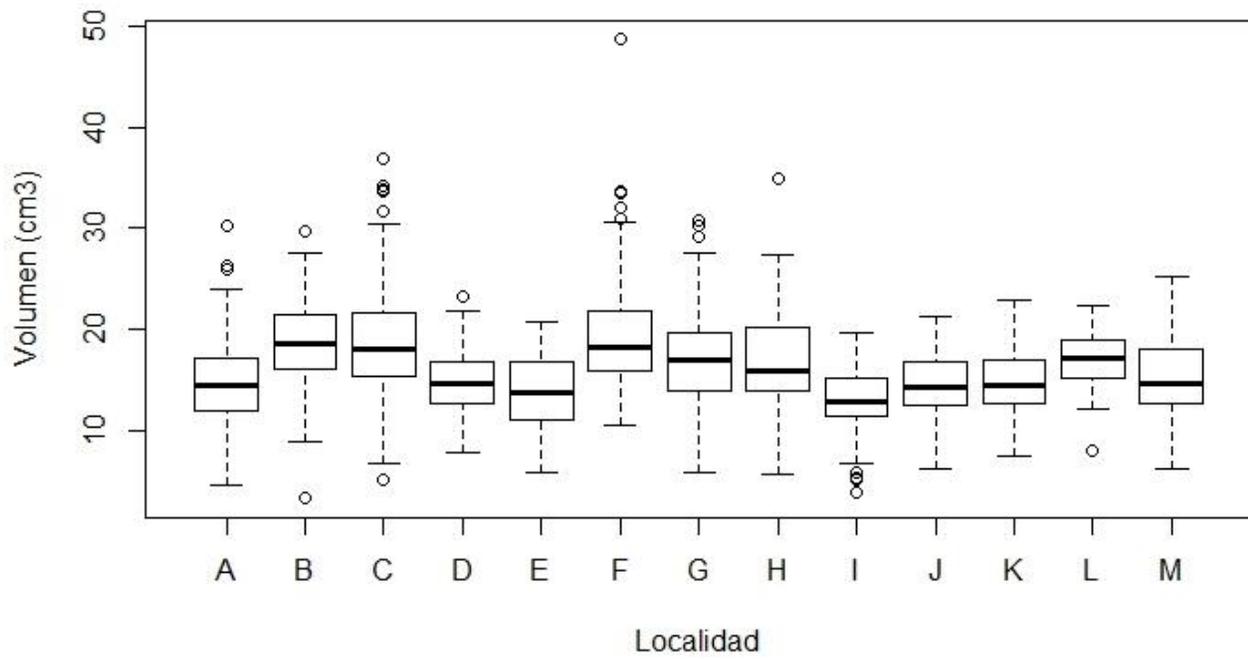
**Figura 16.** Mapa de la distribución de las subpoblaciones en el espacio para los parámetros de calidad de semillas evaluados, donde a) el volumen de frutos por localidad (cm<sup>3</sup>), b) el peso de los frutos por localidad (g) y c) el contenido de humedad en las semillas por localidad (%).

**3.3.1 Variabilidad en los parámetros de calidad de semillas según procedencia geográfica.** Rodales encontrados en Los colihues I (F) en el sector de La retuca comuna de Quilpué, poseen el mayor volumen de frutos (cm<sup>3</sup>), los rodales con semillas que poseen mayor contenido de humedad (%) y los frutos de mayor peso (g), se encontraron en el sector de la gerencia de la división El Soldado de la minera Anglo American Chile (C) inserta en la cordillera El melón. La subpoblación presente en el Estero Garretón (I) también inserta en la cordillera El melón posee los menores promedios para el volumen (cm<sup>3</sup>), peso (g) y contenido de humedad (%) de todas las procedencias geográficas visitadas. (Cuadro 4).

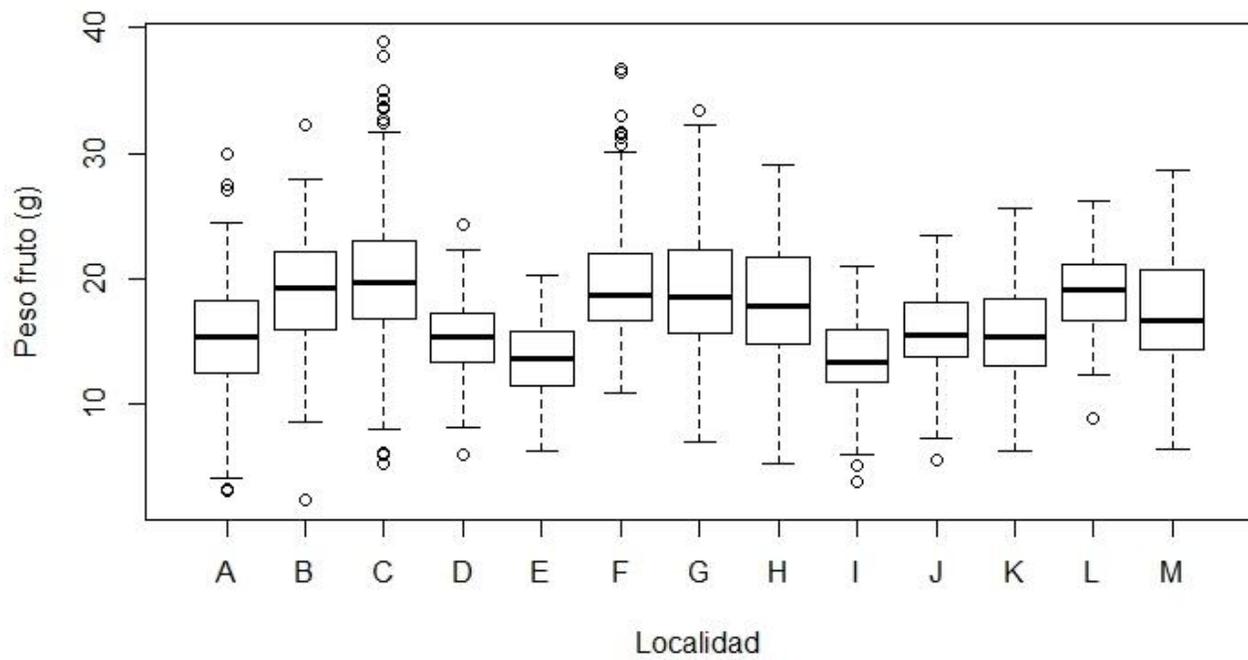
**Cuadro 4.** Promedios del volumen (cm<sup>3</sup>), peso del fruto (g) y contenido de humedad de la semilla (%) en diferentes condiciones geográficas.

| <b>Código</b> | <b>Localidades</b>          | <b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>Peso (g)</b> |
|---------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| <b>A</b>      | Altos de Cantillana         | 14,68                           | 48                              | 15,198          |
| <b>B</b>      | El almendral                | 18,70                           | 51                              | 19,012          |
| <b>C</b>      | Gerencia El soldado         | 18,74                           | 52                              | 20,221          |
| <b>D</b>      | Infiernillo (El soldado)    | 14,75                           | 48                              | 15,308          |
| <b>E</b>      | Los molinos                 | 13,81                           | 46                              | 13,642          |
| <b>F</b>      | Los colihues I              | 19,20                           | 48                              | 19,676          |
| <b>G</b>      | La peña - Hijuelas          | 17,15                           | 45                              | 19,068          |
| <b>H</b>      | Qda. Bellotuda (El soldado) | 16,84                           | 49                              | 18,215          |
| <b>I</b>      | Estero Garretón             | 12,92                           | 43                              | 13,457          |
| <b>J</b>      | San Antonio                 | 14,35                           | 47                              | 15,551          |
| <b>K</b>      | El chache                   | 14,83                           | 47                              | 15,602          |
| <b>L</b>      | Huaquén-Los hornos          | 16,95                           | 46                              | 18,826          |
| <b>M</b>      | Los hornos                  | 15,29                           | 48                              | 17,455          |

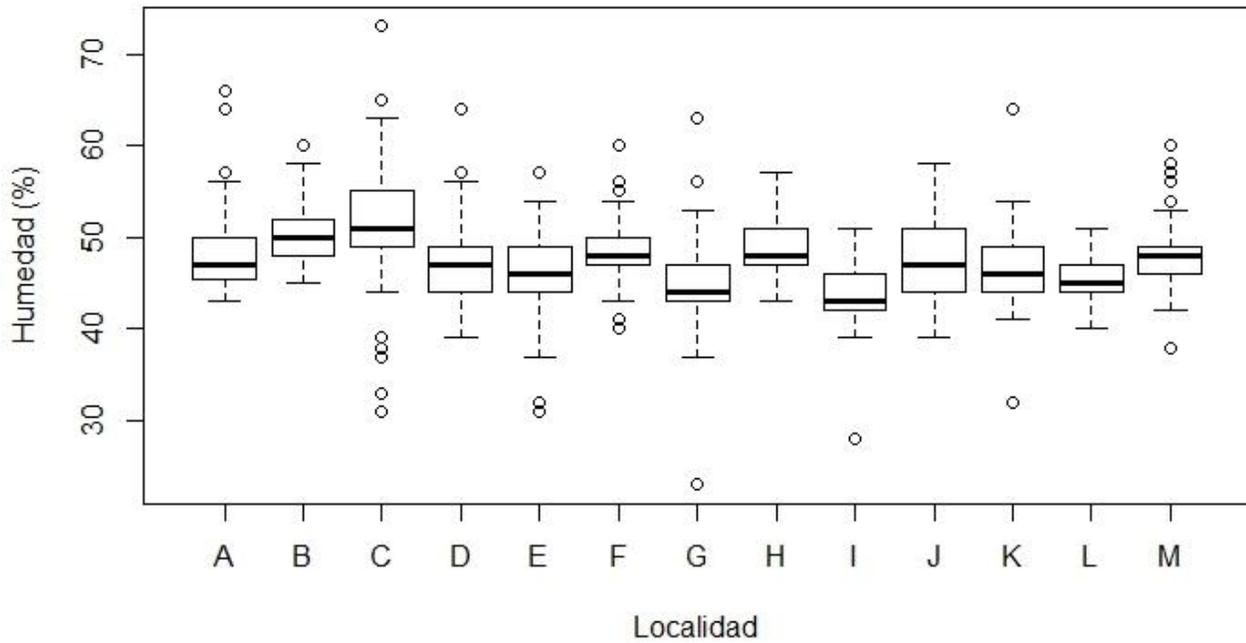
En cuanto al volumen de los frutos en las diferentes procedencias geográficas, se observa que 46% de las subpoblaciones esta sobre el promedio de 15,66 cm<sup>3</sup>, las localidades son El almendral (B), Gerencia El soldado (C), Los colihues I (F), La peña – Hijuelas (G), Qda. Bellotuda (H) y Huaquén – Los hornos (L) (Figura 17). El 54% de las subpoblaciones se encuentran sobre el promedio de 16,932 (g) en el peso del fruto (figura 18), estas son El almendral (B), Gerencia El soldado (C), Los colihues I (F), La peña – Hijuelas (G), Qda. Bellotuda (H), Huaquén – Los hornos (L) y Los hornos (M). Para el contenido de humedad (%) al igual que en el peso, el 54% de las subpoblaciones se encuentran sobre el 48% del contenido de humedad promedio, pero las subpoblaciones son Altos de Cantillana (A), El almendral (B), Gerencia El soldado (C), Infiernillo (El soldado) (D), Los colihues I (F), Qda. Bellotuda (El soldado) (H) y Los hornos (M) (Figura 19). No existe una coincidencia del 100% en las subpoblaciones con mayores valores para los 3 parámetros evaluados, las 6 subpoblaciones con mayores valores en el volumen (cm), coinciden con 6 de las 7 subpoblaciones del peso del fruto (g), por lo que podría existir una relación entre estos dos parámetros.



**Figura 17.** Volumen (cm<sup>3</sup>) en las diferentes localidades.



**Figura 18.** Peso del fruto (g) en las diferentes localidades.



**Figura 19.** Contenido de humedad de la semilla (%) en diferentes localidades.

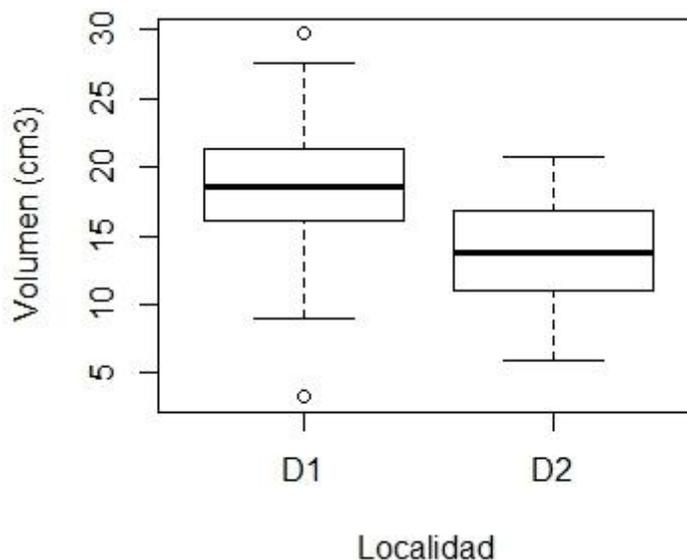
**3.3.2 Variabilidad en los parámetros de calidad de semillas en diferentes condiciones de sitio.** Se evaluaron 2 localidades con densidad alta con su localidad de densidad baja más cercana y 2 localidades con presencia de curso de agua permanente con su localidad con ausencia de curso de agua permanente más cercano respectivamente.

Para los análisis de densidad, se observó que el mayor promedio registrado para el volumen (cm<sup>3</sup>) y el contenido de humedad (%) lo posee la localidad El almendral (D1) y el mayor promedio del peso del fruto (g) lo presenta la Quebrada La Bellotuda (El soldado) (D3) (Cuadro 5). Ambas localidades representan una condición de alta densidad. Estas localidades también poseen los máximos valores para los 3 parámetros evaluados. En el caso de los valores mínimos, para el volumen y el peso El Almendral de densidad alta presenta los menores valores y para el porcentaje de humedad el menor valor se registra en el Estero Garretón localidad con baja densidad (Cuadro 5).

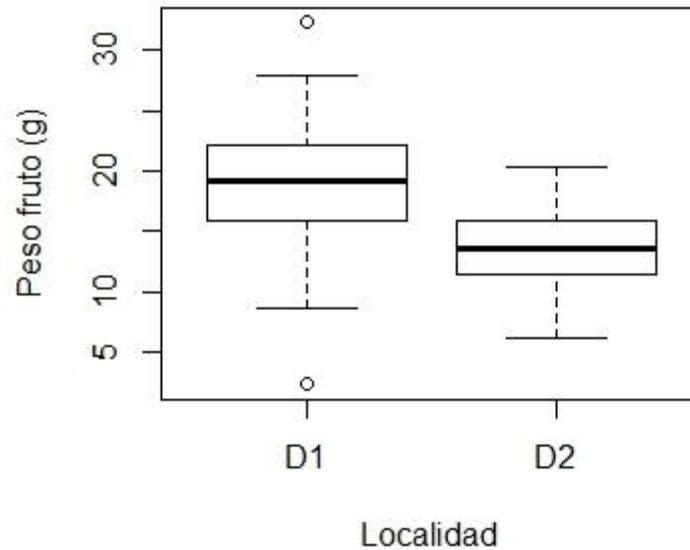
**Cuadro 5.** Promedios, máximos y mínimos de los parámetros de calidad de semillas para el análisis de densidad.

| Código    | Localidades                               | Prom. Volumen (cm <sup>3</sup> ) | Prom. Peso (g) | Prom. Humedad (%) | Máx volumen (cm <sup>3</sup> ) | Mín volumen (cm <sup>3</sup> ) | Máx Peso (g) | Mín Peso (g) | Máx Humedad (%) | Mín. Humedad (%) |
|-----------|---|----------------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|
| <b>D1</b> | El almendral<br><b>Densidad alta</b>      | 18,70                            | 19,0           | 51%               | 29,70                          | 3,24                           | 32,29        | 2,28         | 60%             | 45%              |
| <b>D2</b> | Los molinos<br><b>Densidad baja</b>       | 13,81                            | 13,6           | 46%               | 20,74                          | 5,87                           | 20,31        | 6,19         | 57%             | 31%              |
| <b>D3</b> | Qda. La Bellotuda<br><b>Densidad alta</b> | 17,49                            | 19,8           | 48%               | 36,46                          | 7,45                           | 39,91        | 8,68         | 56%             | 41%              |
| <b>D4</b> | Estero Garretón<br><b>Densidad baja</b>   | 12,92                            | 13,5           | 43%               | 19,60                          | 3,93                           | 20,99        | 3,75         | 51%             | 28%              |

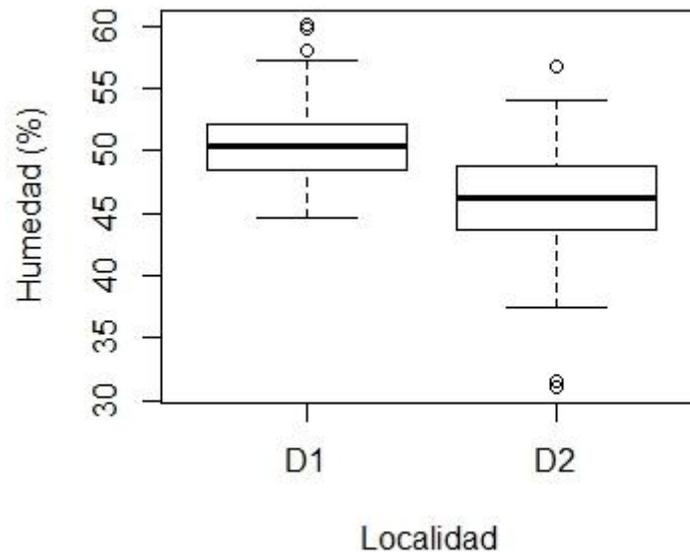
Se observó en la primera comparación para densidad entre El almendral (D1) subpoblación con densidad alta y Los molinos (D2) de baja densidad que los mayores valores de volumen (cm<sup>3</sup>) (Figura 20), peso del fruto (g) (Figura 21) y contenido de humedad (%) (Figura 22), los presenta El Almendral subpoblación de alta densidad (D1).



**Figura 20.** Volumen (cm<sup>3</sup>) de El almendral (D1), localidad con alta densidad con Los molinos (D2) localidad de baja densidad.

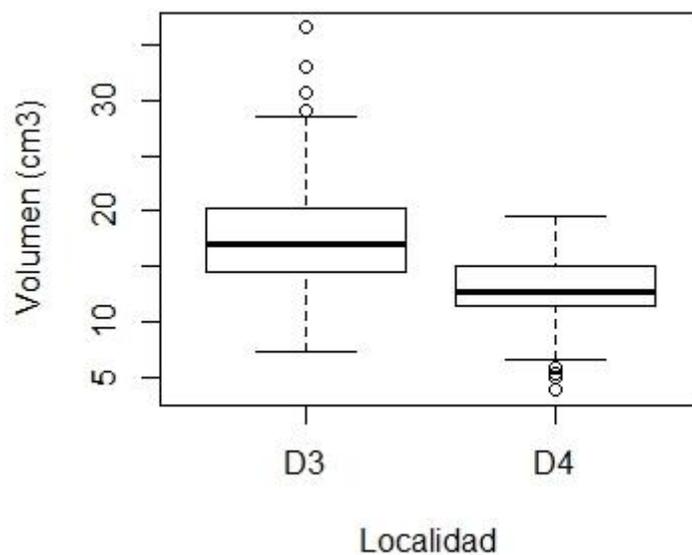


**Figura 21.** Peso del fruto (g) de El almendral (D1) localidad con alta densidad con Los molinos (D2) localidad de baja densidad.

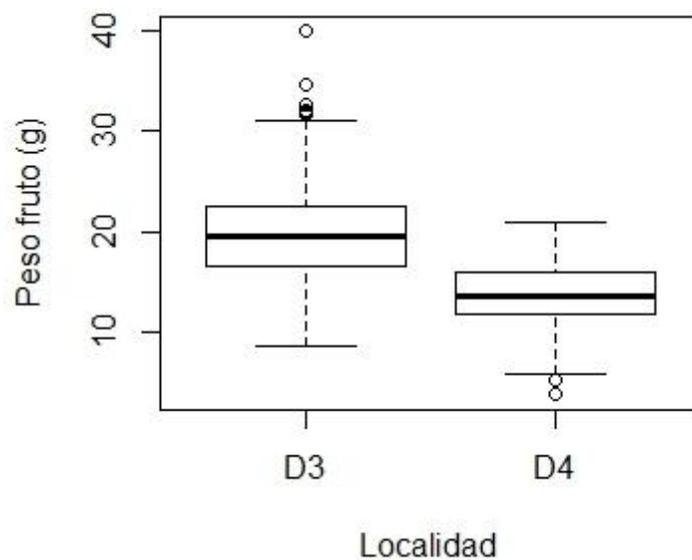


**Figura 22.** Contenido de humedad (%) de El almendral (D1) localidad con alta densidad con Los molinos (D2) localidad de baja densidad.

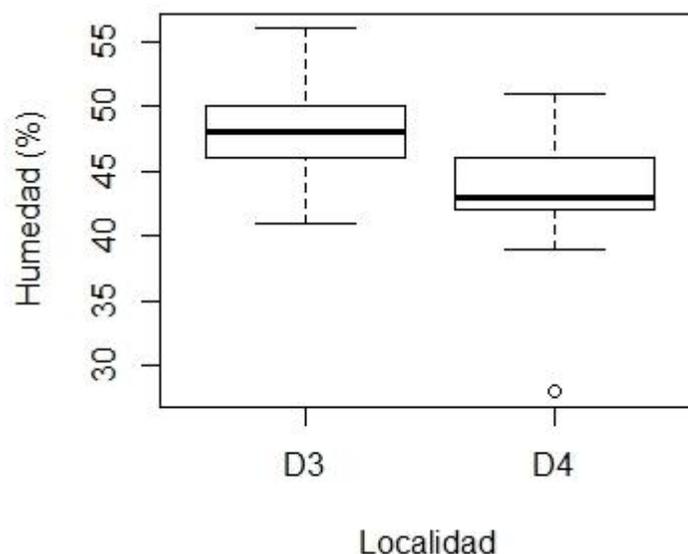
Se observó en la segunda comparación entre la Quebrada la Bellotuda (D3) localidad con densidad alta y el Estero Garretón (D4) de densidad baja, que los mayores valores de volumen (cm<sup>3</sup>) (Figura 23), peso del fruto (g) (Figura 24) y contenido de humedad (%) (Figura 25), los presenta la Quebrada la Bellotuda (D3) localidad con alta densidad.



**Figura 23.** Volumen (cm<sup>3</sup>) de la Quebrada la Bellotuda (D3) localidad con alta densidad con el Estero Garretón (D4) localidad de baja densidad.



**Figura 24.** Peso del fruto (g) de la Quebrada la Bellotuda (D3) localidad con alta densidad con el Estero Garretón (D4) localidad de baja densidad.



**Figura 25.** Contenido de humedad (%) de la Quebrada la Bellotuda (D3) localidad con alta densidad con el Estero Garretón (D4) localidad de baja densidad.

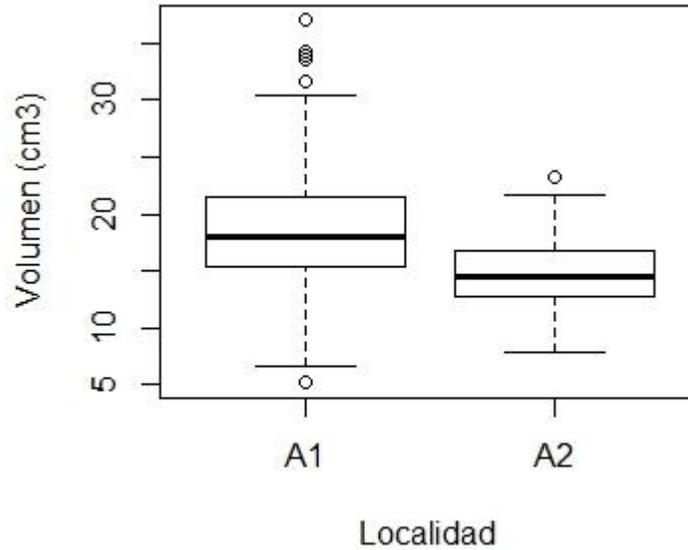
Para los análisis de agua, se observó que el mayor promedio registrado para el volumen (cm<sup>3</sup>), el peso del fruto (g) y el contenido de humedad (%) lo posee la localidad de la Gerencia (El soldado) (A1) (Cuadro 6), localidad que representa la condición de presencia de curso de agua permanente. En el caso de los valores mínimos, para el volumen (cm<sup>3</sup>), el peso (g) y el contenido de humedad (%), lo presenta la localidad de El chache (A4) con ausencia de curso de agua permanente (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Promedios, máximos y mínimos de los parámetros de calidad de semillas para el análisis de agua.

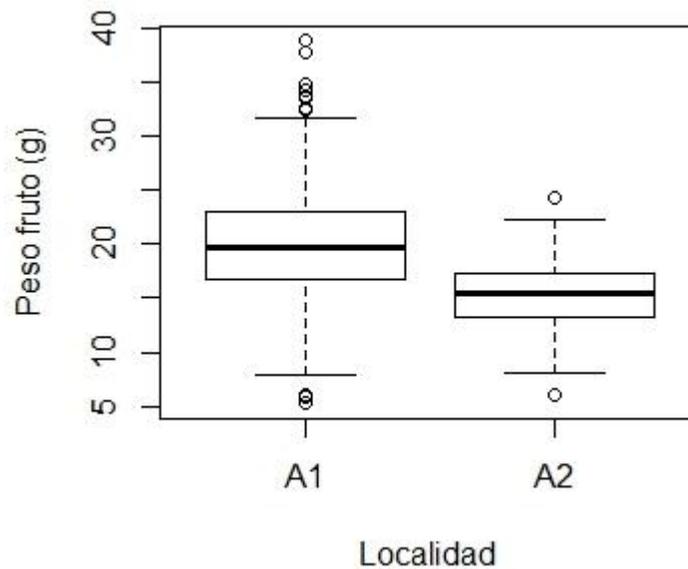
| Código | Localidades              | Prom. Volumen (cm <sup>3</sup> ) | Prom. Peso (g) | Prom. Humedad (%) | Máx volumen (cm <sup>3</sup> ) | Mín volumen (cm <sup>3</sup> ) | Máx Peso (g) | Mín Peso (g) | Máx Humedad (%) | Mín. Humedad (%) |
|--------|--------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|
| A1     | Gerencia (El Soldado)    | 18,74                            | 20,22          | 52%               | 36,97                          | 5,196                          | 38,85        | 5,23         | 73%             | 31%              |
|        | <b>Con agua</b>          |                                  |                |                   |                                |                                |              |              |                 |                  |
| A2     | Infiernillo (El Soldado) | 14,75                            | 15,31          | 48%               | 23,21                          | 7,874                          | 24,34        | 6,02         | 64%             | 39%              |
|        | <b>Sin agua</b>          |                                  |                |                   |                                |                                |              |              |                 |                  |
| A3     | La peña - Hijuelas       | 17,04                            | 17,94          | 49%               | 29,02                          | 5,978                          | 28,92        | 5,51         | 68%             | 35%              |
|        | <b>Con agua</b>          |                                  |                |                   |                                |                                |              |              |                 |                  |
| A4     | El Chache                | 14,18                            | 14,92          | 45%               | 19,60                          | 3,93                           | 20,99        | 3,75         | 51%             | 28%              |
|        | <b>Sin agua</b>          |                                  |                |                   |                                |                                |              |              |                 |                  |

Se observó en la primera comparación entre La Gerencia (A1) localidad con presencia de curso de agua permanente y el Infiernillo (A2) localidad con ausencia de curso de agua permanente, ambos

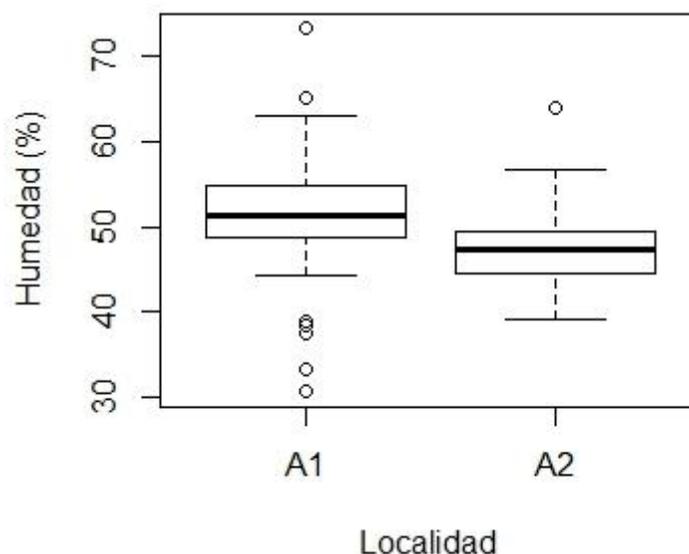
sitios insertos en la División El Soldado de la minera Anglo American que los mayores valores de volumen (cm<sup>3</sup>) (Figura 26), peso del fruto (g) (Figura 27) y contenido de humedad (%) (Figura 28), los presenta La Gerencia subpoblación con presencia de curso de agua permanente (A1).



**Figura 26.** Volumen (cm<sup>3</sup>) de la Gerencia (A1) localidad con presencia de curso de agua permanente con el Infiernillo (A2) localidad con ausencia de curso de agua permanente.

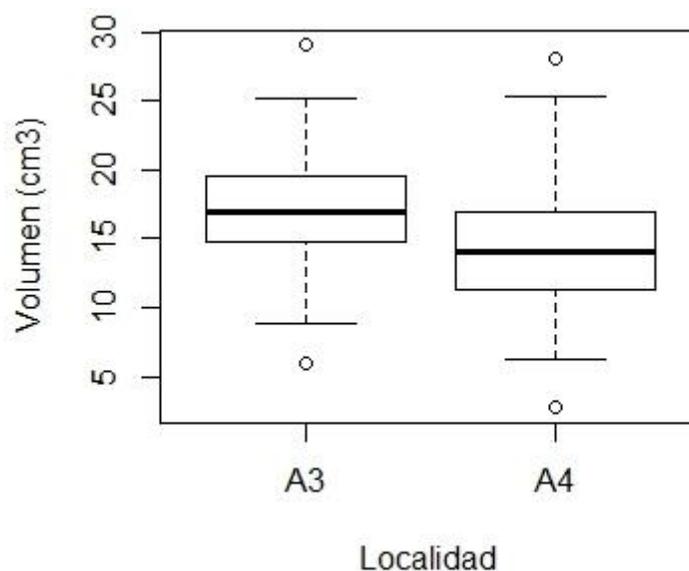


**Figura 27.** Peso del fruto (g) de la Gerencia (A1) localidad con presencia de curso de agua permanente con el Infiernillo (A2) localidad con ausencia de curso de agua permanente.

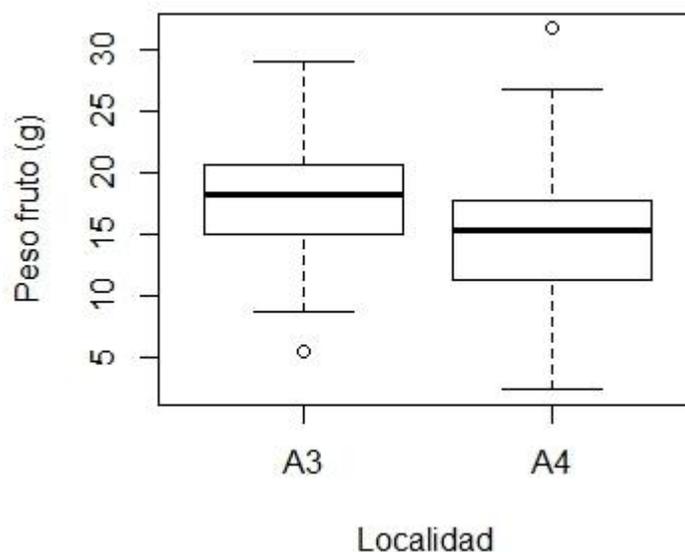


**Figura 28.** Contenido de humedad (%) de la Gerencia (A1) localidad con presencia de curso de agua permanente con el Infiernillo (A2) localidad con ausencia de curso de agua permanente.

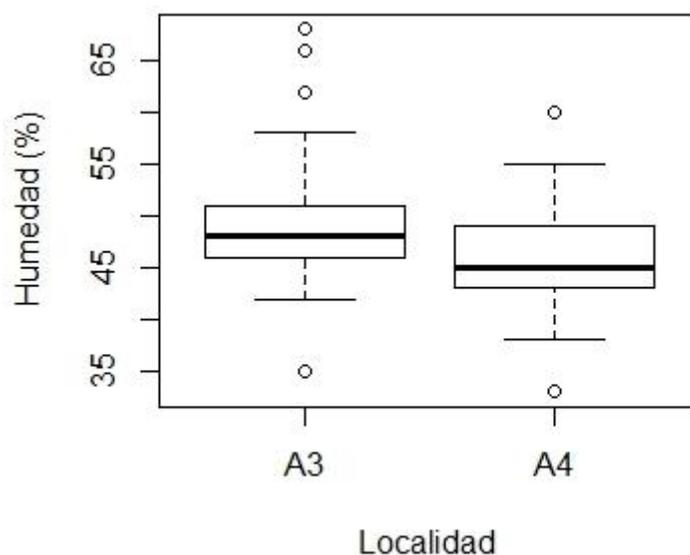
Se observó en la segunda comparación entre La Peña - Hijuelas (A3) localidad con presencia de curso de agua permanente y El Chache (A4) localidad con ausencia de curso de agua permanente que los mayores valores de volumen ( $\text{cm}^3$ ) (Figura 29), peso del fruto (g) (Figura 30) y contenido de humedad (%) (Figura 31), los presenta La Peña - Hijuelas subpoblación con presencia de curso de agua permanente (A3).



**Figura 29.** Volumen ( $\text{cm}^3$ ) de La Peña – Hijuelas (A3) localidad con presencia de curso de agua permanente con El Chache (A4) localidad con ausencia de curso de agua permanente.



**Figura 30.** Peso del fruto (g) de La Peña – Hijuelas (A3) localidad con presencia de curso de agua permanente con El Chache (A4) localidad con ausencia de curso de agua permanente.



**Figura 31.** Contenido de humedad (%) de La Peña – Hijuelas (A3) localidad con presencia de curso de agua permanente con El Chache (A4) localidad con ausencia de curso de agua permanente.

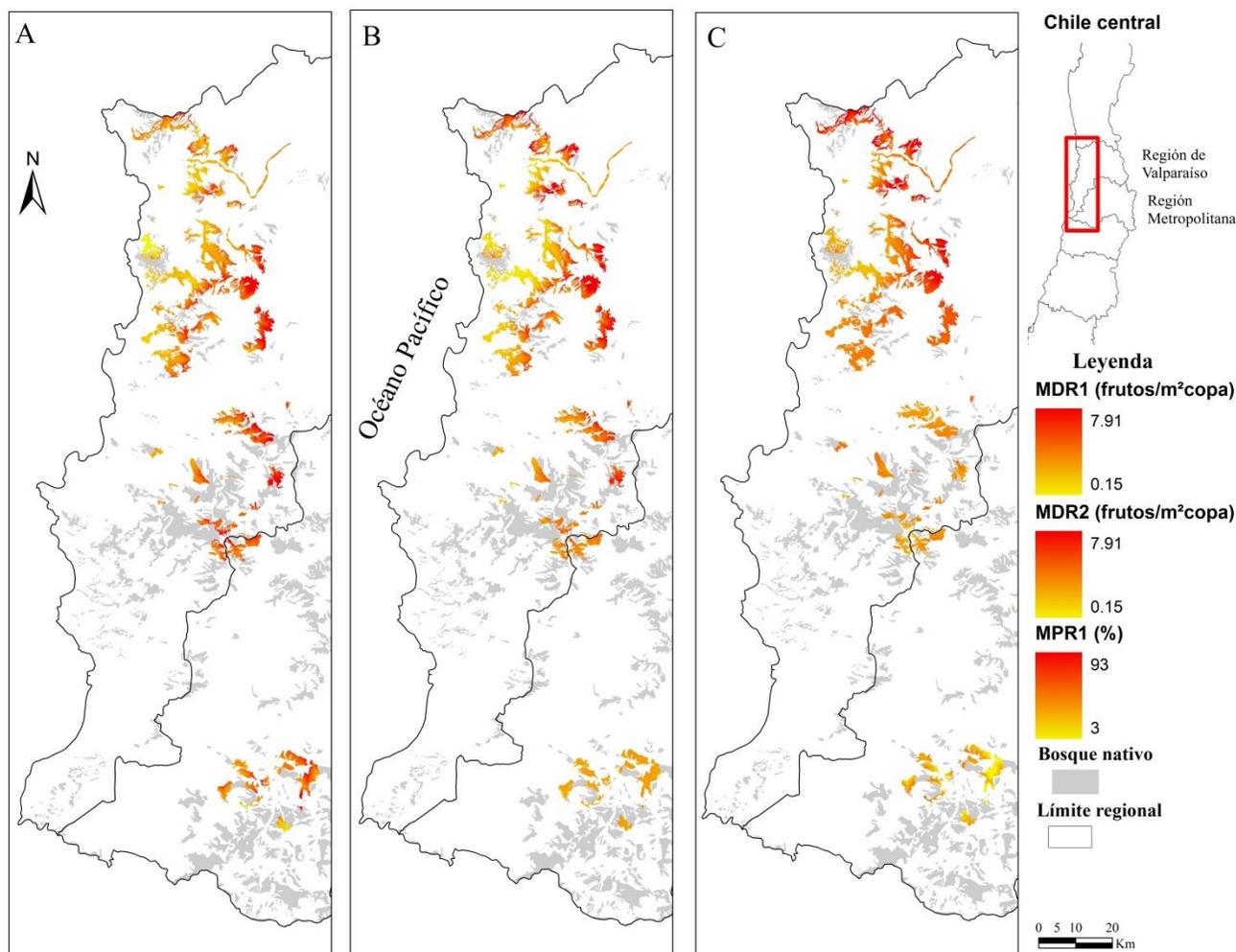
### 3.4 Zonas potenciales para el establecimiento de fuentes semilleras.

La predicción de los modelos realizados para producción de frutos, tanto para el análisis regional como para el de hábitat, muestran las posibles localidades con las mejores condiciones ambientales evaluadas para establecer fuentes semilleras.

Para la densidad de frutos a nivel regional, se escogieron dos modelos, en el primero la variable que actúa positivamente es la elevación y negativamente la distancia al curso de agua, en donde la densidad de frutos se ve favorecida en localidades que se encuentran principalmente hacia el en el límite sur de la Región de Valparaíso y hacia el este de esta región, incluyendo además algunas localidades insertas en los Altos de Cantillana en el límite sur de la Región de Metropolitana (Figura 32a). Este modelo posee un error cuadrático medio (ECM) de 1,89 frutos/m<sup>2</sup> copa.

En el segundo modelo escogido las variables que están influyendo en la producción de fruto positivamente son la elevación y la temperatura media, donde se espera encontrar una mayor densidad de frutos en la zona norte casi al límite de la Región de Valparaíso y hacia el este del área de estudio, al igual que el primer modelo de densidad de frutos (Figura 32b). El valor del error (ECM) es de 1,89 frutos/m<sup>2</sup> copa, al igual que en modelo anterior.

En cuanto a la proporción de árboles con frutos a nivel regional, la temperatura media influye positivamente a un aumento en esta variable respuesta por lo que se espera encontrar una mayor proporción de árboles con frutos solo en el noreste del área de estudio, aumentando está en el límite norte de la Región de Valparaíso (Figura 32c). El error (ECM) de este modelo es de un 21% de árboles con frutos del total de árboles de la especie.

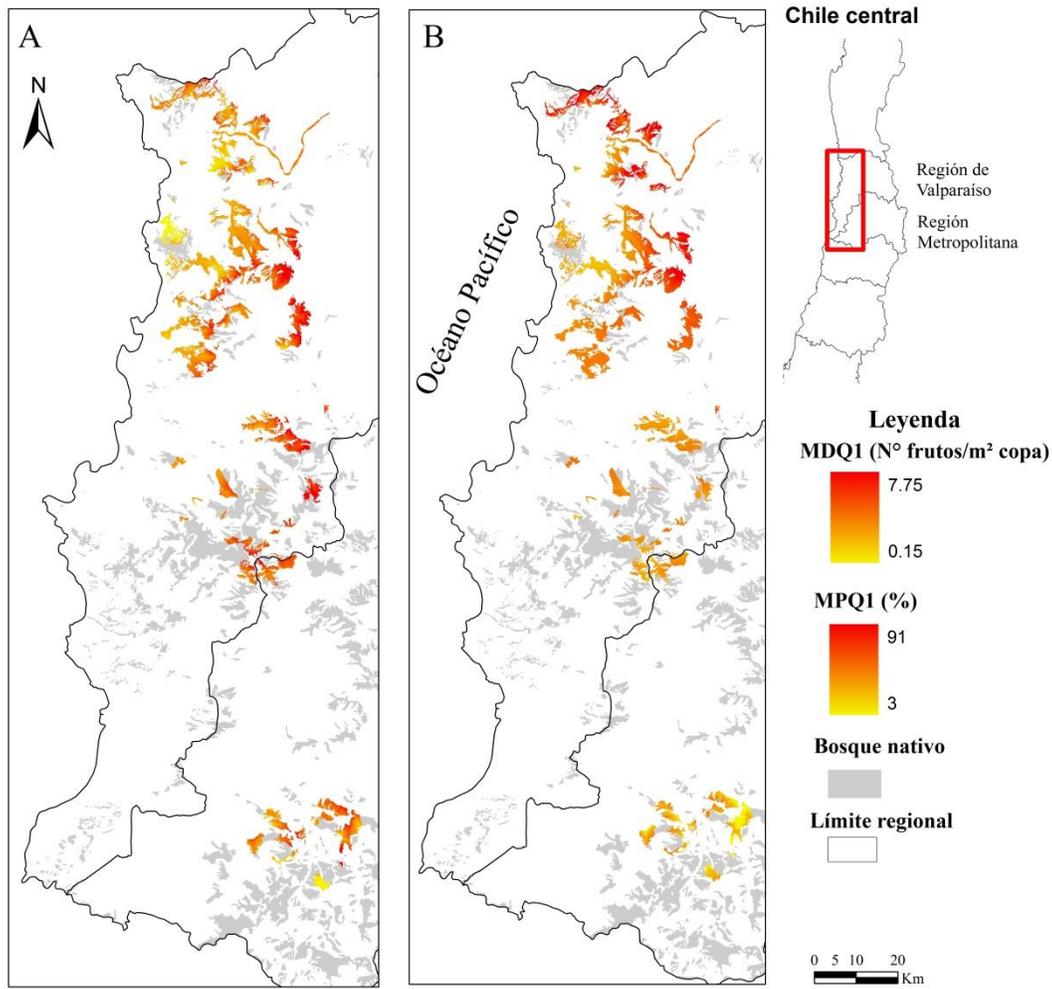


**Figura 32.** Predicción de modelos a nivel regional, donde a) MDR1= modelo 1 de densidad de frutos a nivel regional (N° frutos/m<sup>2</sup> copa), b) MDR2= modelo 2 de densidad de frutos a nivel regional (N° frutos/m<sup>2</sup> copa) y c) MPR1= modelo 1 de proporción de árboles con frutos a nivel regional (%).

Para el caso del análisis en el hábitat de fondos de quebradas, para la densidad de frutos se obtuvo un modelo que está positivamente relacionado con la elevación y negativamente con la distancia a los cursos de agua permanente, en donde la densidad de frutos se ve beneficiada en la mayor parte del área de estudio exceptuando principalmente la zona norte en el límite de la Región de Valparaíso y en la zona sur, límite de la Región Metropolitana. Las quebradas que presentan mayores valores se encuentran principalmente en la Cordillera El Melón, al noreste del área de estudio (Figura 33a), el error cuadrático medio (ECM) del modelo es 1,84 frutos/m<sup>2</sup> copa.

En cuanto a la proporción de árboles con frutos en las quebradas, esta aumenta a mayor temperatura media, en la zona noreste del área de estudio concentra los mayores valores de proporción

de árboles con frutos, aun así en el límite norte de la Región Metropolitana se encuentran altos valores para proporción de árboles con frutos (Figura 33b), en este caso el error (ECM) del modelo es el 21% de árboles con frutos del total de árboles de la especie.



**Figura 33.** Predicción de modelos a nivel de hábitat, donde a) MDQ1= modelo 1 de densidad de frutos en quebradas ( $\text{N}^\circ \text{ frutos/m}^2 \text{ copa}$ ), b) MPQ1= modelo 1 de proporción de árboles con frutos en quebradas (%).

En cuanto a los parámetros de calidad de semillas evaluados, existe una variabilidad espacial para las diferentes localidades, donde los mayores valores observados de volumen ( $\text{cm}^3$ ) y peso del fruto (g) se encuentran en localidades presentes en el límite norte de la Región metropolitana hacia el este del área de estudio. Para el contenido de humedad de la semilla (%), los mayores valores sólo se encuentran en la zona central del área de estudio principalmente en la cordillera de El Melón. En las condiciones de presencia/ausencia de curso de agua permanente y alta/baja densidad de árboles de la

especie, las localidades con mayores valores para los tres parámetros de calidad de semillas evaluados fueron las localidades con curso de agua permanente y las de alta densidad de individuos de la especie, por lo que la calidad.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La producción de semillas tiene alta variabilidad en todo el gradiente longitudinal. En esta evaluación inicial se puede destacar que los bosques de *B. miersii* están produciendo frutos en 41 de los 50 localidades evaluadas. Rodales encontrados en laderas de exposición norte, poseen los máximos valores de densidad de frutos, pero el número de árboles de *B. miersii* en quebrada es mayor que en las laderas, por lo que si bien existe una mayor densidad en las laderas, la producción total es mayor en los fondos de quebradas. En laderas exposición norte se encuentra que la proporción de árboles con frutos del total de árboles observados es de un 100% en 4 localidades y de un 71% en sólo 1 localidad, por lo que los árboles presentes de *B. miersii* en este hábitat presentan frutos casi en la mayoría de los individuos, a diferencia de laderas sur y fondos de quebradas, teniendo esta última una variabilidad mayor en la proporción de árboles con frutos ya que los fondos de quebrada se encuentran en 39 de los 41 localidades analizadas.

Los modelos seleccionados indican cuales y cómo las variables ambientales están influyendo en la producción de frutos y en la proporción de árboles con frutos por localidad. Las variables con una alta significancia en la densidad de frutos son la elevación, temperatura media y la distancia a los cursos de agua permanentes, lo cual explica un 21% la variación de la densidad de frutos. Sólo la temperatura media influye significativamente en la proporción de árboles con frutos por localidad indicando un 26% de la variación. El resto pudiese estar explicado por otras variables ambientales y en escalas diferentes.

Los resultados de los modelos en los fondos de quebrada, indica que la densidad de frutos está influenciada significativamente por la elevación y la distancia a los cursos de agua permanentes, lo cual explica un 22% de la variabilidad. La proporción de árboles con frutos está influenciada sólo por la temperatura media, respondiendo a un 26% su variabilidad.

La variabilidad no explicada con este modelo, pudiese estar explicada por otras variables ambientales y en escalas diferentes. Se utilizaron tres variables ambientales para la medición de la influencia del agua en la producción de frutos, el índice de humedad topográfico, la precipitación anual y la distancia a los cursos de agua permanente, en donde esta última resultó tener una relación

considerable con la producción de frutos por lo que en los estudios posteriores sería interesante agregar variables que representen por ejemplo la neblina costera, así como la utilización de datos climáticos de un periodo de tiempo más amplio al utilizado en este estudio, ya que existen fenómenos que afectan la variabilidad interanual de las condiciones meteorológicas. En el mismo sentido es que pueden estar afectando variables a nivel de individuo que no se evaluaron en esta primera instancia, tales como la posición fitosociológica, el DAP, la exposición de la copa, la competencia entre individuos, etc. (Wang *et al.* 2004). Chapman *et al.* 1992 y Miller y Dietz 2004, describen el DAP como el parámetro que mejor correlación presenta con los tamaños de producción de semillas en árboles tropicales. La ausencia de producción de frutos en algunas localidades se puede deber a que las variables utilizadas en este estudio preliminar fueron variables topográficas y climáticas, estas últimas obtenidas de datos de solo un año (2011), si se incluyen otro tipo de variables y otro tipo de escalas los modelos obtenidos podrían variar y ser más precisos.

El error cuadrático medio (ECM) de los modelos a nivel regional y en quebradas son de 1,89 y 1,84 frutos/ m<sup>2</sup> copa respectivamente para la densidad de frutos, este error puede estar indicando que las variables no se comportarían de forma lineal, debido a que el modelo en los valores medios, realiza una buena predicción, pero en los valores extremos más bajos sobre estima y en los valores extremos más altos sub estima. Esto podría estar indicando que la relación entre las variables predictoras y respuesta, no necesariamente es una relación lineal, por lo que surge la inquietud de realizar pruebas estadísticas con otro tipo de modelo.

El análisis de los parámetros para calidad de semillas se llevó a cabo evaluando el volumen, peso del fruto y contenido de humedad de las semillas. Se realizó un análisis según la procedencia geográfica y otro para comparar diferentes condiciones de sitio que puedan influir en los parámetros de calidad. En cuanto al análisis según la procedencia geográfica el mayor volumen de frutos lo presentó la localidad de Los colihues I, el porcentaje de humedad y el peso lo obtuvo el sector de la Gerencia de la división el Soldado de la minera Anglo American, la cual presenta más de 10.000 ejemplares que representan alrededor del 30% de la población total en el país (Hechenleitner *et al.* 2005, Novoa 2004).

Para los análisis de los parámetros de calidad de semillas realizados en las diferentes condiciones de sitio, se encontró que rodales con presencia de curso de agua permanente tienen valores significativamente mayores que condiciones más xéricas para los tres parámetros evaluados. Por otro lado, rodales con mayor densidad de árboles reproductivos también presentaron parámetros significativamente mayores en comparación a localidades con árboles más aislados.

Para el establecimiento de futuras fuentes semilleras se deberán escoger rodales con las mejores características obtenidas tanto para producción de frutos como para los parámetros de calidad de semillas. Localidades con mayor temperatura media y con mayor elevación, aumentaran la densidad de frutos y la proporción de árboles con frutos. Además a menores distancias a cursos de agua permanente la producción de frutos será considerablemente mayor así como mejor serán los parámetros de calidad que en una localidad en condiciones más xéricas.

Dentro de una misma subpoblación se pueden encontrar condiciones diferentes a nivel de sitio por lo que dentro de una localidad existen individuos que presenten las condiciones ideales, pero en algunos sectores se podrán encontrar grupos de individuos que no responde positivamente a los requerimientos de una fuentes semilleras de *B. miersii*. Cabe destacar que tanto para producción de frutos como para el análisis de parámetros para calidad de semillas la subpoblación presente en la división El Soldado de la minera Anglo American, en la cordillera El Melón presentó una alta producción de frutos y a su vez los mejores valores para los parámetros de calidad de semillas así como en La Peña - Hijuelas, El Almendral, Los Colihues I y Huaquén - Los hornos. Esta última representando la distribución de más al norte de la especie.

Este conocimiento ayudará al establecimiento de fuentes semilleras, lo cual es fundamental para asegurar su abastecimiento continuo, en particular para especies con alto valor de conservación. Es necesario avanzar en determinar variables que operen a nivel de rodal y árbol, además de confirmar los hallazgos encontrados en una segunda temporada de fructificación para el establecimiento de fuentes semilleras, debido a que la producción de semillas posee un alto nivel de fluctuación en los tamaños de producción y asincronicidad entre años, incluso ausentándose en algunos años la producción de semillas en ciertas localidades (Schaik y Noordwijk 1985, Liebhold *et al.* 2004, Donoso 2006, Norden *et al.* 2007, Cannon *et al.* 2007). En una mayoría de especies forestales se observa una variación interanual en la producción de semillas, donde el mismo individuo puede tener años de muy buena producción, intercalados con años de nula producción en los años más extremos (Donoso 1993).

## REFERENCIAS

- Anglo American Chile - CICA Ingenieros Consultores. 2002 Estudio sobre distribución geográfica y estado de conservación del belloto del norte (*Beilschmiedia miersii*). 75 pp. y anexos.
- Aschmann H. 1990. Human impact on the biota of Mediterranean-climate regions of Chile and California. En: *Biogeography of Mediterranean Invasions* (eds. R.H. Groves & F. Di Castri). Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 33-41.
- Badano E, L Cavieres, M Molina-Montenegro, C Quiroz. 2005. Slope aspect influences plant association patterns in the Mediterranean matorral of Central Chile. *Journal of Arid Environments*, 62(1), 93–108.
- Beven, KJ, MJ Kirkbv. 1979. A physically-based variable contribution area model of basin hydrology- Hydro! Sci. Bull. 24(1), 43-69.
- Calvin D. 2003. *Choosing and Using Statistics: A Biologist's Guide*. Department of Biology, University of York. Second Edition.
- Cannon CH, LM Curran, AJ Marshall, M Leighton. 2007. Beyond mast-fruiting events: Community asynchrony and individual dormancy dominate woody plant reproductive behaviour across seven Bornean forest types. *Current Science*, 93, 1558–1566.
- Castillo JC, GA Moreno. 2000. *Semillas forestales del bosque nativo chileno*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 242 p.
- Cereceda P. 1989. La distribución de la niebla en Chile. *Rev. Geogr. Norte Gd.* 16, 43–49
- Cereceda, P, P Osses, H Larraín, M Farías, M Lagos, R Pinto, RS Schemenauer. 2002. "Advective, orographic and radiation fog in the Tarapaca region, Chile", *Atmospheric Research*, vol. 64, pp. 261-271.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 1985. *Simposio flora nativa arbórea y arbustiva de Chile amenazada de extinción*. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL)-CONAMA (Comisión Nacional Medio Ambiente, CL). 1997. *Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile*. CONAF, Chile. 69 pp.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2011. *Catastro de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Monitoreo de cambios y actualizaciones. Periodo 1997 - 2011*. Santiago, Chile.

- Cowling, R.M., PW Rundel, BB Lamont, MTK Arroyo, M Arianoutsou. 1996. Plant diversity in Mediterranean-climate regions. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 362-366.
- Chapman, JA, KL Cramer, NJ Deppenaar, TJ Robinson. 1992. Systematics and biogeography of the New England cottontail, *Sylvilagus transitionalis* (Bangs, 1895), with the description of a new species from the Appalachian Mountains. *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 105:841-866.
- Di Castri F, E Hajek. 1976. *Bioclimatología de Chile*. Santiago: Universidad Católica de Chile. 128 p.
- Di Castri, F, D Goodall, R Specht. 1981. *Mediterranean-Type Shrublands*. Elsevier, Amsterdam. 643 pp.
- Di Piazza, F, Lo Conti L, V Noto, F Viola, G La Loggia. 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13: 396–408.
- Donoso C. 1993. Producción de semillas y hojarasca de las especies del tipo forestal Alerce (*Fitzroya cupressoides*) de la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 53-64.
- Donoso C. 2006. *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina, Autoecología*. Marisa Cuneo Ediciones. Valdivia, Chile. 678p.
- Gajardo R, MT Serra. 1987. Fichas técnicas de lugares específicos con presencia de especies leñosas amenazadas de extinción, V Región. Programa de Protección y recuperación de la Flora Nativa de Chile. U. de Chile. Corporación Nacional Forestal. 110 pp.
- Gajardo R. 1993. El concepto de procedencia y la calidad de la semilla. Depto. Silvicultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad de Chile. En: *Notas del Centro Productor de Semillas de Árboles Forestales CESAF Chile N°1 Agosto de 1993*.
- Hechenleitner P, M Gardner, P Thomas, C Echeverria, B Escobar, P Brownless, C Martinez. 2005. *Plantas amenazadas del Centro-Sur de Chile*. Universidad Austral de Chile. Real Jardín Botánico de Edimburgo. 187 p.
- ISTA (International Seed Testing Association, UK). 2004. *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland.
- Jara L. 1998. Identificación y selección de fuentes semilleras. In L. F. Jara (Ed.), *Selección y manejo de fuentes semilleras en América Central y República Dominicana* (pp. 23-29) CATIE, Proyecto de Semillas Forestales

- Kaufman, L. and Rousseeuw, P.J. 1990. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Wiley, New York
- Larraín, H, F Velásquez, R Espejo, R Pinto, P Cereceda, P Osses y RS Schemenauer. 2002. "Fog measurements at the site "Falda Verde, North of Chañaral, compared with other North Chilean fog stations", *Atmospheric Research*, vol 64, pp. 271-284.
- Liebhold A, V Sork, M Peltonen, W Koenig, ON Bjørnstad, R Westfall, J Elkinton, J & Knops, MH. 2004. Within-population spatial synchrony in mast seeding of North American oaks. *Oikos*, 104:156-164.
- Luebert F, P Plischoff. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 2006.
- Miller, KE, JM Dietz. 2004. Fruit yield, not dbh or fruit crown volume, correlates with time spent feeding on fruits by wild *Leontopithecus rosalia*. *Int. J. Primatol.*, 25: 27-39.
- Nishida S. 1999. Revision of Beilschmiedia (Lauraceae) in the Neotropics. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 86(3): 657-701
- Norden N, J Chave, P Belbenoit, A Caubère, P Châtelet, PM Forget, C Thébaud. 2007. Mast fruiting is a frequent strategy in woody species of eastern South America. *PloS one*, 2, e1079.
- Novoa P. 2004. Determinación del grado de amenaza del belloto del norte (*Beilschmiedia miersii* Kosterm., Lauraceae), mediante el uso de la metodología UICN 2001. Versión 3.1. *Chloris Chilensis Año 7 N° 2*. URL: <http://www.chlorischile.cl>. Basado en el Documento Técnico N° 387 de la Oficina de Estudios y Planificación, CONAF, V Región. CONAF-V Región.
- O'Loughlin, EM. 1981. Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties. *J. Hydrol.* 53, 229-246.
- Pavez E, G Lobos, F Jaksic. 2010. Cambios de largo plazo en el paisaje y los ensambles de micromamíferos y rapaces en Chile central. *Revista Chilena de historia natural*, vol.83, n.1.
- Plischoff, P, T Fuentes-Castillo. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, Vol. 48, p. 61-79.
- R Development Core Team, 2009. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN: 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org>.
- Rodríguez R, M Quezada, O Matthei. 1983. Flora arbórea de Chile. Editorial Universidad de Concepción, 360 p.

- Ramírez C, C San Martín, J San Martín, R Villaseñor. 2004. Comparación Fitosociológica de los bosques de Belloto (*Beilschmedia*, Lauraceae) en Chile Central. *Bosque* 25 (1): 69-85.
- Schaik C, M Noordwijk. 1985. Interannual variability in fruit abundance and the reproductive seasonality in Sumatran long-tailed macaques. *Journal of Zoology* 13:533-549.
- Schulz, J, L Cayuela, C Echeverría, J Salas, JM Rey Benayas. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography* 30: 436-447
- Serra, MT, R Gajardo, A Cabello. 1986. *Beilschmedia miersii*. Programa de protección y recuperación de la flora nativa de Chile. Ficha técnica de especies amenazadas. Corporación Nacional Forestal. 23 pp.
- Smith-Ramírez, C, JJ Armesto. 2003. Foraging behaviour of bird pollinators on *Embothrium coccineum* (Proteaceae) trees in forest fragments and pastures in southern Chile. *Austral Ecology* 28:53-60
- Wang, XF, AS Auler, RL Edwards, H Cheng, PS Cristalli, PL Smart, DA Richards, CC Shen. 2004. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies, *Nature*, 432, 740–743.
- Wilson, JP, JC Gallant. 2000. *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley and Sons, New York, 479 p.
- Zobel B, J Talbert. 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. New York. Wiley. 505 p.