



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

Programa de Estudios de Posgrado

EVALUACIÓN DE LA REGENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DEL  
ENCINO ARROYERO (*Quercus brandegeei*) DE LA REGIÓN  
DEL CABO, B.C.S., MÉXICO.

T E S I S

Que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Ecología de Zonas Áridas )

P r e s e n t a

**Daniel Wblesther Pérez Morales**

La Paz, Baja California Sur, julio de 2021.

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 12 del Mes de Julio del 2021, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**“Evaluación de la regeneración y propagación del encino arroyero (*Quercus brandegeei*), de la región del Cabo, B.C.S., México.”**

Presentada por el alumno:

**Daniel Wblesther Pérez Morales**

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Ecología de Zonas Áridas**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



---

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara  
Directora de Tesis

---

Dr. José Luis León de la Luz  
Co-Tutor



---

Dra. Silvia Álvarez-Clare  
Co-Tutora



---

Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos.

La Paz, Baja California Sur, a 12 de julio de 2021.

Los miembros del comité de tesis del (la) estudiante **Daniel Wblesther Pérez Morales** del Programa de **Maestría en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales**, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el VoBo dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta anti plagio:  
7 %
- Filtros utilizados:  
**Citas y bibliografía**
- Porcentajes de similitud:  
Máximo 20% para tesis Posgrado  
Se muestra captura de pantalla

		Citas excluidas Bibliografía excluida	7% SIMILAR
<b>Resumen de Coincidencias</b>			
Coincidencia 1 de 2			
1	Internet 288 palabras Copiado el 08-Jun-2015 <a href="http://www.uv.mx">www.uv.mx</a>		2%
2	Internet 115 palabras Copiado el 11-Nov-2020 <a href="http://todosconociendobcs.blogspot.com">todosconociendobcs.blogspot.com</a>		1%
3	Internet 111 palabras Copiado el 17-Jul-2020 <a href="http://www.conabio.gob.mx">www.conabio.gob.mx</a>		1%
4	Internet 99 palabras Copiado el 28-Oct-2017 <a href="http://www.redalyc.org">www.redalyc.org</a>		1%
5	Internet 73 palabras Copiado el 25-Mar-2019 <a href="http://journals.sagepub.com">journals.sagepub.com</a>		<1%
6	Internet 66 palabras Copiado el 19-Sep-2014 <a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a>		<1%
7	Internet 54 palabras Copiado el 18-Ago-2020 <a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a>		<1%
8	Internet 51 palabras Copiado el 18-Feb-2012 <a href="http://www.raco.cat">www.raco.cat</a>		<1%
9	Internet 50 palabras Copiado el 14-Mar-2021 <a href="http://dSPACE.cibnor.mx:8080">dSPACE.cibnor.mx:8080</a>		<1%
10	Internet 34 palabras Copiado el 02-Dic-2013 <a href="http://www.docstoc.com">www.docstoc.com</a>		<1%

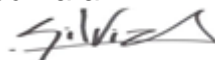
### Firmas del comité



\_\_\_\_\_  
Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara



\_\_\_\_\_  
Dr. José Luis León de la Luz



\_\_\_\_\_  
Dra. Silvia Álvarez-Clare



## **Conformación de Comités**

### **Comité tutorial**

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.  
Directora de tesis

Dra. Silvia Álvarez Clare  
The Morton Arboretum  
Co-Tutora de tesis

Dr. José Luis León de la Luz  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.  
Co-Tutor de tesis

### **Comité Revisor de Tesis**

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara  
Dra. Silvia Álvarez Clare  
Dr. José Luis León de la Luz

### **Jurado de examen**

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara  
Dra. Silvia Álvarez Clare  
Dr. José Luis León de la Luz

### **Suplente**

Dr. Antonio González Rodríguez

## Resumen

La pérdida de biodiversidad derivada por factores antrópicos es una de las grandes preocupaciones ambientales actuales. La Región del Cabo, localizada en el extremo sur de Baja California Sur, es una de las regiones de mayor biodiversidad en la península: en ella se encuentran varias especies con una distribución geográfica restringida a esa región. El encino arroyero (*Quercus brandegeei*), árbol leñoso perenne de hasta 20 metros de altura, es una especie endémica de la región que se encuentra en categoría de amenazada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Entre sus principales amenazas se mencionan la baja tasa de regeneración tanto sexual como vegetativa, su muy estrecha distribución, así como los fenómenos de sequía y posiblemente el consumo de bellotas tanto para uso humano como por animales domésticos. A pesar de la importancia de esta especie, por los servicios ambientales que proporciona y su aporte a la biodiversidad, antes de este trabajo no había estudios referentes a la producción de bellotas, su morfología y viabilidad, así como el crecimiento de las plántulas. Es por ello que en el presente estudio se verificó la producción y viabilidad de las bellotas, así como el crecimiento de plántulas, considerando diferentes localidades con el objetivo de analizar si existen diferencias entre las distintas áreas de distribución de la especie. Se determinaron tres regiones definidas como Golfo, Pacífico y Norte en el área de distribución de la especie. Dentro de estas regiones, se seleccionaron seis sitios de colecta, los cuales están distribuidos en los municipios de La Paz y Los Cabos. Se seleccionó un total 24 árboles y se colectaron bellotas. Se realizaron registros de longitud, ancho, peso y volumen, para analizar la morfología. Seguidamente, las bellotas se pusieron a germinar para determinar el porcentaje de germinación, así como el desarrollo inicial de las plántulas. Finalmente, se realizaron entrevistas con pobladores locales respecto del uso de este recurso. Los resultados obtenidos indicaron que existe una importante producción de bellotas y que las morfologías de estas presentaron alta variación dentro de las localidades para las cuatro variables (longitud, ancho, peso y volumen), sin embargo, en el análisis del efecto de la procedencia, únicamente se observó un efecto de la procedencia en el peso de las bellotas. En lo que respecta a la germinación de las bellotas, esta fue alta con un porcentaje de 78.43%. Se observó un efecto de la procedencia en el crecimiento del diámetro del tallo en las plántulas. Este estudio muestra la importancia de la adaptación local a escala poblacional, proporcionando evidencia de que la producción de semillas, el tiempo y éxito de germinación y crecimiento de plántulas son factores críticos en la regeneración y reclutamiento de *Q. brandegeei*.

**Palabras clave:** Encino, amenazado, bellotas, regeneración, procedencia.

**ORCID:** 0000-0001-7839-5661



---

Dra. Aurora Breceda Solís Cámara  
Directora de Tesis

## Summary

The loss of biodiversity derived from anthropic factors is one of the great current environmental concerns. The Cape Region, located at the southern tip of the Baja California peninsula, is one of the regions with the greatest biodiversity in the peninsula: there are several species with a geographic distribution restricted to that region. The “encino arroyero” (*Quercus brandegeei*), a woody perennial tree up to 20 meters high, is an endemic species of the region that is classified as threatened by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). Among its main threats are the low rate of both sexual and vegetative regeneration, its very narrow distribution, as well as drought phenomena and possibly the consumption of acorns for both human use and domestic animals. Despite the importance of this species, due to the environmental services it provides and its contribution to biodiversity, before this work there were no studies regarding the production of acorns, their viability and the survival of seedlings. That is why in the present study the production and viability of acorns, as well as the growth of seedlings, were verified, considering different locations in order to analyze whether there are differences between the different distribution areas of the species. Three regions defined as Gulf, Pacific and North were determined in the range of the species. Within these regions, six collection sites were selected, which are distributed in the municipalities of La Paz and Los Cabos in the state of Baja California Sur. A total of 24 trees were selected and acorns were collected. Length, width, weight and volume records were made to analyze the morphology. Then, the acorns were put to germinate to determine the germination percentage, as well as the initial development of the seedlings. Finally, interviews were conducted with local residents regarding the use of this resource. The results obtained indicated that there is an important production of acorns and that the morphologies of these presented high variation within the localities for the four variables (length, width, weight and volume), however, in the analysis of the effect of origin, only an effect of the origin was observed in the weight of the acorns. Regarding the germination of the acorns, this was high with a percentage of 78.43%. An effect of provenance was observed on the growth of the stem diameter in the seedlings. This study shows the importance of local adaptation on a population scale, providing evidence that seed production, the time and success of germination and seedling growth are critical factors in the regeneration and recruitment of *Q. brandegeei*.

**Keywords:** *Oak, threatened, acorns, regeneration, provenance.*

**ORCID:** 0000-0001-7839-5661



---

Dra. Aurora Breceda Solís Cámara  
Directora de Tesis

## Dedicatoria

*A mi familia...*

*A mi Mar, mi amada Mariana, porque incondicionalmente siempre estuviste ahí, apoyándome y alentándome en todo momento, siempre poniendo de tu parte ante cualquier situación buena o mala y por ser mi gran motivación.*

## Agradecimientos

En primer lugar, extiendo mis agradecimientos al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. por permitirme realizar mis estudios de Maestría.

Asimismo, agradezco al CONACYT por la beca de manutención otorgada 929996

A la Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara, por confiar en mi para formar parte de este gran proyecto, por los valiosos conocimientos proporcionados, así como la guía y apoyo constante, además de brindarme su gran amistad la cual precio y valoro.

A la Dra. Silvia Álvarez-Clare porque a pesar de la distancia, sentí muy de cerca su entusiasmo, entrega, su apoyo, sus consejos y aportes a la investigación, además de contagiarme de su optimismo.

Al Dr. José Luis León de la Luz por las invaluable observaciones y aportaciones realizadas a la tesis, las cuales mejoraron la investigación en gran medida.

A ti Mariana Fuentes Zarco. Juntos logramos esta meta, pasamos desvelos, alegrías, tristezas, enojos, soledad. Cuantas dificultades atravesamos, pero siempre acompañándonos en cada momento, “juntos logramos todo”. Gracias por ser...

A toda mi familia en particular a mi mamá y papá, que siempre me dan su amor y apoyo incondicional, ustedes me dan el coraje para seguir con dedicación toda meta, también a Mariana y David, mis queridos hermanos quienes son parte fundamental en mi vida y a mi pequeña sobrina Marion. A la Sra. Guille, Sr. Mario, Samuel y Daniela por su cariño y acompañamiento.

A mis compañeras y amigas Mariana, Adriana, Yoshio, Lupita quienes me apoyaron en laboratorio, en invernadero y en campo. Gracias infinitas por su amistad y apoyo. Para mí fue un gusto haberlos conocido y haber compartido tantos momentos.

A todo el personal del departamento de Posgrado por el apoyo brindado durante la maestría.

A los técnicos, amigos y grandes aliados del CIBNOR, Christian Silva, Abelino Cota, Fany, Francisco Cota “Don Frankie” (q.e.p.d.), Doña Narda, Don Víctor, Carolina y a todos en el rancho “La Acacia”.

A Global Tree Conservation Program y Center for Tree Science del Morton Arboretum (financiamiento y apoyo institucional incluyendo una beca para culminar la tesis), Franklina Foundation (financiamiento), The Global Trees Campaign, Al gran equipo de La Reserva de La Biosfera Sierra La Laguna (CONANP), Dr. Miguel Ángel Leal (q.e.p.d.), Ings. Armando y Alejandra. Al Dr. Antonio González Rodríguez (IEES, UNAM), Dra. Christie Klimas de DePaul University y las compañeras del equipo *Quercus brandegeei* en Chicago.



## Contenido

<b>Resumen</b> .....	i
<b>Summary</b> .....	ii
<b>Dedicatoria</b> .....	iii
<b>Agradecimientos</b> .....	iv
<b>Contenido</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	vii
<b>Lista de tablas</b> .....	viii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
2.1 Especie de estudio .....	3
2.2 El noroeste de México .....	4
2.3 Aspectos Ecológicos.....	5
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	10
3.1 Preguntas de Investigación.....	11
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	12
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	13
5.1 Objetivo general .....	13
5.2 Objetivos particulares.....	13
<b>6. MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	14
6.1 Área de estudio.....	14
6.2 Diseño experimental.....	15
6.3 Morfología de bellotas.....	17
6.4 Germinación .....	18
6.5 Crecimiento de plántulas.....	20
6.6 Entrevistas .....	21
6.7 Análisis de datos .....	22
6.7.1 Análisis morfométrico de bellotas.....	22
6.7.2 Análisis de la germinación .....	23
6.7.3 Análisis del crecimiento.....	24
<b>7. RESULTADOS</b> .....	26
7.1. Morfología de las bellotas .....	26
7.2 Germinación .....	30
7.3 Crecimiento de plántulas.....	32
7.4 Entrevistas .....	36
<b>8. DISCUSIÓN</b> .....	39
8.1. Morfología de bellotas .....	39
8.2 Germinación .....	40
8.3 Crecimiento de plántulas.....	43
8.4 Entrevistas .....	46
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	48
9.1 Recomendaciones.....	49
<b>10. LITERATURA CITADA</b> .....	50
<b>11. ANEXOS</b> .....	58
<b>ANEXO 1</b> .....	58

1.1 Análisis exploratorio de las variables de morfología de las bellotas de <i>Q. brandegeei</i> .....	58
1.2 Selección del modelo optimo mediante LMM (Linear Mixed Models) de las variables que afectan la morfología de las bellotas de <i>Q. brandegeei</i> .....	62
<b>ANEXO 2</b> .....	70
2.1 Análisis exploratorio de las variables de crecimiento de las plántulas de <i>Q. brandegeei</i> .....	70
2.2 Selección del modelo optimo mediante LMM (Linear Mixed Models) de las variables que afectan el crecimiento de las plántulas de <i>Q. brandegeei</i> .....	73
<b>ANEXO 3</b> .....	78
3.1 Formato para la realización de entrevistas con los habitantes de las comunidades en la Región del Cabo Baja California Sur. ....	78

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Imagen que muestra la especie de estudio <i>Quercus brandegeei</i> .....	4
<b>Figura 2.</b> Fases de la regeneración natural de encinos, factores asociados, eventos y procesos.....	6
<b>Figura 3.</b> Área de estudio en donde se observan las seis localidades de colecta de bellotas. Elaboración propia. ....	17
<b>Figura 4.</b> Imagen que muestra la forma como se midieron las variables longitud, ancho y peso. ....	18
<b>Figura 5.</b> Imagen que muestra las charolas de germinación. ....	19
<b>Figura 6.</b> Imagen que muestra el registro en la emergencia de la plúmula tomada como germinación. ....	20
<b>Figura 7.</b> Imagen que muestra la forma como se midió el crecimiento de las plántulas.....	21
<b>Figura 8.</b> Imágenes que muestran algunas de las entrevistas realizadas a los rancheros. ....	22
<b>Figura 9.</b> Gráficos de cajas que muestran el promedio de (A) Longitud (mm), (B) Ancho (mm), (C) Peso (g) y (D) Volumen (cm <sup>3</sup> ) de las bellotas de los 24 árboles en las tres diferentes regiones. Se presenta el rango intercuartílico: Q3 – Q1 = (50% de los datos), las barras de error representan el 10% y el 90% de los valores, líneas horizontales negras = medianas de cada árbol, puntos en naranja = promedio de cada árbol y las líneas de color = promedio general de cada región.....	27
<b>Figura 10.</b> Diagrama de cajas de bigotes del peso de las bellotas (g) por procedencia: Golfo, Norte y Pacífico (n= 450, 250, 350, respectivamente). ....	30
<b>Figura 11.</b> Germinación acumulada en el tiempo según la región (procedencia) de la bellota (Norte, Golfo y Pacífico). Se observan los valores y curvas ajustados por el modelo de regresión no lineal (n= 392, 436 y 303 respectivamente). Diferentes letras muestran diferencias significativas para un nivel de $P < 0.05$ (Los puntos en rojo indican cuando la germinación llegó al 50%).....	32
<b>Figura 12.</b> Gráficos de cajas que muestran el crecimiento promedio de (A) Altura del tallo (mm), (B) Diámetro del tallo (mm) y (C) Número de hojas de las plántulas de los 24 árboles procedentes de las tres diferentes regiones. El cuadro representa el rango intercuartílico: Q3 - Q1. (50% de los datos), las barras de error representan el 10% y el 90% de los valores, las líneas horizontales negras continuas representan las medianas, los puntos naranjas representan los promedios generales para cada árbol y las líneas de color representan el promedio para cada región. ....	34
<b>Figura 13.</b> Consumo de las bellotas por parte de los cerdos en el área de estudio (Izquierda). Colecta de bellotas por habitantes de las comunidades (Derecha). ....	37
<b>Figura 14.</b> Imagen que muestra el desarrollo del tubérculo (engrosamiento) en la raíz de las plántulas de <i>Q. brandegeei</i> .....	45

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Datos de las localidades de colecta de semillas. ....	16
<b>Tabla 2.</b> Parámetros usados en los modelos lineales mixtos. ....	23
<b>Tabla 3.</b> Parámetros usados en el modelo. ....	24
<b>Tabla 4.</b> Parámetros usados en los modelos lineales mixtos. ....	25
<b>Tabla 5.</b> Estadísticas descriptivas para las cuatro variables analizadas en las bellotas. ....	26
<b>Tabla 6.</b> Modelos utilizados para probar el efecto de la procedencia en el tamaño de las bellotas (longitud, ancho, peso y volumen) de <i>Q. brandegeei</i> (n= 1161). ....	28
<b>Tabla 7.</b> Modelos utilizados para probar la hipótesis del efecto de la procedencia en el tamaño de las bellotas (longitud, ancho, peso y volumen) de <i>Q. brandegeei</i> (n= 1161) comparando valores de AIC. Para fines de comparación, el valor de AIC más pequeño se convierte a cero y el resto de los valores relativos a él ( $\Delta$ AIC). ....	29
<b>Tabla 8.</b> Modelo de mejor ajuste para estimar la capacidad germinativa de las bellotas en las regiones (Golfo, Pacífico y Norte). La tabla indica aquellos factores que fueron significativos para determinar la probabilidad de germinación de las semillas. La letra que antecede a la Región indica el parámetro estimado (b = pendiente alrededor del punto de inflexión; d = capacidad germinativa y e = velocidad de germinación). ....	31
<b>Tabla 9.</b> Estadísticas descriptivas para las tres variables analizadas (altura del tallo, diámetro del tallo y número de hojas en las plántulas de <i>Q. brandegeei</i> (n= 591). ....	33
<b>Tabla 10.</b> Modelos utilizados para probar el efecto de la procedencia en el crecimiento de las plántulas (altura del tallo, diámetro del tallo y número de hojas) de <i>Q. brandegeei</i> (n= 591). ....	35
<b>Tabla 11.</b> Modelos utilizados para probar la hipótesis del efecto de la procedencia en el crecimiento de las plántulas (altura tallo, diámetro tallo y número de hojas) de <i>Q. brandegeei</i> (n= 591) comparando valores de AIC. Para fines de comparación, el valor de AIC más pequeño se convierte a cero y el resto de los valores relativos a él ( $\Delta$ AIC). ....	36
<b>Tabla 12.</b> Listado de encuestas realizadas a los habitantes de las comunidades por región. ....	36

## 1. INTRODUCCIÓN

Los robles o encinos pertenecen al género *Quercus* de la familia Fagaceae. Se encuentran ampliamente distribuidos en las zonas templadas, templado-cálidas, y montañas tropicales del Hemisferio Norte. Este género comprende más de 500 especies, las cuales, se distribuyen en hábitats más secos en el sureste de Asia y nororiente de África. En América se encuentran desde Canadá hasta Colombia, incluyendo Cuba (Nixon, 2002, 2006; Valencia-Avalos, 2004; Rzedowski, 2006). Para el género *Quercus* se conocen dos centros de diversificación, Asia (China) con alrededor de 125 especies y México con aproximadamente 161 especies, siendo el país que contiene la mayor diversidad de especies de *Quercus*, de las cuales 109 son endémicas y equivalen a 67.7% del total de especies del género en el país (Valencia, 2004). En el estado de Baja California Sur (B. C. S.), México, se encuentra un grupo de encinos bien definido, entre los que se encuentran *Quercus rugosa*, *Quercus tuberculata*, *Quercus oblongifolia*, *Quercus albocincta*, *Quercus devia* y *Quercus brandegeei* (León de la Luz *et al.*, 2014), siendo estas dos últimas especies endémicas al estado.

Los encinos son recursos forestales de los que se obtienen bienes y servicios, y juegan un papel importante en los ecosistemas boscosos, ya que son determinantes de varios aspectos ecológicos (Díaz-Pontones y Reyes-Jaramillo, 2009; Fernández-Pérez *et al.*, 2013). Su presencia nutre el suelo a través de la generación de hojarasca que provee nutrimentos, retienen el agua, sostiene la vida de otros organismos tanto de plantas y animales vertebrados e invertebrados, mejora el microclima aportando sombra, contribuye a la conservación de los mantos acuíferos y amortigua la humedad del ambiente (Valencia-Avalos, 2004; Nixon, 2004; Reyes, 2006; Rzedowski, 2006). Por otro lado, los bosques de encinos son un recurso forestal muy apreciado por las comunidades. Localmente se utilizan para la elaboración de artesanías, utensilios para actividades agrícolas y pecuarias y son ampliamente utilizados como leña para uso doméstico (Álvarez-Moctezuma *et al.*, 1999, González-Espinosa y Ramírez-Marcial 2006, Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo 2011).

La Región del Cabo alberga una gran riqueza fisiográfica, biológica y paisajística, en donde se desarrollan un gran número de especies de flora y fauna endémica, resultado de su compleja

topografía, de la heterogeneidad de sus suelos y climas, de su historia geológica, así como del aislamiento geográfico, que, en algunas partes, data desde hace aproximadamente 14 millones de años (Arriaga, 1994). Además de esto, la composición y estructura de la vegetación se encuentra impactada en diversos grados debido a las prácticas cotidianas de los asentamientos humanos, donde la actividad de rancherías se desarrolla en torno a la crianza de animales domésticos ocasionando cambios en el paisaje de manera gradual pero constante en el tiempo (León de la Luz *et al.*, 2012).

En esta mezcla de condiciones en el área de estudio, el establecimiento, la distribución y la regeneración de especies puede verse comprometido o limitado. Tal es el caso de *Quercus brandegeei*, una especie endémica y amenazada que se encuentra dentro de la lista roja de encinos (The Red List of Oaks 2020) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN siglas en inglés). Las poblaciones de este árbol tienen un área muy restringida de ocurrencia y ocupación, ya que presenta una distribución en pequeños parches a lo largo de las riberas de los arroyos de esta región. Estudios de campo previos a este trabajo indicaron una muy limitada regeneración, ya que no observaron árboles de menos de 100 años en el campo (León de la Luz y Coria, 1992; Cavender-Bares *et al.*, 2015; Denvir, A. y Westwood, M., 2016; Carrero *et al.*, 2020). Se considera que algunas causas potenciales de la regeneración limitada de la especie podría ser la depredación, enfermedades, inviabilidad de las bellotas, incremento de la temperatura y sequía o el abuso en el consumo humano y de ganado doméstico. Sin embargo, es hasta el desarrollo de este proyecto que se iniciaron con estudios formales y cuantitativos sobre la morfología de las bellotas, capacidad de germinación y crecimiento de las plántulas en condiciones de invernadero. Así como un estudio prospectivo sobre los usos y manejo de la especie por la población local. Con este trabajo se proporciona información básica que contribuirá para su aprovechamiento y conservación.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Especie de estudio

*Quercus brandegeei* Goldman, es un encino de hoja perenne, endémico de la Región del Cabo, Baja California Sur. Es una especie intolerante a las temperaturas bajas, por lo que no se distribuye en altitudes mayores a los 800 metros. Ubicándose en los tipos de vegetación conocidos como bosques de galería o vegetación xero-riparia, a lo largo de los cauces de los principales cañones y cañadas (Muller, 1961; Cavender-Bares et al., 2015). *Q. brandegeei* es una de las siete especies dentro del clado del roble vivo (*Quercus* subsección *Virentes*), que incluye al encino *Q. fusiformis* con la cual de acuerdo a Cavender-Bares et al., (2015) forman el clado sudoeste que es hermano de todos los demás *Virentes*, siendo *Q. brandegeei* la especie de distribución más occidental. Con un tronco moderado o grande de entre 18-20 m de altura con corteza gris surcada y copa amplia y extendida. Muestra un tipo de polinización anemófila, cuyas flores masculinas y femeninas se presentan en el mismo pie y en inflorescencias separadas (monoicas). Las flores masculinas se disponen en amentos colgantes y las femeninas se disponen solitarias o en grupos de dos o tres. En esta especie se ha observado un ciclo de maduración del fruto anual principalmente, completándose la maduración en el otoño e invierno (Figura 2).

Además, es una especie que presenta vecería, es decir, alternancia entre producciones abundantes y reducidas o incluso nulas de bellotas. Posee un gran polimorfismo tanto en las hojas como en sus frutos, mostrando diferencias, principalmente, en la forma, coloración y en las dimensiones. Las bellotas de 3 a 4.5 cm de largo, de 1 a 1.2 cm de ancho, fusiformes, el ápice con un pico atenuado, glabras y de color marrón opaco. Ocupa sitios generalmente más rocosos y bien drenados que los otros miembros del grupo, un carácter que comparte con *Q. fusiformis*, su pariente más cercano del cual se menciona que divergieron hace unos 5.1 millones de años (Muller, 1961; Cavender-Bares et al., 2015).



**Figura 1.** Imagen que muestra la especie de estudio *Quercus brandegeei*.

## **2.2 El noroeste de México**

La geomorfología de la Región del Cabo está ligada con la historia geológica de la Península, en estudios estratigráficos, paleontológicos y basados en la teoría de tectónica de placas se ha puesto en evidencia la compleja historia geológica del noroeste de México. Estos estudios sugieren que la Península se encontraba unida al macizo continental antes del Mioceno temprano (22-18 m. a.; Carreño y Smith, 2007; Mulcahy y Macey, 2009). Durante la época del Mioceno Temprano casi toda la Península quedó sumergida, a excepción de tres regiones batolíticas: Sierra San Pedro Mártir (Baja California Norte), la Península del Vizcaíno y la Región del Cabo (Axelrod, 1958 en Carbajal, 2013). Durante el Mioceno Medio la Región del Cabo se desprende de la costa occidental del continente permaneciendo aislada durante largos periodos, y es durante el Plioceno, cuando se adhiere temporalmente a la Península. En esta época, se reinicia la separación de la Península y la Región del Cabo se vuelve a separar (Murphy, 1983, Breceda, 1994). Durante la época del Pleistoceno la Región del Cabo se une definitivamente a la Península. Dichos eventos orogénicos, dieron lugar a la formación de dos



conjuntos montañosos: una sierra ubicada al sureste conocida como la Sierra de la Trinidad y un macizo que abarca varias serranías conocida como Sierra La Laguna (Arriaga y Ortega, 1988).

### **2.3 Aspectos Ecológicos**

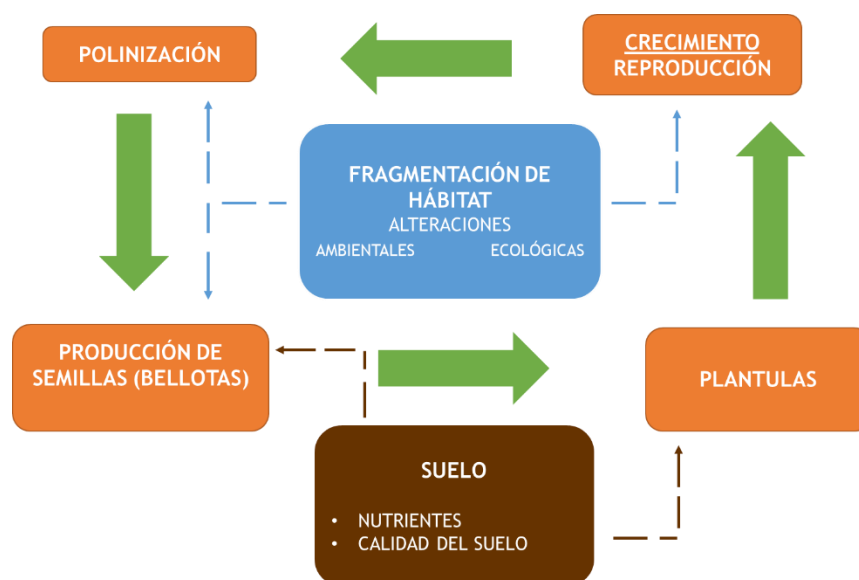
A pesar de la gran capacidad que tienen para distribuirse por prácticamente todo el territorio, los encinos de México aún requieren ser investigados, tanto en campo como experimentalmente, para conocer, entender y buscar soluciones sobre su regeneración, la cual sigue siendo poco comprendida. El término regeneración puede definirse como el proceso mediante el cual una población puede volver a poblar un área o parte de ella. Desde el punto de vista forestal, la regeneración natural es el proceso por el cual una masa forestal es sustituida por otra, sea de una o de diferentes especies, y de ella depende la continuidad, permanencia y composición de especies del bosque (Zavala, 2015).

Los encinos presentan tres distintos mecanismos o métodos de regeneración: a) Propagación o regeneración mediante extensión vegetativa (asexual), mediante este tipo de propagación se obtiene uniformidad genética, restricción ecológica de la planta y una tendencia a alta mortandad ante cambios ambientales bruscos provocados por algún disturbio ya sea natural o de carácter antropogénico. b) Reproducción o regeneración por semilla (sexual), este mecanismo tiene como resultado la variabilidad genética, lo cual favorece las respuestas de las poblaciones ante la selección natural. c) Regeneración mediante la combinación de los mecanismos anteriores (Zavala, 2015). Diversas poblaciones dependen casi exclusivamente de la propagación como mecanismo de regeneración, en ocasiones presentan regeneración por semilla de manera complementaria. Otras especies, por el contrario, su principal mecanismo de regeneración es por semilla y la emisión de rebrotes es esporádica, lo cual depende de las condiciones ambientales y de las propias especies. Los métodos de regeneración se pueden determinar mediante observaciones sobre la producción de plántulas y su establecimiento, así como la sobrevivencia, crecimiento de plántulas o rebrotes y de las características de producción de bellotas (Sosa y Puig, 1987; Zavala y García, 1997; Zavala, 2015).

El fruto de los encinos es comúnmente conocido como bellota, se compone de una nuez envuelta en una cubierta rígida (Mc Vaugh, 1974) asociada a una cúpula (involucro en forma de copa) alrededor de la base de la nuez madura y conectada a ella. La bellota de los encinos contiene una semilla

carente de endospermo, con un embrión recto y con dos cotiledones. Las semillas se caracterizan por ser recalcitrantes, por lo que necesitan retener un contenido de humedad relativamente alto para continuar siendo viables. Aun cuando estas semillas sean almacenadas bajo condiciones húmedas, su periodo de vida es muy corto (Zavala y García, 1996), en algunas especies sus bellotas pierden su viabilidad rápidamente bajo condiciones secas por lo que se recomienda que el contenido de humedad no sea menor de 20-50% en los encinos blancos (Romero et al., 2002).

Las principales etapas del proceso de regeneración sexual de los encinos son: a) floración, b) desarrollo y crecimiento de frutos y semillas, c) diseminación y dispersión, d) germinación, e) crecimiento y establecimiento de plántulas y f) madurez reproductiva (Zavala, 2015). La regeneración de encinos puede ser afectada por distintos factores bióticos (depredación, competencia, organismos patógenos y enfermedades, pisoteo por fauna silvestre y domesticada) o abióticos (exceso de humedad, sequía, temperaturas extremas, nivel de nutrientes en el suelo). A su vez también puede depender de las mismas características intrínsecas de las propias especies de encinos: forma de crecimiento, longevidad, mecanismos de propagación natural, patrones de mortalidad o sobrevivencia, edad, producción de bellotas (Figura 1).



**Figura 2.** Fases de la regeneración natural de encinos, factores asociados, eventos y procesos.

Los encinos producen de manera sincrónica y masiva frutos o bellotas de todas las plantas de una región en periodos irregulares que van de 2 a 9 años. Estos periodos son conocidos como años semilleros (en español) y más comúnmente como mast o masting, en inglés. La hipótesis más reciente para explicar estas diferencias en producciones de frutos es la limitación del polen (polen escaso). La producción masiva de bellotas en lapsos intermitentes de varios años tiene repercusiones en toda la red trófica, tanto en poblaciones de consumidores directos (mamíferos y aves principalmente) como en la de los consumidores indirectos (Rodríguez-Acosta y Combes, 2020).

Por otra parte, los principales factores que dan lugar a procesos de limitación en el establecimiento corresponden a la intensidad lumínica, la disponibilidad de agua y de los nutrientes (Kitajima y Fenner, 2000; Porter y Rose, 2005). Concretamente, en escenarios secos y semiáridos, la regeneración natural de la mayoría de las especies forestales se ve afectada, principalmente, por los periodos frecuentes de intensa sequía (León de la Luz *et al.*, 2000; Ackerly, 2004; De Luis *et al.*, 2010;). Además, los múltiples factores que conforman el nicho de regeneración pueden tener efectos contrapuestos sobre el reclutamiento de las plantas y puede diferir entre años, o entre áreas con distintas condiciones ambientales (Marañón *et al.*, 2004; Maestre *et al.*, 2004). Este desajuste entre la respuesta de los diferentes procesos demográficos frente a las características ambientales se ha observado en trabajos como el de Cavender-Bares *et al.*, (2015), en el cual realizan un estudio amplio para examinar la especiación y evolución de nichos para el grupo de encinos vivos americanos (*Quercus* subsección *Virentes*) en el cual se encuentra *Q. brandegeei*. En el mencionado estudio, examinaron los rasgos morfológicos de las hojas, forma de crecimiento (altura del árbol) y vulnerabilidad a la congelación para examinar los cambios en los rasgos funcionales que están vinculados a nichos ecológicos y climáticos. Señalan que en comparación con sus grupos hermanos, *Q. brandegeei* conserva nichos ecológicos, pero divergen en nichos climáticos demostrando vulnerabilidad a la congelación. Se menciona también que, debido a su muy estrecha delimitación y aislamiento geográfico, indica una baja diversidad genética y que, debido a la escasa presencia de precipitación durante el año, el reclutamiento sea muy limitado.

Estudiar el ciclo de reclutamiento de las especies permite cuantificar la disminución en la producción de propágulos en cada etapa demográfica para identificar colapsos en las fases de la regeneración natural de las especies. Una población que se encuentre limitada demográficamente presentara

dificultades al momento de utilizar los hábitats/micro-hábitats disponibles donde pudiera tener éxito en su establecimiento. De este modo, el estudio del ciclo de reclutamiento permite identificar poblaciones con valores altos de fructificación y calidad adecuada para la recolección de semillas que posteriormente se utilizaran en programas de restauración. Incluso, el estudio de las diferentes etapas en un gradiente ambiental, en el que se dan variaciones altitudinales, puede llegar a ser muy útil en la predicción de los cambios en las respuestas de las plantas ante el calentamiento global (Cavender-Bares *et al.*, 2011; 2015; Center *et al.*, 2016; Ramírez-Valiente y Cavender-Bares *et al.*, 2017; Llanderal *et al.*, 2017; Badano *et al.*, 2018).

Los efectos de procedencia, también conocidos como “efectos maternos”, influyen de diferente manera sobre las diferentes etapas del ciclo de vida de las plantas (Bischoff y Müller-Schärer, 2010, E. Pastor *et al.*, 2018). Etapas tempranas como la germinación y el establecimiento, consideradas como las más susceptibles (Bischoff *et al.*, 2006), no son las únicas que reciben esta influencia, ya que los efectos pueden llegar a perdurar e influir sobre el comportamiento de los adultos e incluso sobre las siguientes generaciones (Weiner *et al.*, 1997; Byers *et al.*, 1997). Los efectos maternos pueden ser de origen genético, los cuales, se transmiten directamente mediante la transmisión de orgánulos citoplasmáticos durante la partición celular (ADN mitocondrial y del cloroplasto), el endospermo o mutaciones hereditarias de los cromosomas, y los efectos no genéticos, transmitidos mediante información no genética que incluyen tanto los efectos provocados por factores ambientales abióticos o bióticos como aquellos en los que las condiciones ambientales han provocado cambios heredables en la expresión de los genes (proceso denominado epigenética) (Mousseau y Fox, 1998).

El tamaño de la semilla es uno de los efectos maternos más estudiados ya que al constituir la cantidad de reservas disponibles durante las primeras fases de vida, llega a condicionar los procesos posteriores de germinación, establecimiento y desarrollo, así mismo, las condiciones ambientales experimentadas por las plantas madre, la posición de las semillas en el dosel o la fenología de la floración son algunos de los factores no genéticos que pueden llegar a influir en el tamaño de la semilla (Donohue y Schmitt, 1998). La variabilidad del tamaño de la semilla según la procedencia varía entre especies, entre poblaciones dentro de la misma especie, e incluso dentro del mismo individuo (Márquez *et al.*, 2005; Moles *et al.*, 2005; Center *et al.*, 2016). A pesar de que un mayor número de estudios han observado que el tamaño de la semilla está relacionado positivamente con el porcentaje

y la velocidad de germinación, la supervivencia o con el posterior crecimiento y desarrollo de las plántulas de encinos (Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo, 2011, Gómez, 2004; Ramírez-Valiente et al., 2009; Villar-Salvador et al., 2010; Llanderal et al., 2017), existen otros trabajos que muestran que el efecto del tamaño de la semilla no es tan evidente (Pastor y Bonet, 2005; Flores, 2005; Delgado et al., 2008; Gao-Lin et al., 2011).

Otro factor importante que afecta al comportamiento de las plántulas ante determinadas condiciones ambientales son las características de la población de la que procede la planta madre, como el tipo de hábitat en el que se encuentra (Balaguer *et al.*, 2001). En muchas especies ocurre el proceso denominado “adaptación local”, en el que se propone que entre mayor distancia geográfica haya con la población de procedencia de las semillas existen mayores efectos negativos sobre la supervivencia y el desarrollo de la plántula, debido tanto a las diferencias ambientales como al aislamiento genético. Sin embargo, también se han observado divergencias entre poblaciones a escalas geográficas de mayor resolución, estando más relacionado el grado de adaptación con la homogeneidad de los hábitats que con la distancia geográfica; es decir, poblaciones que se encuentran más alejadas pero que presentan hábitats similares pueden llegar a tener una mayor adecuación que las poblaciones vecinas con hábitats distintos (Keller y Kollman, 1999; Galloway y Fenster, 2000; Montalvo y Ellstrand, 2000; Cavender-Bares *et al.*, 2011; 2015).

En este marco conceptual, el presente trabajo pretende contribuir al conocimiento básico de la ecología de regeneración del encino arroyero, y comprender la influencia de factores ambientales, como la región o el efecto madre, que a su vez aporte elementos para un mejor manejo y conservación de esta especie de gran relevancia ambiental y biológica.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Nuestro país cuenta con una gran riqueza de especies en lo que a flora se refiere. Las especies forestales constituyen una gran importancia económica, social y ecológica, pero particularmente existen especies que merecen mucha atención por parte de quienes se preocupan por la conservación biológica, pues el hecho de que se distribuyan solo en áreas restringidas y, en muchos casos, en poblaciones pequeñas, las hacen vulnerables frente a la reducción drástica de los hábitats, este es el caso de *Quercus brandegeei*, un encino endémico que se encuentra en la Región del Cabo en el estado de Baja California Sur, México y que está en peligro de extinción de acuerdo con la lista roja de la UICN.

El encino arroyero, como su nombre lo indica, se distribuye en las riberas de los arroyos con una distribución muy limitada y en elevaciones de no más de 800 msnm que corresponden a los tipos de vegetación de selva baja caducifolia y matorral sarcocaula. Tienen una función ecológica de gran relevancia, pues son el hábitat y alimento de numerosas especies de fauna silvestre, también ayudan a la captura de carbono, protegen y estabilizan el ecosistema contra los huracanes y aportan materia orgánica al suelo. Además, todas estas interacciones y funciones de los encinos son aprovechadas por la sociedad, destacando que, entre los principales aprovechamientos de la especie, se encuentra el consumo de sus bellotas para uso comestible y alimento para animales domésticos de las comunidades locales.

A pesar de que una gran parte de los individuos de esta especie se localizan dentro del Área Natural Protegida “Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna”, en la cual, numerosas investigaciones han realizado en torno al estudio de diferentes taxones y ecológicos (Arriaga y Ortega, 1988; Ortega et al., 1989; Arriaga, 1994; León de la Luz et al., 1994, 2000; León de la Luz y Domínguez-Cadena, 2010; Ortega-Rubio et al., 2013; Breceda et al., 2014, 2015), pocos trabajos han sido dirigidos al estudio de los encinos; en la actualidad, aún queda mucho por conocer sobre el comportamiento de estas especies, como su fenología, su abundancia, sus requerimientos ecológicos, su interacción con las demás especies y con las comunidades locales las cuales están estrechamente relacionadas por los usos y beneficios que les proveen.

En reportes recientes se ha puntualizado que la estructura de edad de *Q. brandegeei* está sesgada hacia arriba con individuos añosos y pocos o ninguna presencia de individuos juveniles. Se observan numerosos brotes de raíces vegetativas directamente conectados a los árboles madre, suponiendo que una parte de estos brotes alcance la madurez, pareciera que estos brotes de raíz son aparentemente la única estrategia reproductiva de este árbol, por ello es muy relevante estudiar la producción de bellotas, su viabilidad y desarrollo.

Este estudio forma parte de un proyecto integral en colaboración entre el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y The Morton Arboretum, en el marco del Global Tree Conservation Program el cual agrupa a especialistas del género *Quercus* en México, y se han unido en una estrategia diseñada para prevenir la extinción de especies de encinos mediante la investigación, manejo sostenible y conservación de los encinares de América, y en este caso en particular de México. Por lo anterior, los objetivos planteados en esta investigación pretenden dar algunas respuestas en torno a las posibles causas de la falta de reproducción sexual de la especie, particularmente a través del análisis de la producción y germinación de sus semillas. Asimismo, se pretende estudiar el efecto de la procedencia en la morfología de las bellotas y en el crecimiento de las plántulas en diferentes localidades, así como conocer e indagar sobre la relación que tiene la especie con las comunidades locales.

### **3.1 Preguntas de Investigación**

¿Hay producción de bellotas viables?

¿Las plántulas de encino arroyero sobreviven en sus primeras etapas de crecimiento?

¿Existen diferencias entre el morfotipo de las bellotas, tasas de germinación y crecimiento de plántulas de *Q. brandegeei* provenientes de tres regiones?

¿Cuáles son los usos y aprovechamientos del encino arroyero (*Quercus brandegeei*) en el área de estudio?

#### 4. HIPÓTESIS

Debido a la distribución en parches y al aislamiento geográfico de las poblaciones del encino arroyero (*Quercus brandegeei*), se espera encontrar diferencias en la morfología y tasas de germinación de las bellotas y en el crecimiento de las plántulas en las diferentes procedencias.



## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

- Evaluar el morfotipo de las bellotas, la tasa de germinación y el crecimiento inicial de las plántulas dentro y entre poblaciones del encino arroyero (*Quercus brandegeei*) de la Región del Cabo, B.C.S., México.

### 5.2 Objetivos particulares

- Determinar en qué medida el morfotipo de las bellotas se ve afectada por los orígenes geográficos tomando como base su longitud, ancho, peso y volumen.
- Evaluar el porcentaje de germinación y la velocidad germinativa de las poblaciones de *Q. brandegeei* en condiciones de invernadero.
- Evaluar y comparar el crecimiento inicial de las plántulas de encino arroyero.
- Conocer los usos e información clave sobre el aprovechamiento del encino arroyero en el área de estudio.

## 6. MATERIALES Y MÉTODO

### 6.1 Área de estudio

La Región del Cabo de Baja California Sur se localiza en el extremo meridional de la península de Baja California y del estado de Baja California Sur, México. La superficie es de aproximadamente 8,500 km<sup>2</sup>, la cual, comprende la totalidad del municipio de Los Cabos y parcialmente el de La Paz, encontrándose rodeada hacia el Este por el Golfo de California y al Oeste por el Océano Pacífico. Esta región se encuentra constituida principalmente por un continuo de serranías graníticas que se extienden de Norte a Sur, integrado por Las Cacachilas, La Trinidad, La Victoria, La Laguna y San Lázaro, siendo la sierra La Laguna el sitio con la mayor elevación, alcanzando los 2100 msnm (León de la Luz et al., 1999; CONANP 2004; Arriaga, 1998, 2010).

Los tipos de suelo que se encuentran en el área de estudio son: En Sierra La Laguna son de textura gruesa, siendo la mayor parte de ellos de escasa profundidad y poco desarrollo por lo abrupto de las pendientes, son abundantes en colores claros y pobres en materia orgánica, con excepción de los suelos que soportan al encinar y al bosque de pino encino. En las llanuras y mesetas se encuentran regosoles eútricos que se han formado por el material acarreado de la región montañosa, son profundos y de poco desarrollo. En los lechos de los arroyos dominan los fluviosoles eútricos que son producto del material transportado por el flujo del agua, generalmente son arenas con rocas de cantos rodados (Maya, 1991; 2012; INEGI, 2016).

Los tipos de clima según Köppen modificados por García (2004) en la Región del Cabo son de Tipo B (Secos) y C (Templados subhúmedos con lluvias en invierno). La temperatura y humedad ambientales presentan algunas diferencias entre las dos vertientes, principalmente a nivel de franja costera, siendo la costa del Pacífico más templada que la del Golfo de California, debido a que en el Pacífico se mantiene una influencia de la fría corriente de California (González *et al.*, 2010).

Se considera que la flora de esta región ha permanecido virtualmente aislada, o con un bajo intercambio de flora con el continente, desde hace miles de años, hecho que ha favorecido el desarrollo de un nivel de endemismos considerable. Los tipos de vegetación en esta investigación y que se encuentran en la Región del Cabo se describen a continuación:

Selva Baja Caducifolia (SBC): esta comunidad se encuentra en las superficies medias de las zonas montañosas, inicia su presencia a 300 m en el extremo meridional de la península y 500 m en el extremo norte y termina entre los 1,000-1200 m donde inicia el bosque de encinos. Entre las especies características de SBC que se encuentran en el sitio de estudio: *Lysiloma divaricatum*, *L. candida*, *Erythrina flabelliformis*, *Plumeria acutifolia*, *Bursera microphylla*, *Albizia occidentalis*, *Esenbeckia flava*, *Jatropha cinerea*, *J. vernicosa*, *Calliandra brandegeei*, *Mimosa brandegeei* (Morelos, 1988; Rzedowski, 2006; León de la Luz *et al.*, 2012; 2014).

Bosque de Galería o Vegetación Riparia: también conocida como vegetación de “fondo de cañada”, este tipo de comunidades vegetales se ubican a lo largo de los cauces de los principales cañones y cañadas subsidiarias, desde aproximadamente los 900 m de altitud y hacia la desembocadura de éstos a través de los cauces de arroyos por donde fluye agua todo o la mayor parte del año. Esta comunidad vegetal está caracterizada por el güeribo (*Populus brandegeei* var. *glabra*) y palmares como la palma negra o palmilla (*Erythra brandegeei*) y la palma real o palma de hoja (*Washingtonia robusta*). Además, es en este tipo de vegetación donde se encuentran distribuidos los individuos del encino arroyero o encino bellotero (*Quercus brandegeei*), el cual ocupa las zonas más bajas de esta agrupación, propiamente al nivel de la selva baja caducifolia. Las especies herbáceas están pobremente representadas, y proceden indistintamente de comunidades vegetales adjuntas (León de la Luz, 1988, Breceda, 1994).

## 6.2 Diseño experimental

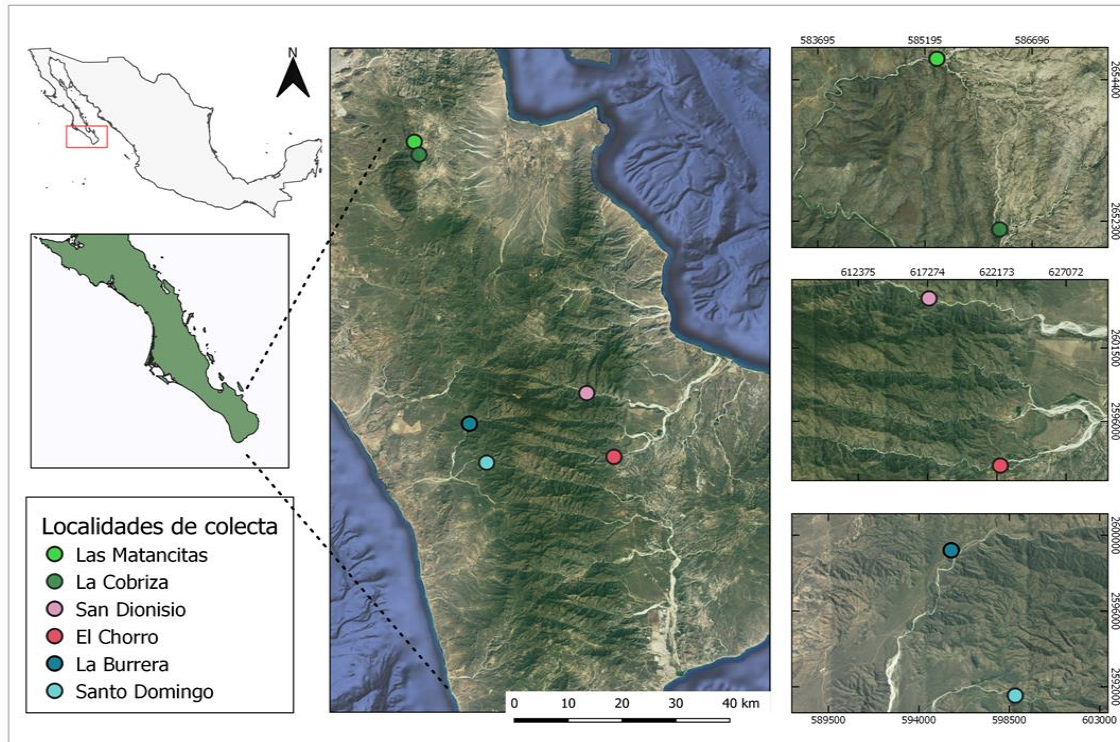
Con la información reportada sobre la distribución de las poblaciones de *Q. brandegeei* (Cavender-Bares *et al.* 2015, UICN Red List, 2020), se determinaron las poblaciones donde el común denominador fuera la presencia de la especie *Q. brandegeei*. Una vez localizadas, se llevaron a cabo recorridos de prospección de campo para determinar las poblaciones más adecuadas donde realizar el estudio, posteriormente y con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados, se eligieron tres regiones, las cuales fueron denominadas Golfo con dos localidades: San Dionisio (SD) y El Chorro (EC) ubicadas sobre la vertiente del Golfo de California, la segunda región fue denominada Pacífico con dos localidades: La Burrera (LB) y Santo Domingo (SDO) ubicadas sobre la vertiente del océano Pacífico.

Finalmente se seleccionaron dos localidades ubicadas en la zona más septentrional de la distribución de la especie, la cual se llamó región Norte (Tabla 1).

**Tabla 1.** Datos de las localidades de colecta de semillas.

Región	Localidades	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Precipitación Total (mm)	Temperatura promedio (°C)
Golfo	San Dionisio	23.4822° N	109.7183° O	430	325.2	23.6 °C
	El Chorro	23.4411° N	109.7944° O	185	493	25.2 °C
Pacífico	La Burrera	23.5333° N	110.0744° O	460	422.1	22.1 °C
	Santo Domingo	23.4389° N	110.0694° O	400	484.2	23.7 °C
	Las Matancitas	24.0361° N	110.125° O	524	315.3	21.9 °C
Norte	La Cobriza	23.8931° N	110.1431° O	503	390.4	21.9 °C

En las localidades seleccionadas se localizaron y georreferenciaron un total de 24 individuos en fructificación (Figura 3). Se colectaron bellotas directamente del árbol madre cuando éstas se apreciaban maduras (de color café o marrón), o que fácilmente se desprendían de la cúpula. Asimismo, se colectaron bellotas del suelo bajo la copa del árbol, siempre y cuando no mostraran exceso de daño por insectos (lo cual se puede observar como pequeños orificios redondos en la bellota) o señales de pudrición o desecación. En las localidades de la región Pacífico (SD y LB) algunos árboles presentaron bellotas inmaduras de color verde a verde claro, debido a esto, la colecta de algunas bellotas maduras fue escasa.



**Figura 3.** Área de estudio en donde se observan las seis localidades de colecta de bellotas. Elaboración propia.

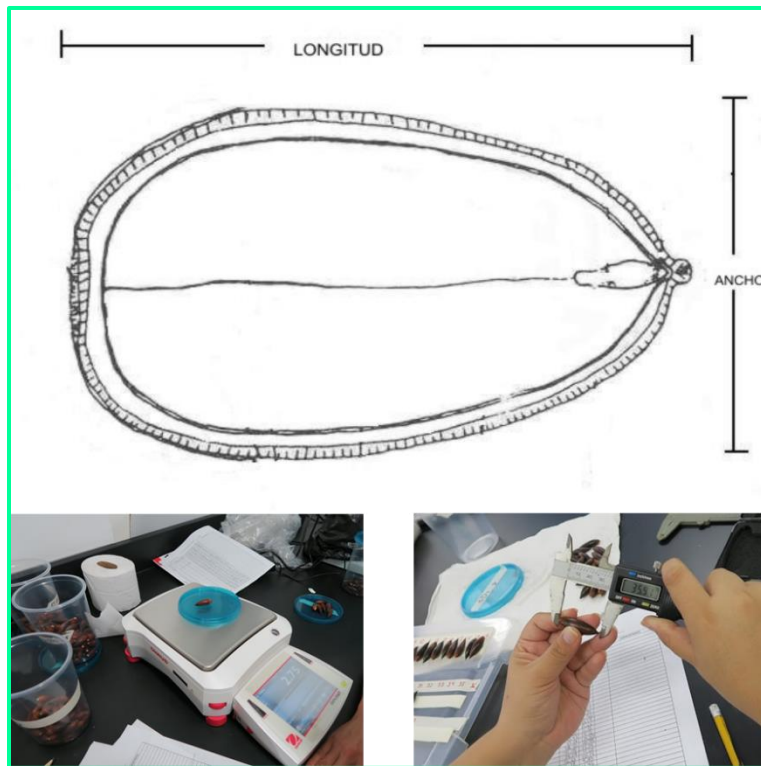
Las bellotas se almacenaron en bolsas de papel, para de esta forma evitar que la transpiración permitiera producir exceso de humedad en la bolsa, promoviendo la germinación o el enmohecimiento de las semillas. Se registró el nombre de la localidad con un código específico para cada sitio muestreado y en un número consecutivo de árbol madre para evitar confusión al momento de la medición y la siembra.

### 6.3 Morfología de bellotas

Las bellotas se trasladaron al Laboratorio de Ecología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), donde realizamos la selección de bellotas mediante pruebas de flotabilidad. Este método consiste en descartar las bellotas que se observen flotando en el recipiente. La flotabilidad de las bellotas es un indicador de una posible destrucción del endospermo por insectos o por pudrición por hongos. Se establecieron 24 bloques de bellotas procedentes de los 24 árboles progenitores, 22 bloques fueron conformados por 50 bellotas y solo dos bloques de bellotas

pertenecientes a la localidad de Santo Domingo contaron con distintas cantidades de bellotas (SDO-17 con 39, y SDO-18 con 22 bellotas), haciendo un total de 1,161 bellotas.

Se realizaron mediciones de la longitud (mm), ancho (mm) con un vernier digital (Figura 4). Para calcular el volumen (V) de cada bellota se asumió la forma de un elipsoide utilizando la fórmula  $V = (4/3) \pi a^2 b$ , donde a es el ancho y b es la longitud, por último, se registró el peso (g) de las bellotas en una balanza analítica OHAUS modelo EX2202.



**Figura 4.** Imagen que muestra la forma como se midieron las variables longitud, ancho y peso.

#### 6. 4 Germinación

Las bellotas se sumergieron en agua durante 12 horas para hidratarlas e inducir la germinación y después se lavaron y desinfectaron con agua e hipoclorito de sodio con una concentración de 1% durante 5 minutos. Transcurrido el tiempo, se escurrieron y una vez secas se sembraron para su germinación el 17 de noviembre del 2018 en charolas de germinación con un sustrato conformado por vermiculita 50%, *peat-moss* 25% y perlita 25%. Una vez conformado el bloque de charolas se

mantuvo con riego cada tercer día para mantener el sustrato con humedad constante, y se mantuvieron en el laboratorio para su monitoreo con el propósito de registrar la germinación (Figura 5).



**Figura 5.** Imagen que muestra las charolas de germinación.

Una vez observada la emergencia de la radícula en la mayoría de las bellotas, se trasplantaron en bolsas de invernadero de 16 x 15 cm con el mismo tipo de sustrato, para su posterior traslado a un invernadero del campo agrícola del CIBNOR. Durante aproximadamente 8 meses las bellotas se mantuvieron con humedad constante con periodos de riego cada tercer día, así como también se registró la emergencia de plúmula (tallo), el cual fue tomado como evidencia de germinación (Figura 6).



**Figura 6.** Imagen que muestra el registro en la emergencia de la plúmula tomada como germinación.

Después de llevar al campo agrícola del CIBNOR los bloques de germinación, en los días posteriores ocurrió un evento de depredación por mapaches, del total de bellotas inicial (1,161) se restaron 30 por este evento, quedando un total de 1,131 bellotas.

### **6. 5 Crecimiento de plántulas**

Se monitoreó el crecimiento de las plántulas en los bloques de germinación, en dos periodos de tiempo; una primera medición a los 103 días, y una segunda medición a los 178 días. Con una regla graduada a 30 cm, iniciando desde la base del tallo hasta el ápice apical se registró la altura del tallo (mm); el diámetro basal (mm) se registró con ayuda de un vernier digital y se contabilizó el número de hojas (Figura 7).





**Figura 7.** Imagen que muestra la forma como se midió el crecimiento de las plántulas.

## 6. 6 Entrevistas

Con el fin de obtener información sobre la percepción de la población local en torno a los usos y conocimientos sobre el encino arroyero, se llevaron a cabo 8 entrevistas semiestructuradas, a manera de dialogo, dirigidas a personas de las comunidades cercanas a los sitios de estudio en las tres distintas regiones (Norte, Pacífico y Golfo). La selección de los entrevistados, se basó en el tiempo de residencia en el área (mayor a 10 años). El cuestionario (Anexo 3) sirvió de guía a la entrevista y la información proporcionada fue recopilada de manera escrita en los formatos diseñados para ese fin. La información se agrupó en las siguientes categorías: 1) Conocimiento sobre el encino arroyero (antigüedad de los encinos, preferencia de hábitat, características de las poblaciones,); 2) Percepción sobre la presencia del encino en la región (usos, aprovechamiento, amenazas, servicios ecosistémicos); 3) Información para su conservación (estrategias de reintroducción, colecta de bellotas, germinación, crecimiento de plántulas, protección, reforestación; Figura 8).



**Figura 8.** Imágenes que muestran algunas de las entrevistas realizadas a los rancheros.

## 6.7 Análisis de datos

### 6.7.1 Análisis morfométrico de bellotas

Para analizar los datos de longitud, ancho, peso y volumen obtenidos de las bellotas, se calcularon las medidas descriptivas de cada una de ellas. Las medidas calculadas fueron: promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimo, máximo, rangos intercuartílicos, mediana y promedio en cada región; las cuales fueron representadas gráficamente con diagramas de cajas (Box Plot). Seguidamente, se analizaron las características de las bellotas utilizando modelos lineales, considerando la región o procedencia y los árboles como variables independientes.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los modelos lineales, se determinó analizar el efecto de la procedencia sobre las tallas de las bellotas tomando en cuenta la variabilidad atribuible por los árboles. Mediante un análisis de Modelos Lineales Mixtos (paquete nlme en R versión 4.0.3; R Core Team, 2020), se analizó el efecto de las regiones o procedencia como variable fija y la de cada árbol como variable aleatoria (Tabla 2). Al considerar al árbol como factor aleatorio se evitan posibles errores de pseudoreplicación (Zuur et al., 2009). En todos los modelos se utilizó la selección del modelo óptimo basada en su AIC (en inglés, Akaike's information criterion; Crawley, 2007; Zuur *et al.*, 2009, ver detalles en Anexo 2). El delta AIC ( $\Delta AIC$ ) proporciona una medida relativa de qué tan bien un modelo se ajusta a los datos en relación con otros modelos; al mejor modelo se le asigna un valor de

cero y luego los otros modelos se evalúan en relación con ese, cuanto menor es el  $\Delta AIC$ , mejor es el ajuste (Burnham y Anderson, 2002 citado en O'Donnell *et al.*, 2019).

**Tabla 2.** Parámetros usados en los modelos lineales mixtos.

Parámetros	Descripción	n
Longitud	Variable respuesta. Longitud (mm)	1161
Ancho	Variable respuesta. Ancho (mm)	1161
Peso	Variable respuesta. Peso (g)	1161
Volumen	Variable respuesta. Volumen (cm <sup>3</sup> )	1161
Región	Regiones de procedencia (G, N, P). Tratados como efecto fijo	3
(1 árbol)	24 árboles. Tratados como efecto aleatorio	24

### 6.7.2 Análisis de la germinación

Los efectos de la procedencia materna (Región) sobre las curvas de germinación de las bellotas se analizaron ajustando un modelo de regresión no lineal de tipo sigmoideo (paquetería “drc” en R versión 4.0.3; R Core Team, 2020). El modelo se describe a continuación:

$$G(t) = \frac{G_{max}}{1 + \exp(b(\log(t) - \log(t_{50})))} \quad (1)$$

Dónde:

$G(t)$  = Germinación acumulada en el tiempo  $t$

$G_{max}$  = Germinación máxima cuando  $t$  se acerca al infinito

$b$  = Pendiente alrededor del punto de inflexión

$t_{50}$  = Tiempo en el que la germinación es la mitad de la  $G_{max}$ .

De esta forma en nuestro modelo la variable dependiente fue la germinación que se modeló en función del tiempo para cada procedencia (región). Se utilizó el test de hipótesis lineales generales para realizar comparaciones múltiples y observar diferencias.

**Tabla 3.** Parámetros usados en el modelo.

Parámetros	Descripción	n
Germinación	Variable respuesta.	1131
Pendiente	Pendiente alrededor del punto de inflexión	3
t50	Tiempo en el que la germinación alcanza 50%	3
Gmax	Germinación máxima cuando t se acerca al infinito	3
Región	Regiones de procedencia (Golfo, Norte, Pacífico)	3

### 6.7.3 Análisis del crecimiento

Se calcularon las medidas descriptivas: promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimo, máximo, rangos intercuartílicos, mediana y promedio en cada región, para hacer diagramas de caja (Box plot) de las variables analizadas en un periodo aproximado de 6 meses. Posteriormente, se analizaron las variables de crecimiento de las plántulas utilizando modelos lineales, considerando la procedencia (región) y los árboles como variables independientes.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los modelos lineales, se determinó analizar el efecto de la procedencia sobre las tallas de las plántulas tomando en cuenta la variabilidad atribuible por los árboles progenitores. Mediante un análisis de Modelos Lineales Mixtos (paquete nlme en R versión 4.0.3; R Core Team, 2020), se analizó el efecto de la procedencia (región) como variable fija y la de cada árbol como variable aleatoria (Tabla 4). Al considerar al árbol como factor aleatorio se evitan posibles errores de pseudoreplicación (Zuur et al., 2009). En todos los modelos se utilizó la selección del modelo óptimo basada en su AIC (en inglés, Akaike's information criterion; Crawley, 2007; Zuur et al., 2009, ver detalles en Anexo 4). El delta AIC ( $\Delta AIC$ ) proporciona una medida relativa de qué tan bien un modelo se ajusta a los datos en relación con otros modelos; al mejor modelo se le asigna un

valor de cero y luego los otros modelos se evalúan en relación con ese, cuanto menor es el  $\Delta AIC$ , mejor es el ajuste (Burnham y Anderson, 2002 citado en O'Donnell *et al.*, 2019).

**Tabla 4.** Parámetros usados en los modelos lineales mixtos.

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>n</b>
Crecimiento altura tallo	Variable respuesta. Diferencia en altura del tallo (mm) T2-T1(178 días).	591
Crecimiento diámetro tallo	Variable respuesta. Diferencia en diámetro del tallo (mm) T2-T1(178 días).	591
Diferencia número hojas	Variable respuesta. Número de hojas final	591
Región	Regiones de procedencia (Golfo, Norte, Pacífico)	3
(1   árbol)	24 árboles. Tratados como efecto aleatorio	24

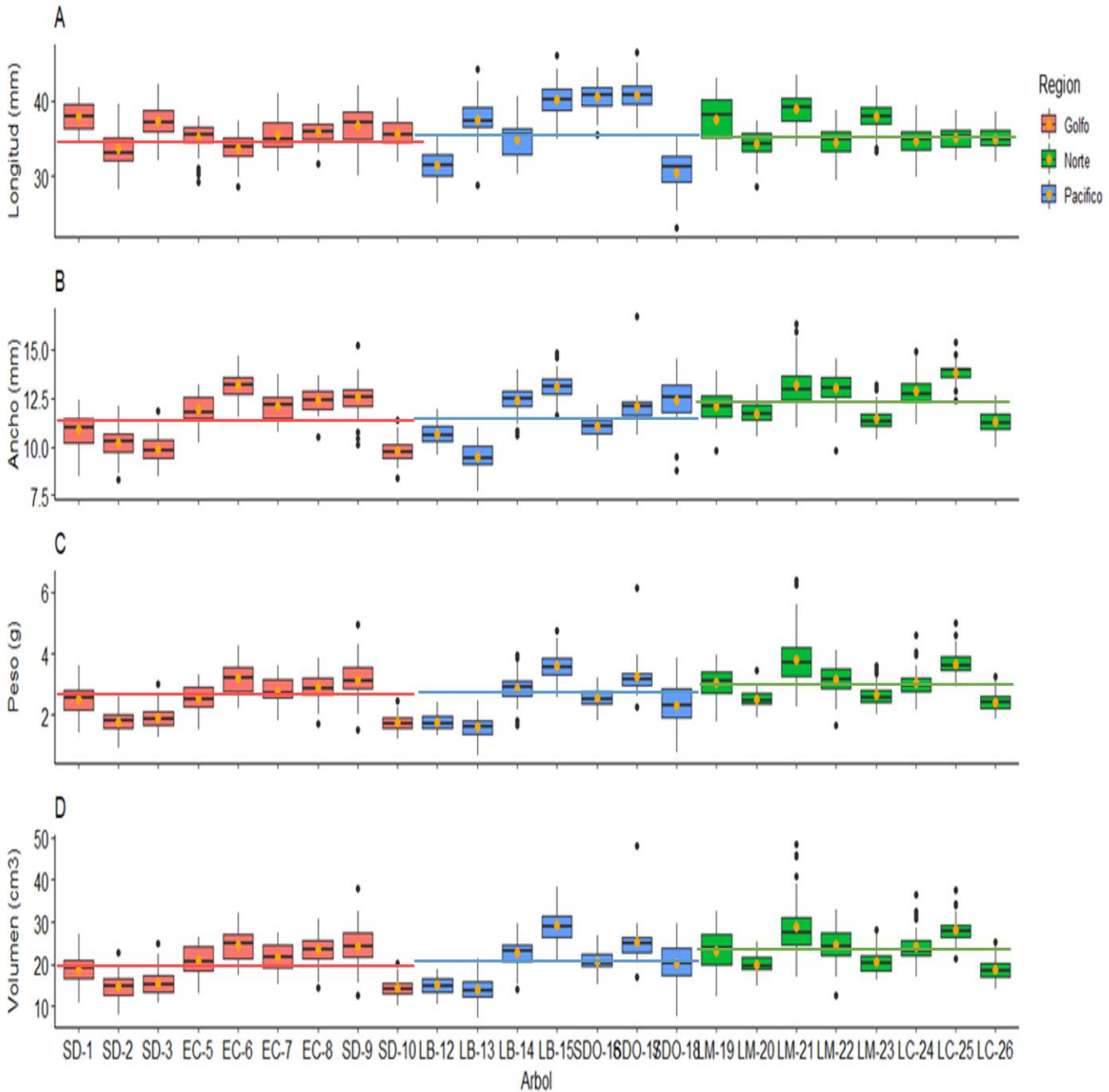
## 7. RESULTADOS

### 7.1. Morfología de las bellotas

El promedio general de las tallas de las bellotas colectadas fue de  $36.18 \pm 0.003$  mm de longitud,  $11.80 \pm 0.001$  mm de ancho. El peso fue de  $2.71 \pm 0.0006$  g y el volumen fue de  $21.45 \pm 0.005$  cm<sup>3</sup>. Los resultados morfológicos de las bellotas mostraron una gran heterogeneidad para todas las variables de acuerdo con las regiones de procedencia (Anexo 1.1 y Figura 9). Las bellotas de la región Norte presentan valores promedio más altos en ancho, peso y volumen, seguidas por las del Pacífico y finalmente las del Golfo, así mismo, fue en la región Pacífico donde se observó la mayor variación (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estadísticas descriptivas para las cuatro variables analizadas en las bellotas.

Variable	Región	Promedio	Error Estándar	Desviación Estándar	Coficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo
<b>Longitud bellota (mm)</b>	Golfo	35.76	0.12	2.56	7.16	28.13	42.17
	Pacífico	36.97	0.25	4.42	11.94	23.18	46.34
	Norte	36.03	0.13	2.70	7.49	28.65	43.30
<b>Ancho bellotas (mm)</b>	Golfo	11.43	0.07	1.40	12.29	8.29	15.25
	Pacífico	11.51	0.08	1.42	12.34	7.71	16.69
	Norte	12.42	0.06	1.17	9.39	9.80	16.35
<b>Peso bellotas (g)</b>	Golfo	2.51	0.03	0.70	27.93	0.95	4.92
	Pacífico	2.57	0.05	0.84	32.59	0.70	6.13
	Norte	3.05	0.03	0.69	22.55	1.65	6.38
<b>Volumen bellotas (mm<sup>3</sup>)</b>	Golfo	19.89	0.24	5.14	25.85	8.16	38.04
	Pacífico	20.99	0.35	6.23	29.70	7.16	47.91
	Norte	23.57	0.26	5.24	22.24	12.31	48.49



**Figura 9.** Gráficos de cajas que muestran el promedio de (A) Longitud (mm), (B) Ancho (mm), (C) Peso (g) y (D) Volumen (cm<sup>3</sup>) de las bellotas de los 24 árboles en las tres diferentes regiones. Se presenta el rango intercuartílico:  $Q3 - Q1 = (50\%$  de los datos), las barras de error representan el 10% y el 90% de los valores, líneas horizontales negras = medianas de cada árbol, puntos en naranja = promedio de cada árbol y las líneas de color = promedio general de cada región.

De acuerdo a los modelos lineales, las bellotas presentaron una muy alta heterogeneidad en sus tallas, observándose que esta variabilidad principalmente fue explicada por el efecto de los árboles progenitores (Tabla 6).

**Tabla 6.** Modelos utilizados para probar el efecto de la procedencia en el tamaño de las bellotas (longitud, ancho, peso y volumen) de *Q. brandegeei* (n= 1161).

<b>Modelos lineales: Longitud de las bellotas</b>				
<b>Modelo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>Error Residual</b>	<b>P</b>
<b>Longitud ~ Región</b>	0.02308	0.02139	3.205	<0.001
<b>Longitud ~ Localidad</b>	0.09818	0.09428	3.083	<0.001
<b>Longitud ~ Árbol</b>	0.5485	0.5394	2.199	<0.001
<b>Modelos lineales: Ancho de las bellotas</b>				
<b>Ancho ~ Región</b>	0.1061	0.1046	1.332	<0.001
<b>Ancho ~ Localidad</b>	0.2602	0.257	1.213	<0.001
<b>Ancho ~ Árbol</b>	0.7155	0.7097	0.7582	<0.001
<b>Modelos lineales: Peso de las bellotas</b>				
<b>Peso ~ Región</b>	0.1015	0.09992	0.7312	<0.001
<b>Peso ~ Localidad</b>	0.1729	0.1693	0.7024	<0.001
<b>Peso ~ Árbol</b>	0.6443	0.6371	0.4643	<0.001
<b>Modelos lineales: Volumen de las bellotas</b>				
<b>Volumen ~ Región</b>	0.07819	0.0766	5.489	<0.001
<b>Volumen ~ Localidad</b>	0.1624	0.1588	5.239	<0.001
<b>Volumen ~ Árbol</b>	0.6061	0.5982	3.621	<0.001



Las comparaciones de modelos lineales mixtos para las variables longitud, ancho y volumen registradas en las bellotas de *Q. brandegeei* indicaron que no hubo un efecto de la procedencia (Región), sin embargo, en el modelo para la variable peso si se observa dicho efecto (Anexo 1.2 y Tabla 7). De acuerdo a los resultados se observa que para todas las variables morfológicas con excepción del peso la variable árbol es la que explica la mayor varianza entre las bellotas. En el caso del peso de las bellotas se muestra que tanto la región como los árboles presentan el mejor modelo, siendo la región Norte la que presenta bellotas de mayor peso (Figura 10).

**Tabla 7.** Modelos utilizados para probar la hipótesis del efecto de la procedencia en el tamaño de las bellotas (longitud, ancho, peso y volumen) de *Q. brandegeei* (n= 1161) comparando valores de AIC. Para fines de comparación, el valor de AIC más pequeño se convierte a cero y el resto de los valores relativos a él ( $\Delta$ AIC).

#	Comparación de Modelos (Longitud)	AIC	$\Delta$ AIC
<b>M1</b>	Longitud ~ Intercepto + (1   Árbol)	5230.128	0
<b>M2</b>	Longitud ~ Región + (1   Árbol)	5233.701	3.573

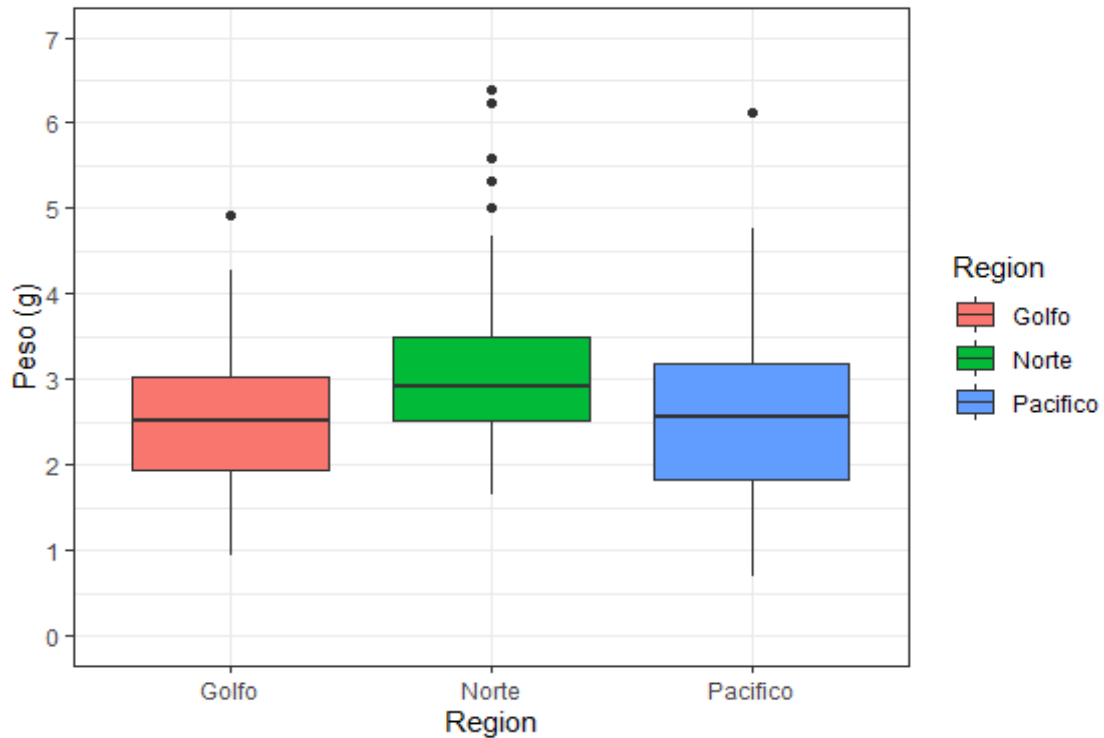
#	Comparación de Modelos (Ancho)	AIC	$\Delta$ AIC
<b>M1</b>	Ancho ~ Intercepto + (1   Árbol)	2771.911	0
<b>M2</b>	Ancho ~ Región + (1   Árbol)	2772.281	0.37

#	Comparación de Modelos (Peso)	AIC	$\Delta$ AIC
<b>M1</b>	Peso ~ Región + (1   Árbol)	1625.292	0
<b>M2</b>	Peso ~ Intercepto + (1   Árbol)	1625.368	0.076

#	Comparación de Modelos (Volumen)	AIC	$\Delta$ AIC
<b>M1</b>	Volumen ~ Intercepto + (1   Árbol)	6390.461	0
<b>M2</b>	Volumen ~ Región + (1   Árbol)	6391.192	0.731



**Figura 10.** Diagrama de cajas de bigotes del peso de las bellotas (g) por procedencia: Golfo, Norte y Pacífico (n= 450, 250, 350, respectivamente).

## 7.2 Germinación

La germinación total de bellotas de *Q. brandegeei* (N= 1,131) fue en general positiva logrando un porcentaje de germinación del 78.43%. El tiempo promedio de latencia de las bellotas, el cual consiste en el tiempo de inicio de la respuesta en la germinación después de la siembra, fue de 19 días. Aproximadamente a los 29 días se alcanzó el 50 % de la germinación, sin embargo, el período de germinación en general fue prolongado, ya que se observaron bellotas germinadas después de haber transcurrido más de 250 días (Figura 11).

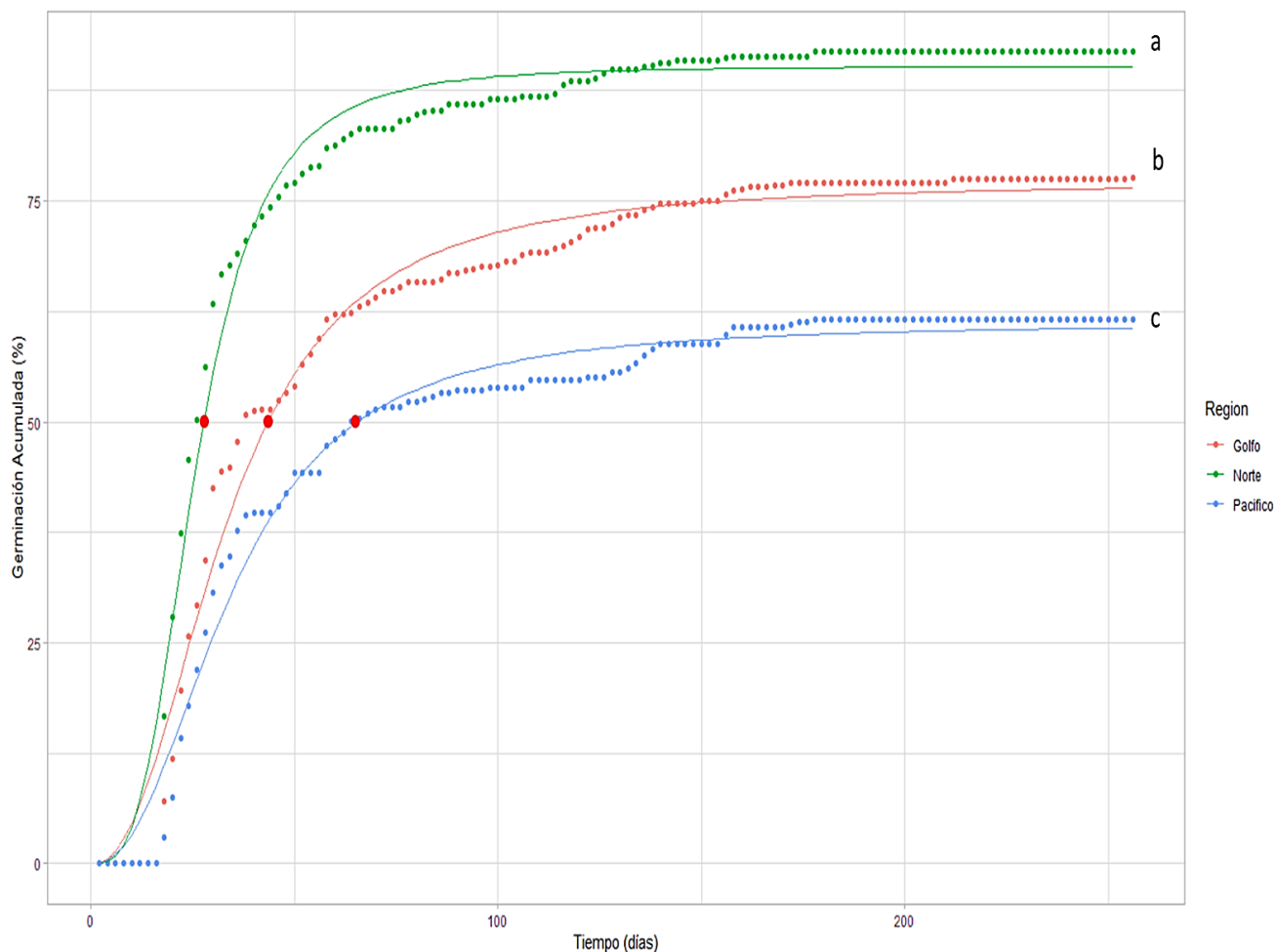
El efecto de la procedencia sobre la germinación no solo se refleja en la cantidad de semillas germinadas, sino también en el tiempo en que germinan. La variable región en los tres parámetros analizados (pendiente alrededor del punto de inflexión, capacidad germinativa y velocidad) fue significativa ( $p$ -valor < 0.05) con error residual estándar fue de 0.028. Las curvas de germinación

ajustadas por el modelo, las cuales, están dadas por la evolución en el porcentaje acumulado de la germinación en función del tiempo, representan el número de días en que se alcanza la máxima capacidad de germinación, el tiempo de latencia o lapso entre la siembra y la aparición de la primera semilla germinada (Tabla 8).

En las curvas se observa que la respuesta germinativa en la región del Norte fue mayor y más rápida que en las otras regiones, registrándose en la germinación final un 91.7 %, 77.6 % en la región del Golfo y 61.4% en la región del Pacífico respectivamente, mientras que, respecto a la velocidad de germinación de las bellotas, las procedentes de la región Norte alcanzaron el 50% en un periodo de 27 días, las del Golfo a los 43 días y las del Pacífico a los 65 días (Figura 14).

**Tabla 8.** Modelo de mejor ajuste para estimar la capacidad germinativa de las bellotas en las regiones (Golfo, Pacífico y Norte). La tabla indica aquellos factores que fueron significativos para determinar la probabilidad de germinación de las semillas. La letra que antecede a la Región indica el parámetro estimado (b = pendiente alrededor del punto de inflexión; d = capacidad germinativa y e = velocidad de germinación).

<b>Modelo de regresión no lineal: función log-logística</b>					
	<b>Estimate</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Valor Z</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>	<b>Significancia</b>
<b>b:Golfo</b>	-2.307576	0.085861	-26.88	<0.001	***
<b>b:Norte</b>	-3.195855	0.123258	-25.93	<0.001	***
<b>b:Pacífico</b>	-2.325745	0.109308	-21.28	<0.001	***
<b>d:Golfo</b>	0.771235	0.004959	155.53	<0.001	***
<b>d:Norte</b>	0.902637	0.003383	266.79	<0.001	***
<b>d:Pacífico</b>	0.612077	0.005053	121.14	<0.001	***
<b>e:Golfo</b>	33.310151	0.543805	61.25	<0.001	***
<b>e:Norte</b>	25.866368	0.312226	82.84	<0.001	***
<b>e:Pacífico</b>	34.452507	0.699556	49.25	<0.001	***



**Figura 11.** Germinación acumulada en el tiempo según la región (procedencia) de la bellota (Norte, Golfo y Pacífico). Se observan los valores y curvas ajustados por el modelo de regresión no lineal ( $n=392$ ,  $436$  y  $303$  respectivamente). Diferentes letras muestran diferencias significativas para un nivel de  $P < 0.05$  (Los puntos en rojo indican cuando la germinación llegó al 50%).

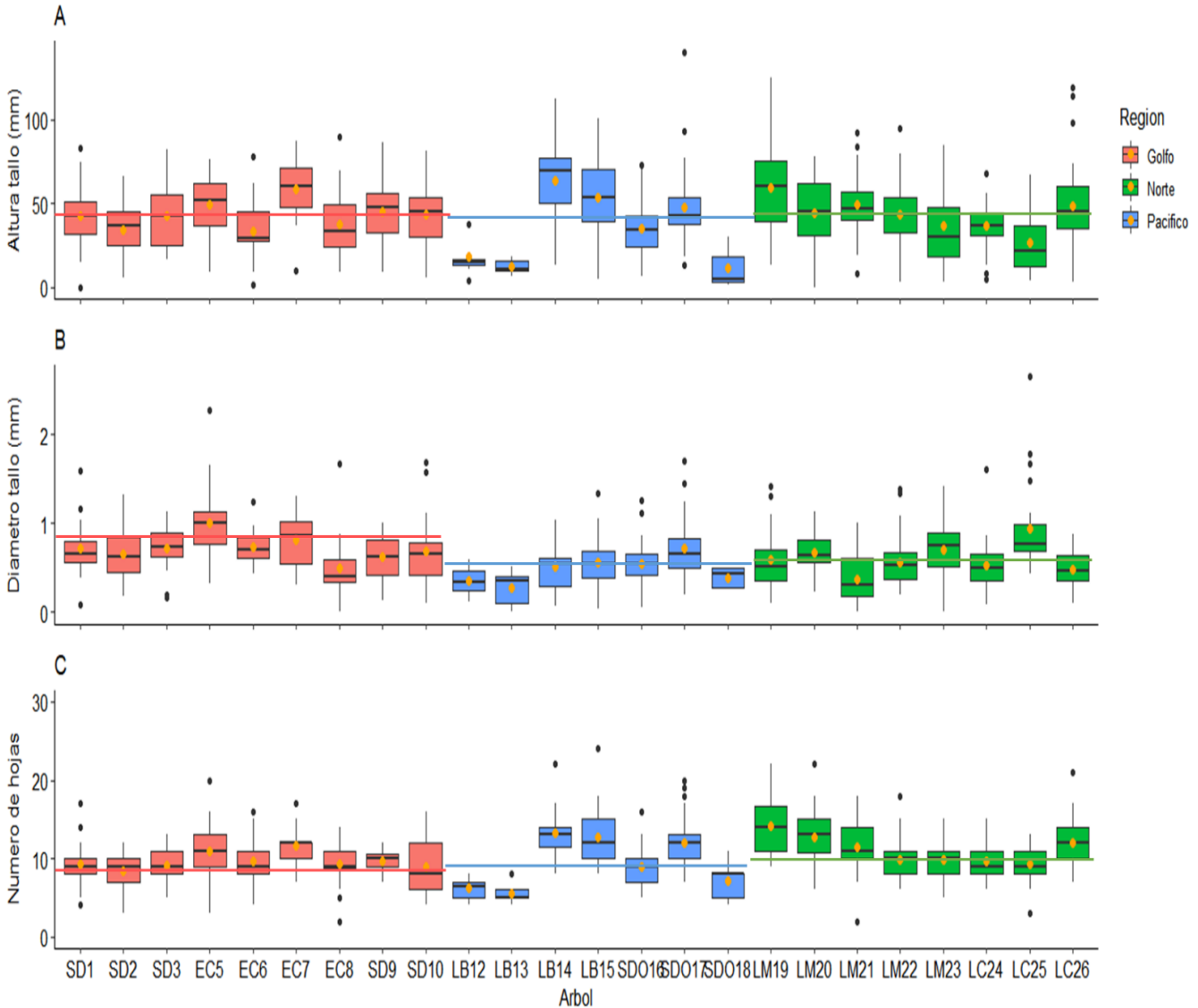
### 7.3 Crecimiento de plántulas

Durante el monitoreo de la germinación (emergencia de la plúmula), y en seguimiento al crecimiento inicial de las plántulas, el cual se llevó a cabo con los datos obtenidos de las alturas y diámetro de los tallos de las plántulas, así como el registro en el número de hojas. El promedio general del crecimiento de las plántulas en un periodo de 75 días fue de  $43.15 \pm 0.92$  mm de altura del tallo,  $0.63 \pm 0.014$  mm de diámetro basal y el número de hojas final fue de  $10.51 \pm 0.14$ . Se observaron valores muy distintos del crecimiento en la altura y diámetro de los tallos y en el número de hojas de las plántulas en las diferentes procedencias. En las plantas de la región Norte se observaron valores

promedio más altos en la altura de los tallos y el número de hojas, mientras que en el Golfo el promedio del diámetro basal fue mayor (Tabla 9, Figura 12).

**Tabla 9.** Estadísticas descriptivas para las tres variables analizadas (altura del tallo, diámetro del tallo y número de hojas en las plántulas de *Q. brandegeei* (n= 591).

Variable	Región	Promedio	Error Estándar	Desviación Estándar	Coficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo
<b>Altura tallo (mm)</b>	Golfo	43.36	0.82	19.92	45.94	0	90
	Pacífico	41.58	0.99	24.14	58.07	2	140
	Norte	43.82	0.95	23.12	52.76	0	125
<b>Diámetro tallo (mm)</b>	Golfo	0.72	0.01	0.34	47.95	0.01	2.27
	Pacífico	0.56	0.01	0.29	51.65	0	1.71
	Norte	0.60	0.01	0.33	55.98	0	2.65
<b>Número hojas</b>	Golfo	9.65	0.12	2.80	29.02	2	20
	Pacífico	10.42	0.15	3.66	35.07	4	24
	Norte	11.18	0.14	3.29	29.43	2	22



**Figura 12.** Gráficos de cajas que muestran el crecimiento promedio de (A) Altura del tallo (mm), (B) Diámetro del tallo (mm) y (C) Número de hojas de las plántulas de los 24 árboles procedentes de las tres diferentes regiones. El cuadro representa el rango intercuartílico: Q3 - Q1. (50% de los datos), las barras de error representan el 10% y el 90% de los valores, las líneas horizontales negras continuas representan las medianas, los puntos naranjas representan los promedios generales para cada árbol y las líneas de color representan el promedio para cada región.

De acuerdo a los modelos lineales, las plántulas presentaron una muy alta heterogeneidad en sus tallas, observándose que en el análisis de los modelos que probaban solo el efecto del árbol fueron los que explicaron la mayor cantidad de variabilidad (Tabla 10).

**Tabla 10.** Modelos utilizados para probar el efecto de la procedencia en el crecimiento de las plántulas (altura del tallo, diámetro del tallo y número de hojas) de *Q. brandegeei* (n= 591).

<b>Modelos lineales: Altura del tallo de las plántulas</b>				
<b>Modelo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>Error Residual</b>	<b>P</b>
<b>Altura ~ Región</b>	0.001574	-0.001822	22.39	0.6294
<b>Altura ~ Localidad</b>	0.02104	0.01267	22.22	0.02889
<b>Altura ~ Árbol</b>	0.1978	0.1652	20.43	<0.001
<b>Modelos lineales: Diámetro del tallo de las plántulas</b>				
<b>Diámetro ~ Región</b>	0.03759	0.03432	0.3276	<0.001
<b>Diámetro ~ Localidad</b>	0.05373	0.04564	0.3257	<0.001
<b>Diámetro ~ Árbol</b>	0.21	0.1779	0.3023	<0.001
<b>Modelos lineales: Número de hojas de las plántulas</b>				
<b>Número hojas ~ Región</b>	0.04055	0.03729	3.233	<0.001
<b>Número hojas ~ Localidad</b>	0.06519	0.0572	3.199	<0.001
<b>Número hojas ~ Árbol</b>	0.2921	0.2633	2.828	<0.001

Las comparaciones de modelos lineales mixtos para las variables altura del tallo y número de hojas registradas en las plántulas de *Q. brandegeei* indicaron que no hubo un efecto de la procedencia (Región), sin embargo, en el modelo para la variable diámetro basal si se observó dicho efecto (Tabla 11). Las plántulas procedentes de los árboles progenitores originarios de la región Golfo mostraron tamaños superiores a las de la región Pacífico y Norte (Ver Anexo 2 y Figura A2.1.2.).

**Tabla 11.** Modelos utilizados para probar la hipótesis del efecto de la procedencia en el crecimiento de las plántulas (altura tallo, diámetro tallo y número de hojas) de *Q. brandegeei* (n= 591) comparando valores de AIC. Para fines de comparación, el valor de AIC más pequeño se convierte a cero y el resto de los valores relativos a él ( $\Delta$ AIC).

#	Comparación de Modelos (Altura tallo)	AIC	$\Delta$ AIC
<b>M1</b>	Altura ~ Intercepto + (1   Árbol)	5299.492	0
<b>M2</b>	Altura ~ Región + (1   Árbol)	5302.25	2.758

#	Comparación de Modelos (Diámetro tallo)	AIC	$\Delta$ AIC
<b>M1</b>	Diámetro ~ + Región + (1   Árbol)	311.1472	0
<b>M2</b>	Diámetro ~ + (1   Árbol)	314.4738	3.326

#	Comparación de Modelos (Número de hojas)	AIC	$\Delta$ AIC
<b>M1</b>	Número hojas ~ Intercepto + (1   Árbol)	2970.178	0
<b>M2</b>	Número hojas ~ Región + (1   Árbol)	2970.961	0.783

#### 7.4 Entrevistas

Las entrevistas a los habitantes de las rancherías permitieron detectar la percepción de los lugareños con respecto al encino arroyero (Tabla 12). Se percibió un conocimiento muy generalizado de la especie en las comunidades. En cuanto a su distribución y su ecología, el 100 % de nuestros entrevistados dijeron conocer a la especie y mencionaron sitios donde se puede observar en cada región (Golfo) como el Ancón de la Mina, San Jorge, Miraflores, San Matías, El Choyal, Cañada el Tarugo, San Ángel, Los Encinitos, La Calabaza, San José, mientras que el 75% coincidió en que el número de encinos ha disminuido en los últimos años.

**Tabla 12.** Listado de encuestas realizadas a los habitantes de las comunidades por región.

Encuestado	Región	Localidad	Edad	Género
1	Golfo	San Dionisio	66	M
2	Golfo	San Dionisio	78	M
3	Golfo	San Dionisio	40	M
4	Norte	Matancitas	57	M
5	Golfo	San Dionisio	63	F
6	Norte	La Matancitas	41	F
7	Golfo	El Chorro	76	M
8	Pacífico	Santo Domingo	59	M



Cuando se les pregunto si consideran que existe una regeneración de esta especie la mayoría (90 %) mencionó que no, argumentando que no hay posibilidad de establecerse la regeneración debido en parte a la presencia de animales que consumen las bellotas, las plántulas y remueven el suelo afectando la vegetación y por otro lado, mencionaron que entre las principales afectaciones o amenazas que el encino enfrenta pueden ser las altas temperaturas, escasas de precipitaciones, la ganadería, plagas, huracanes con fuertes vientos y partidas de arroyos.

Sobre la importancia de la especie el 100 % de los encuestados coincidieron que es una especie muy importante, ya que los usos que se hacen del encino son variados. De acuerdo a la información obtenida, existe un consumo la fauna local como el venado, mapaches, babisuri, coyotes, zorros, aves como la paloma serrana y pequeños roedores y también hay un consumo por animales procedentes de los ranchos como cerdos, chivas, borregos y vacas principalmente. Al mismo tiempo, la bellota también es utilizada para el consumo humano como atole, café, tatemada como botana, macerada para hacer harinas (tortillas) o leche y la madera es usada como leña o para la elaboración ocasional de algunas herramientas de trabajo, cuando en ocasiones de algún árbol se desprende una gran rama seca o tronco (Figura 13).



**Figura 13.** Consumo de las bellotas por parte de los cerdos en el área de estudio (Izquierda). Colecta de bellotas por habitantes de las comunidades (Derecha).

Respecto a la pregunta ¿Cuál cree que sería la consecuencia de la pérdida de esta especie?, respondieron en su mayoría que negativa, ya que no habría alimento para los animales. También mencionaron que, económicamente esto les afecta con relación a que “si no hay bellota, se debe comprar alimento para ganado”. A este respecto los encuestados brindaron información relevante para la conservación de la especie. Todas las personas encuestadas indicaron que no todos los años son de producción de bellota (vecería), ello depende de la presencia de lluvias principalmente, incluso algunos mencionan que cada año la producción es diferente. Finalmente, sobre la pregunta de ¿cuáles podrían ser algunas estrategias para incrementar el número de individuos?, los encuestados coincidieron que es necesario realizar la producción y reintroducción de plántulas en zonas cercadas o protegidas del ganado y otros consumidores. Además de encontrar sitios adecuados para su plantación, sitios con suficiente agua y tierra, como barrancas con agua o con presencia de humedad o cerca de arroyos.

Los encuestados señalaron que es necesario implementar un programa de reforestación de la especie que sea acompañado por la comunidad, donde se pueda dar información y capacitación para el adecuado manejo y conservación de la especie. De esta manera puede incrementarse el nivel de conciencia en la población sobre la importancia de la especie. También se remarcó la importancia de aplicar un seguimiento adecuado de estos programas, ya que basados en su experiencia con otros proyectos que se han intentado en la región, no se han obtenido resultados positivos, acusando la falta de interés de las personas y un escaso seguimiento de los proyectos a corto, mediano y largo plazo.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1. Morfología de bellotas

*Quercus brandegeei* de manera general mostró promedios de longitud (36.18 mm) y diámetro (11.80 mm) que se encuentran dentro del rango de tallas descritas en otros trabajos, donde se menciona que las bellotas tienen una longitud de entre 30 a 50 mm y diámetro de entre 8 a 12 mm, no encontrando registros previos sobre el peso de las bellotas (Muller, 1961; Rebman & Roberts, 2012; León de la Luz *et al.*, 2014). Se observó un patrón heterogéneo en la variación morfológica de las bellotas, principalmente entre los árboles progenitores dentro de las procedencias, lo cual se reforzó de acuerdo a nuestro análisis de modelos mixtos, donde el tamaño estimado como longitud, ancho y volumen de las bellotas mostró un efecto de los árboles madre como efecto aleatorio. Sin embargo, en los modelos para la variable peso, en las comparaciones de modelos con y sin efecto de la procedencia como efecto fijo indicaron que la procedencia influyó en el peso de la semilla. Las bellotas de las poblaciones (LM y LC) de la región Norte ubicadas en las zonas de mayor altitud mostraron valores mayores de peso. Este resultado es consistente con lo reportado por Center *et al.*, (2016) en donde se menciona que las semillas de la población de *Quercus oleoides* (especie hermana de *Q. brandegeei* de la subsección *Virentes*) de elevaciones más altas tenían en promedio bellotas significativamente más grandes que las de la población de baja elevación. También, mencionan que en las comparaciones de modelos con y sin familia materna como efecto aleatorio indicaron que la familia materna influyó en el tamaño de la semilla. En estudios entre procedencias con otras especies de encinos del mismo género se presentan resultados donde se reporta gran variación en las tallas de bellotas entre poblaciones e incluso entre árboles de la misma población (Leiva y Fernández-Ales, 1998; Tilki y Alptekin, 2005; Pastor y Bonet, 2005; V. González Rodríguez *et al.*, 2011; Pastor, 2013).

Debido a que el género *Quercus* es un género con gran variabilidad morfológica, se dificulta la delimitación fenotípica de las especies. Se sugiere que esto es el resultado de la plasticidad fenotípica, flujo de genes, hibridación y selección natural (González-Rodríguez y Oyama, 2005). Por otra parte, se menciona que las variaciones del tamaño de las semillas en una especie pueden ser debidas a diferencias genéticas o a diferencias en las condiciones ambientales particulares del desarrollo de cada planta madre (Baskin y Baskin, 1998; Koenig *et al.* 2009). Es evidente que dichos procesos son

influenciados por fuerzas ecológicas que actúan localmente, y que aspectos tales como la dispersión de polen y semillas, densidad de adultos y variaciones microambientales juegan un papel de suma importancia en la amplia variación genética encontrada dentro de una población (Rubio-Licona, L.E. *et al.*, 2011; Pérez-López *et al.*, 2013).

Un hallazgo interesante en nuestro estudio fue observar el polimorfismo (capacidad de una planta de producir semillas de diferentes formas, tamaños estructuras y color) de *Q. brandegeei*. Esto indica que los árboles mostraron respuestas funcionales ante factores ambientales únicos de las localidades donde se distribuyen las poblaciones. Algunos trabajos han reportado cierta correspondencia entre tipos morfológicos y regiones geográficas. Por ejemplo, Llanderal-Mendoza *et al.* (2017) comprueban el efecto de las restricciones abióticas en relación con las variables morfológicas de las bellotas, específicamente la idea de que los aportes primarios de agua y energía son importantes para el tamaño de la bellota. La variación en los tamaños de semillas entre sitios de procedencia comienza a ser un factor cada vez más estudiado. En general el tamaño de la semilla depende de las características de los sitios, factores ambientales (Rice *et al.* 1996, Khurana y Singh 2001, Koenig *et al.* 2009) así como las variaciones genéticas y la historia de vida de cada árbol (Barbour *et al.*, 1999; Dalling, 2002; Cavender-Bares *et al.*, 2015). Estos factores se consolidan en un conjunto de observaciones realizadas en otros estudios como el de León de la Luz *et al.*, (2012) y particularmente en este, destacando que, aunque no se encuentra documentado debido a la ausencia total de estaciones meteorológicas, existe un gradiente altitudinal que exhibe particularidades que resultan en micro-hábitats (niveles de lluvia, nubosidad, humedad, temperaturas medias y extremas, etc.), los cuales influyen en las características particulares e historia de vida de cada individuo progenitor, resaltando la importancia de cada individuo para la continuidad de esta especie.

## 8.2 Germinación

En general el porcentaje de germinación obtenido para *Quercus brandegeei* en este estudio fue de 78%, lo que muestra que la viabilidad en la semilla no es un factor que pudiera influir en la regeneración sexual de la especie. Se observó un efecto significativo de la procedencia (región) en los valores de germinación acumulada, velocidad y uniformidad de las semillas de *Q. brandegeei*, observándose valores muy distintos para las tres poblaciones. La evaluación de la capacidad

germinativa, es una herramienta de gran utilidad, ya que valora la calidad de las semillas, así como también, es importante para determinar o establecer las necesidades de las semillas para su siembra (Camacho, 1994). *Q. brandegeei* presentó valores altos de germinación en semillas colectadas en la región Norte (91.7 %), las que a su vez mostraron el mayor peso. La germinación en el Golfo fue de 77.6 %, finalmente, en la región Pacífico se observó que la germinación fue menor (61.4%) en el mismo periodo. Este resultado coincide con lo reportado por Center *et al.* (2016) para *Q. oleoides*, en el cual indican que el éxito de la germinación de las semillas de las dos poblaciones estudiadas fue muy variable, difiriendo entre las cohortes estacionales, los tratamientos y las familias maternas. Mientras que de acuerdo a Márquez *et al.* (2005), reportan que la germinación de las semillas de *Q. oleoides* Schl. et Cham en Veracruz, en tres procedencias se obtuvieron valores de germinación diferenciados (75%, 14% y 0.2%). Así mismo Caliskan (2014) encontró diferencias en la capacidad de germinación entre las distintas procedencias de *Quercus ilex* L. (las semillas provenían de diferentes altitudes), pero a diferencia de los resultados en el presente trabajo, en el caso del estudio de *Q. ilex* las semillas pequeñas fueron las que obtuvieron la mayor capacidad de germinación.

En este estudio se demuestra que las semillas presentaron un efecto de la procedencia, siendo la región Norte la que presentó la mayor velocidad de germinación. Estos resultados coinciden con lo reportado por Pastor (2013), la procedencia de las bellotas de *Q. coccifera* L. tuvo un efecto sobre la velocidad de germinación. Este resultado asigna a que en los lugares de colecta los árboles maternos se encontraban en tres condiciones ecológicas diferentes. En estudios de procedencia puede haber notables diferencias en las características de germinación si las semillas de los árboles madre provienen de diferentes condiciones ambientales (Roach y Wulff 1987, López *et al.*, 2003, Bischoff *et al.*, 2006). La variación en los procesos de germinación puede deberse a los factores no genéticos que existen dentro de cada especie de árbol, por las variaciones del medio ambiente, o bien por respuestas genéticas (Keller y Kollmann 1999; Bischoff *et al.*, 2008; Bognounou *et al.*, 2010, Pastor, 2013).

Nuestros resultados sobre la dormancia de las bellotas de *Q. brandegeei*, es un nuevo hallazgo en el conocimiento sobre las adaptaciones que tiene esta especie en el sitio, toda vez que se registraron germinaciones por periodos prolongados (más de 250 días). Se cree que las semillas no tolerantes a la desecación germinan rápidamente. De acuerdo con lo reportado por Center *et al.* (2016) para *Q.*

*oleoides*, este trabajo se sumaría a algunos pocos estudios que reporta semillas no dormantes e intolerantes a la desecación que son capaces de retrasar la germinación, aunque restringidas a una sola temporada. Hormonalmente, la dormancia del embrión está controlada por el ácido abscísico, ya que desensibiliza a los tejidos al agua, luz y temperatura. Este retraso en el proceso de germinación, confiere tiempo adicional para la dispersión de la semilla a distancias mayores, y también aumenta la supervivencia de la plántula a través de impedir la germinación bajo condiciones desfavorables (Hartmann *et al.*, 1997), esta idea sugiere que las bellotas de *Q. brandegeei* después de ser producidas se mantienen en dormancia coincidiendo con los meses donde se presentan las épocas de lluvia en la región.

Es conocido que las semillas que aún no han alcanzado el desarrollo morfológico y fisiológico no obtienen una germinación óptima. Por lo que estas diferencias en los porcentajes y con respecto a los sitios de menor germinación, pueden ser atribuidos a bajos niveles de nutrientes, enzimas y hormonas indispensables para que dicho proceso se lleve a cabo correctamente. Asimismo, la fase de maduración es importante por la intensa actividad morfogénica que desarrolla; es en esta etapa donde se moldean algunas de las características de la planta adulta, por lo cual este periodo es también importante por ser una de las fases más desconocidas dentro de la embriología de las plantas y de modo concreto dentro la de biología de los encinos (Verdaguer & Molinas, 1989). Existen casos de estado latente, los cuales son atribuibles a la inmadurez del embrión (Magnitskiy & Plaza, 2007).

Se sabe que el periodo de maduración del embrión coincide con el periodo de maduración del fruto (Willan, 1991). Se pudo inferir que la causa por la que se obtuvieron valores bajos de germinación de las semillas de *Q. brandegeei* en las poblaciones del Pacífico, se debió a su estado de inmadurez. Por todo lo anterior para esta especie se recomienda realizar la colecta de bellotas recién caídas o que presenten una coloración marrón a oscura. Pulido *et al.*, (1999), mencionan que el color de las bellotas de *Q. ilex* de tonalidad más verdosa, muestran altos tiempos de germinación (39 días) y un porcentaje de germinación de 52.63%, señalando que se debe al color, al necesitar más tiempo para su maduración. Esta misma condición se presentó en bellotas de color verde amarillento de *Q. brandegeei*, los resultados del relativo “atraso” de la germinación en las semillas procedentes del Pacífico se puede deber a diferente tiempo de maduración, siendo diferente entre las distintas localidades.

Con base a los resultados obtenidos de este trabajo indican que los aspectos de germinación de *Q. brandegeei*, dependen de la procedencia u origen de las semillas. Los sitios de procedencia varían en altitud, precipitación, temperatura (factores intrínsecos a la variable región), los cuales, pueden contribuir a explicar parte de las diferencias de la germinación. Debido a que en este estudio se realizaron experimentos en vivero, es posible que otros factores propios de los sitios pudieran influir como el tipo de suelo, nutrientes, intensidad lumínica, humedad, entre otras, que no fueron consideradas en este estudio. En estudios futuros se recomienda realizar un análisis sobre las características ambientales de los sitios, realizando plantaciones in situ para determinar cuál es el factor más importante para la germinación de las semillas de *Q. brandegeei*.

### 8.3 Crecimiento de plántulas

En la comparación de modelos con y sin efecto de la procedencia como efecto fijo indicaron que la procedencia influyo en la variable diámetro del tallo. Las plántulas procedentes de las poblaciones de la región Golfo mostraron valores mayores. El crecimiento de las plántulas de *Q. brandegeei* de acuerdo a los registros de altura de los tallos y número de hojas mostraron únicamente un efecto de los árboles madre como efecto aleatorio, observándose una variabilidad intra-poblacional en estas dos últimas variables. Este resultado se relaciona con lo reportado por Márquez *et al.*, (2005), donde menciona que el crecimiento inicial en las plántulas de *Q. oleoides* (encino perteneciente a la sección *Virentes*) fue similar, no observándose diferencias significativas, sin embargo, solo hubo crecimiento en dos de las tres procedencias analizadas, asimismo, describe que existen diferencias entre los árboles dentro de las poblaciones procedentes. Esta variabilidad intra-poblacional pudo ser derivada de la variabilidad en el tamaño de la bellota presentada entre los árboles madre dentro de cada procedencia, esta relación se menciona que tiene un efecto importante en diversos trabajos (Bischoff *et al.*, 2006; Tilki, 2010; Zolfaghari *et al.*, 2013; Pesendorfer, 2015; Ramírez-Valiente *et al.*, 2018).

El efecto materno puede desempeñar un papel importante y extendido en la aptitud de las plántulas de *Q. brandegeei*. Durante los primeros meses de crecimiento, los lípidos y carbohidratos almacenados en los cotiledones de la bellota se direccionan bajo tierra a un tubérculo que se hincha alrededor de la raíz justo debajo del cuello de la raíz (Muller, 1961). Dada la formación de tubérculos a partir de las reservas de semillas (Figura 14), los efectos maternos pueden tener una influencia

prolongada en la aptitud de las plántulas. Esto pudiera ofrecer ciertas ventajas, como la capacidad para emerger desde mayores profundidades del suelo y también cuando la presencia de nutrientes es escasa. Una plántula de estas características tendría más probabilidad de sobrevivir debido a las reservas energéticas (Center *et al.*, 2016).

Los encinos presentan bajas tasas de crecimiento, lo cual se concentra en pulsos coincidentes con una marcada estacionalidad (Rubio, 2006; Zúñiga, 2013). Lo anterior se ha observado en *Q. candicans*, en la que se presentan periodos sin cambios notorios en diámetro, altura y número de hojas (Rubio, 2006). Luna, (2008) menciona que el diámetro de las plántulas de *Q. frutex* se mantienen en un cierto intervalo a lo largo del año. Por otra parte, Zúñiga, (2013) observó que los promedios de altura, número de hojas y cobertura se incrementaron con el tiempo, indicando que los primeros meses son cruciales para el establecimiento de las plantas, lo cual coincide con este estudio, donde se observa un incremento notorio y constante en el periodo de los seis primeros meses, después no se observó un aumento destacado en los siguientes meses para las mismas variables (altura y diámetro del tallo y número de hojas).





**Figura 14.** Imagen que muestra el desarrollo del tubérculo (engrosamiento) en la raíz de las plántulas de *Q. brandegeei*.

Diferentes tipos morfológicos pueden estar relacionados con la capacidad de las plántulas para hacer frente a diferentes factores ambientales una vez que estas se establecen en campo, tales como sequía o altas temperaturas como es el caso de *Q. brandegeei* (Navarro *et al.*, 2006; Villar-Salvador *et al.*, 2012). De hecho, en diversos trabajos se han observado relaciones diversas entre el tamaño de la plántula y el establecimiento en campo. Algunos estudios han descrito que plántulas de mayor tamaño pueden verse favorecidas por diversas características morfofuncionales que incrementan tanto la supervivencia, como su crecimiento posterior y sufrir menos estrés (Puértolas *et al.*, 2003; Villar-Salvador *et al.*, 2004; Luis *et al.*, 2009; 2010). Sin embargo, otros estudios señalan que en áreas más secas (con clima semiárido), se observa una relación inversa o nula donde el fitness (estado de aptitud) de la planta le impide su establecimiento y supervivencia (Cortina *et al.*, 1997; Navarro *et al.*, 2006; Trubat *et al.*, 2008; 2011).

En este sentido, el desarrollo de plántulas con menos hojas y más pequeñas en las poblaciones más áridas respondería a una estrategia de menores requerimientos hídricos globales de toda la planta y estrategias conservadoras de los recursos hídricos (Levitt, 1980; Villagrosa *et al.*, 2003). Por el contrario, las plantas con mayor desarrollo de la parte aérea (número de hojas), como las de la región Norte, responderían a una estrategia de menor economía hídrica debido a una mayor disponibilidad de agua en estos ambientes, pero también a una mayor necesidad de fijación de carbono para ser más competitivo en ambientes donde el recurso hídrico no es el principal limitante (Flexas *et al.*, 2001; Cabrera, 2002).

#### **8.4 Entrevistas**

Los resultados derivados de la investigación bibliográfica y las entrevistas con habitantes de la región, indican que las poblaciones de *Q. brandegeei* se distribuyen en parches aislados en las partes bajas y fondos de cañadas de las sierras de la Región del Cabo, sobre terrenos donde la estratificación de los suelos es escasa, y en un rango de elevación no mayor a 1000 msnm. Se puede entender que el encino arroyero ha sido ampliamente aprovechado en la región desde los primeros asentamientos en la región y que una fuerte explotación y uso habría iniciado con el poblamiento civil español, con la introducción de animales domésticos (cerdos, cabras, borregos y vacas) (Ramírez-Apud, 1998, Breceda, *et al.*, 2009).

Se ha mencionado en estudios, que el libre pastoreo de ganado y la presión por consumidores afectan la composición del banco de semillas en la selva baja caducifolia de la Sierra La Laguna (Ramírez-Apud, 1998). También han ocasionado que algunas especies de árboles como el mauto (*Lysiloma microphyllum*) se desarrollen como arbustos, a pesar de que estos árboles pueden llegar a medir más de diez metros de altura, en sitios severamente ramoneados presentan tallas muy bajas y troncos muy gruesos (Breceda, *et al.*, 2005). El constante pisoteo del ganado sobre el suelo produce la compactación del mismo, afectando la germinación de semillas y en casos extremos la degradación y pérdida de suelo (Maya, 2004). El efecto de los asentamientos humanos o ranchos sobre la abundancia y diversidad de plantas y aves también ha sido estudiado. Ramírez, (2001) encontró que la abundancia y diversidad de plantas es mayor conforme se aleja de los ranchos, en tanto que para aves se presenta una situación inversa, siendo más abundantes y diversas cerca de los ranchos.

Hasta antes de 1998, no existía una estrategia de restauración para la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, y no se habían efectuado actividades encaminadas a la rehabilitación de sitios con serios problemas de pérdida de suelos y formación de cárcavas. Breceda *et al.*, (2012), mencionan que la erosión de los suelos es producto de la pérdida de cubierta forestal, así como del intemperismo severo que cada año se presenta en la zona (sequías prolongadas y huracanes frecuentes), lo cual coincide con lo contestado por los habitantes de la región, quienes señalan estos fenómenos como los principales causantes de afectaciones a los encinos.

La mayor parte de las comunidades no conoce en su totalidad los efectos asociados a la pérdida de especies de encinos como *Q. brandegeei*, sin embargo, reconocen que es una especie importante y que se le debe proteger, tiene un gran valor para la población local. Debido a esto los encuestados proponen que se establezca en el área un programa de producción y reintroducción de la especie. Estas obras de recuperación de la cubierta vegetal son fundamentales, no solo en gran medida por la conservación y restauración de la especie y el hábitat, sino también por los efectos que tiene en cuanto a los servicios ambientales que se obtienen, como la recarga de acuíferos que se traduce en agua que se utiliza en todo el estado, por mencionar un ejemplo.

De manera general, *Q. brandegeei*, puede cumplir con las características de una especie valiosa para la restauración y reforestación de acuerdo a Pérez (2012), las cuales consisten en: fácil propagación, la cual se logró con éxito en el presente estudio; presenta un crecimiento inicial rápido principalmente por el tamaño de sus semillas, buena producción de materia orgánica como hojarasca, por su gran cobertura y por su condición perenne; muestra utilidad adicional, proporcionando servicios ecosistémicos importantes para la población; y como función principal brinda soporte para el restablecimiento de flora y fauna nativa ya que forma parte del hábitat y es fuente de alimento.

## 9. CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra que *Quercus brandegeei* es una especie productora de bellotas de gran viabilidad. Se proporciona evidencia de que la producción de semillas, el tiempo y éxito de germinación y crecimiento de las plántulas son factores críticos en la regeneración y el reclutamiento de la especie. Asimismo, se mostró la gran heterogeneidad en las bellotas y el crecimiento de plántulas en función del árbol progenitor, lo que permite concluir la relevancia de cada individuo para mantener un flujo genético en poblaciones relativamente aisladas. La variación en la morfología de las bellotas puede en parte, estar siendo explicada debido a las respuestas funcionales de los individuos progenitores los cuales están respondiendo a las presiones ejercidas en el sitio donde se distribuyen.

Algunas características intrínsecas de las semillas pueden influir en su respuesta germinativa, como el estado de maduración del fruto, el cual influye en la capacidad germinativa, tiempo de germinación, uniformidad germinativa y calidad de germinación siendo mejor en la región Norte y menor en el Pacífico.

Con los resultados obtenidos a partir de las variables biológicas estudiadas; germinación y crecimiento de plántulas, se puede determinar que las poblaciones evaluadas de la especie *Q. brandegeei* tienen el potencial que permite construir una estrategia de reintroducción y conservación de las mismas.

Los análisis de crecimiento de las plántulas de *Q. brandegeei*, demostraron que esta especie tiene un crecimiento inicial acelerado en los primeros seis meses, por lo que en este periodo debe existir mayor atención en el manejo.

La capacidad de propagación en vivero para esta especie es alta, debido a que mostró éxito en su germinación y crecimiento; considerando, además, la importancia de esta especie en el ecosistema y por su condición de peligro de extinción (EN), este tipo de estudios son importantes, pues permiten conocer más sobre la biología de la especie para desarrollar y encaminar programas de manejo para su conservación.

*Quercus brandegeei* es una especie importante en la composición de algunos parches de vegetación en la Región del Cabo, sin embargo, no se tienen registros de trabajos de conservación y mejoramiento genético, por lo tanto, proyectos que encaminen el enriquecimiento genético de la

especie deben ser prioritarios para su futuro, tomando como punto de partida su fenología, ontogenia, así como semillas, germinación, plántulas y establecimiento de pruebas genéticas.

Existe una clara necesidad de estudios a largo plazo que reflejen con mayor precisión la variación en las semillas para cada especie, cubriendo años de alta y baja producción de semillas para determinar con precisión el efecto intra e interespecífico del peso de la bellota en la germinación y el establecimiento de las plántulas.

### **9.1 Recomendaciones**

Es importante mencionar que paralelo a esta investigación, se están desarrollando otros trabajos, con los cuales se pretende conocer más a detalle sobre las interacciones de la especie en el ecosistema, como el trabajo de equipo del CIBNOR y Morton Arboretum (Álvarez-Clare *et al.* (en prep.)), donde se analiza el grado de afectación por la presencia del ganado en el establecimiento de plántulas *Q. brandegeei*, mediante un experimento de parcelas de exclusión. Por otra parte, González-Rodríguez *et al.* (en prep.), analizan el efecto de la sequía y las respuestas de las plántulas al estrés en diferentes poblaciones.

Es importante continuar generando información entorno a la especie, con el fin de proponer las mejores estrategias y técnicas que resulten en la implementación de un programa de manejo y conservación de la especie.

Se necesitan más investigaciones para explicar los factores genéticos y ambientales que impulsan el tiempo de producción de semillas, examinar el potencial adaptativo de las poblaciones, sincronizar el tiempo de producción de semillas con condiciones óptimas de germinación y post-germinación de plántulas y crecimiento.

Debido a los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda realizar un estudio de germinación *in situ*, así como realizar un seguimiento multi-anual, en el que se consideren periodos largos de sequías, y eventos de precipitación inusual comunes en la región, así como otros eventos climáticos relevantes que no se pueden observar en un solo año.

## 10. LITERATURA CITADA

- Aizen MA y Woodcock H. 1996. Effects of acorn size on seedling survival and growth in *Quercus rubra* following simulated spring freeze. *Can. J. Bot.* 74:308–314.
- Alvarez-Moctezuma JA, Ochoa-Gaona S, de Jong BHJ, Soto-Pinto ML. 1999. Hábitat y distribución de cinco especies de *Quercus* (Fagaceae) en la Meseta Central de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical* 47:1–12.
- Arriaga., L. 1994. Estrategia para la conservación de la Sierra de la Laguna. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste en colaboración con WWF, Baja California Sur, México.
- Arriaga, L. y A. Ortega. 1988. La Sierra de la Laguna de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Baja California Sur, México.
- Arriaga, I. Sierra de la Laguna, Baja California Sur. En: Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury Creel y R. Dirzo (Eds). 2010. Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México. comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 594 p.
- Badano, Ernesto I, Guerra-Coss Francisco A. Gelviz-Gelvez, Sandra M, Flores Joe and Delgado-Sánchez Pablo. 2018. Functional responses of recently emerged seedlings of an endemic Mexican oak (*Quercus eduardii*) under climate change conditions. *Botanical Sciences* 96 (4): 582-597. DOI: 10.17129/botsci.1988
- Barbour MG, Burk JH, Pitts WD, Gillian FS, Schwartz MW. 1999. Allocation and life history patterns. En: Cummings B. Ed. *Terrestrial Plant Ecology*. Tercera edición. Longman, USA, p 88-116.
- Baskin, C.C., Baskin, J., 2001. *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego.
- Bischoff A, Vonlanthen B, Steinger T, Müller-Schärer H. 2006. Seed provenance matters effects on germination of four plant species used for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology* 7(4): 347–359. doi:10.1016/j.baae.2005.07.009.
- Bischoff A., Steinger T., Müller-Schärer, H. 2008. The importance of plant provenance and genotypic diversity of seed material used for ecological restoration. *Restoration Ecology* 18(3): 338–348. doi: 10.1111/j.1526-100x.2008.00454.
- Bischoff A. y Müller-Schärer, H. 2010. Testing population differentiation in plant species-how important are environmental maternal effects. *Oikos* 119: 445-454.

- Bischoff A., Steinger T., Müller-Schärer, H. 2010. The effect of plant provenance and intraspecific diversity on the fitness of four plant species used in ecological restoration. *Restoration Ecology* 18: 338-348.
- Bognounou F, Thiombiano A, Christer P, Guinko S. 2010. Seed provenance and latitudinal gradient effects on seed germination capacity and seedling establishment of five indigenous species in Burkina Faso. *Journal of Tropical Ecology* 51(2): 207–220. <http://www.tropecol.com>.
- Bonfil, C., 1998. "The effects of the seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Quercus laurina* (Fagaceae)". *American Journal of Botany*, 85: 79-87.
- Breceda, A., Arnaud-Franco, A., Álvarez-Cárdenas, S., Galina Tessaro, P. y Montes Sánchez, J. 2009. Evaluación de la Población de Cerdos Asilvestrados (*Sus scrofa*) y su Impacto en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México. *Tropical Conservation Science* Vol. 2 (1):173-188. Disponible en línea: [www.tropicalconservationscience.org](http://www.tropicalconservationscience.org)
- Breceda Solís-Cámara, A., Quiñónez-Gómez, J. y J. Pérez-Navarro. 2012. Vegetación. En: A. Ortega-Rubio., M. Lagunas-Vázquez y L. F. Beltrán-Morales (Editores). Evaluación de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: Avances y Retos. (pp. 41-53). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. 422 pp.
- Breceda, A., J. Sosa Ramírez, C. Leonor Jiménez Sierra, y A. Ortega Rubio. 2014. Conservación en la Reserva de la Biósfera Sierra la Laguna, Baja California Sur: logros y retos. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 60:78–84.
- Breceda, A., J. Sosa, C. Jiménez-Sierra, A. Ortega, y I.C. Espitia-Moreno. 2015. La Sierra La Laguna en Baja California Sur: importancia de su conservación. En: Ortega A. et al. (eds.) *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur S.C., México. 473–492p.
- Carreño, L. y J.T. Smith. 2007. Stratigraphy and correlation for the ancient Gulf of California and Baja California peninsula, Mexico. *Bulletins of American Paleontology*. 371:7-139.
- Carrero, C., Jerome, D., Beckman, E., Byrne, A., Coombes, A. J., Deng, M., González-Rodríguez, A., Hoang, V. S., Khoo, E., Nguyen, N., Robiansyah, I., Rodríguez-Correa, H., Sang, J., Song, Y-G., Strijk, J. S., Sugau, J., Sun, W. B., Valencia-Ávalos, S., and Westwood, M. 2020. The Red List of Oaks 2020. The Morton Arboretum. Lisle, IL.
- Cavender-Bares, J., A. González-Rodríguez, D. A. R. Eaton, A. A. L. Hipp, A. Beulke, and P. S. Manos. 2015. Phylogeny and biogeography of the American live oaks (*Quercus* subsection *Virentes*): A genomic and population genetics approach. *Molecular Ecology* 24: 3668 – 3687 .

- Cavender-Bares, J., A. González-Rodríguez, A. Pahlich, K. Koehler, and N. Deacon. 2011. Phylogeography and climatic niche evolution in live oaks (*Quercus* series *Virentes*) from the tropics to the temperate zone. *Journal of Biogeography* 38 : 962 – 981 .
- Caliskan S. 2014. Germination and seedling growth of holm oak (*Quercus ilex* L.): Effects of provenance, temperature, and radicle pruning. *Biogeosciences and Forestry* 7(2): 103–109. doi: 10.3832/ifer0967-007.
- Camacho, M., F. y V.G. Morales, 1992. Métodos para el análisis del efecto de la germinación. INIFAP. Campo experimental Coyoacán, México, DF. pp: 282-290.
- Crawley, M. J. 2007. *The R book*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, England.
- Coria R. 1988. Climatología. En Arriaga L. y A. Ortega (Eds). *La Sierra la Laguna de Baja California Sur*. Centro de Investigaciones biológicas de Baja California Sur. A.C., La Paz, Baja California Sur, México. 45-52 p.
- Center A., Etterson J., Deacon N. J. and Cavender-Bares J. 2016. Seed production timing influences seedling fitness in the tropical live oak *Quercus oleoides* of Costa Rican dry forests. *AMERICAN JOURNAL OF BOTANY* 103 (8): 1 – 13. doi:10.3732/ajb.1500389
- Díaz-Pontones D, Reyes-Jaramillo I. 2009. Producción y almacenamiento de bellotas de *Quercus hintonii* warburg (Fagaceae) de la depresión del Balsas, México. *Polibotánica* 27:131–143.
- Díaz, R., Vilanova, A., Fernández-López, j. y Aletà, N. 2009. Variación en caracteres morfológicos de la semilla y en vigor de la plántula en poblaciones españolas de *Juglans regia*. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Junta de Castilla y León.
- Gil-Pelegrin, E., J. Peguero-Pina y D. Sancho-Knapik. 2018. *Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus Quercus L.* Springer International Publishing 547 pp.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- González-Rodríguez A, Oyama K. 2005. Leaf morphometric variation in *Quercus affinis* and *Q. laurina* (Fagaceae), two hybridizing Mexican red oaks. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 147, 427–435.
- González-Rodríguez, V., Villar, R., Navarro-Cerrillo, R.M., 2011. Maternal influences on seed mass effect and initial seedling growth in four *Quercus* species. *Acta Oecologica* 37, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2010.10.006>.
- Harper, J.L., 1977. *Population Biology of plants*. Academic Press. London. 892 pp.



- Huerta-Paniagua R, Rodríguez-Trejo D.A. 2011. Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2): 179–187. <http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.053>.
- INEGI. 2016. *Uso de Suelo y Vegetación*. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Union), escala: 1:250 000. Edición 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía., Mexico.
- INIFAP. 1995. *Viveros Forestales*. Publicación especial No. 3. México, D.F. 179p.
- Jiménez, A., 1997. “Germinación y crecimiento de cuatro especies de encinos del Ajusco DF. Efecto del tamaño de las semillas”. Tesis Licenciatura Biol. FES-Zaragoza, UNAM. México. 74 pp.
- Khan ML, Shankar U. 2001. Effect of seed weight, light regime and substratum microsite on germination and seedling growth of *Quercus semiserrata* Roxb. *Tropical Ecology*. 42(1): 117–125. <https://www.researchgate.net/publication/236628018>.
- Khurana E, Singh JS. 2001. Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest. *Environmental Conservation* 28(1): 39–58. doi: 10.1017/S0376892901000042
- Koenig WD, Knops JMH, Dickinson JL, Zuckerberg B. 2009. Latitudinal decrease in acorn size in bur oak (*Quercus macrocarpa*) is due to environmental constraints, not avian dispersal. *NRC Research Press* 87(4): 349–356. doi: 10.1139/B09-008.
- León de la Luz JL, Domínguez-Cadena R, Domínguez-León M, Coria-Benet RC. 2014. *Flora iconográfica de Baja California Sur 2*. La Paz: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C
- León de la Luz, J. L., R. Domínguez y R. Coria. 1988. Aspectos florísticos. Pp. 83-114. En: L. Arriaga y A. Ortega (Eds). *La Sierra de la Laguna de Baja California Sur*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur. México.
- León de la Luz, J. L. y R. Domínguez. 1989. *Flora of the Sierra de la Laguna, Baja California Sur, México*. *Madroño*, 36: 61-83.
- León de la Luz, J. L., J. J. Pérez-Navarro, M. Domínguez y R. Domínguez. 1999. *Listados Florísticos de México XVIII: Flora de la Región del Cabo de Baja California Sur*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- López G.A., Potts B.M., Vaillancourt R.E., Apiolaza, A. 2003. Maternal and carryover effects on early growth of *Eucalyptus globulus*. *Canadian Journal of Forest Research* 33(11): 2108–2115. doi:10.1139/x03-132
- Luna-José A de L, Montalvo-Espinosa L, Rendón-Aguilar B. 2003. Los usos no leñosos de los encinos en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 72: 107-117.

Magnitskiy Satanislav V. & A. Plaza Guido. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*. Universidad Nacional de Colombia, 25 (1): 96-103 p.

Marañón, T., Camarero, J., Castro, J., Diaz, M., Espelta, J., Hampe, A., Jordano, P., Valladares, F., Verdú, M., Zamora, R. 2004. En Valladares, F. (ed) *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* 69-99 pp. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A. Madrid.

Márquez-Ramírez, J., L. del C. Mendizabal Hernández y C.I. Isaias-Flores. "Variación en semillas de *Quercus oleoides* Schl. et. Cham. de tres poblaciones del centro de Veracruz, México". *Foresta Veracruzana*, 7: 31-36.

Maya-Delgado, Y. 1988. Edafología. En: *La Sierra La Laguna de Baja California Sur*. Arriaga y Ortega (Eds.). *La Sierra la Laguna de Baja California Sur*. Centro de Investigaciones biológicas de Baja California Sur A.C., La Paz, Baja California Sur, México. 53-65p

Maya-Delgado, Y. 2012. Suelo y erosión. En: A. Ortega-Rubio., M. Lagunas- Vázquez y L. F. Beltrán-Morales (Editores). *Evaluación de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: Avances y Retos*. (pp. 295-302). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. 422 pp

Mc Vaugh, R. 1974. Fagaceae in: *Flora Novo Galiciana*. *Contrib. Univ. Mich. Herb.* 12(3): 1-93 p.

Mulcahy, D.G. y J.R. Macey. 2009. Vicariance and dispersal form a ring distribution in night snakes around the Gulf of California. *Molecular Phylogenet and Evolution*. 53(2):537-546.

Muller, C. H. 1961. The live oaks of the series Virentes. *American Midland Naturalist* 65: 17 – 39.

Murphy, R. 1983. The reptiles: origins and evolution. In. Case, T. and M. L. Cody (Eds) *Island Biogeography in the Sea of Cortes*. University of California Press. 508 p.

Navarro FB, Jimenez MM, Ripoll MA, Ondono EF, Gallego E, De Simon E. 2006. Direct sowing of holm oak acorns: Effects of acorn size and soil treatment. *Ann. For. Sci.* 63: 961-967.

Nixon, K. 1993. The genus *Quercus* in México. In: Ramamoorthy, T.P.R. Bye, A. Lot y J. Fa. *Biological diversity of México: origins and distribution*, Oxford university Press. New York. pp. 447-458.

Nixon, K. 2006. Global and Neotropical Distribution and Diversity of Oak (genus *Quercus*) and Oak Forests. En: Kappelle M. Ed. *Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 185:486.

Olvera, M.G. 2004. "Factores que participan en la viabilidad de semillas de *Quercus rugosa* y *Quercus crassipes*". Tesis de Licenciatura. FES-Iztacala, UNAM. México. 100 pp.

Pastor, L. E. & Bonet J.A. 2005. Efecto de la procedencia de las bellotas y el morfotipo sobre el éxito de germinación de *Quercus coccifera* L. En: Blanc ChP, Caravello GU, Conard SG. Eds. *Mediterranea*

Serie de Estudios Biológicos. Alicante: Universidad de Alicante. Época II. Núm. 18. <http://hdl.handle.net/10045/6532>.

Pastor, L. E. 2013. Aspectos ecológicos de *Quercus coccifera* L. de interés en planes de conservación y restauración forestal. [Tesis de Doctorado] Universidad de Alicante, Departamento de ecología, p. 121–220.

Pérez-López, P., López-Barrera, F., García-Oliva, F., Cuevas-Reyes, P., González-Rodríguez, A. 2013. Procesos de regeneración natural en bosques de encinos: factores facilitadores y limitantes. *Biol. Public. Espec.* 1, 18–24.

Pérez-Ramos IM. 2007. Factores que condicionan la regeneración natural de especies leñosas en un bosque mediterráneo del sur de la Península Ibérica. *Ecosistemas.* 16(2): 1-5. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016213>.

Pulido García L., A. Tendero Lora, G. Naharro & F. Romero Caballero. 1999. Germinación de la bellota del “Parque del mediterráneo” según algunos tratamientos previos. Universidad de Castilla-La Mancha. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Albacete, España. 1-27 p.

Quero JL, Villar R, Pérez-Ramos IM, González-Rodríguez V, Urbieta IR, Gómez- Aparicio L, Zavala MA, Marañón T, Navarro-Cerrillo RM, Zamora R, et al. 2009. Implicaciones ecológicas del peso de semilla en especies del género *Quercus*. Evidencias en condiciones controladas y experimentos en campo. En: Sociedad Española de Ciencias Forestales, Junta de Castilla y León Ávila Eds. Quinto Congreso Forestal Español, p. 13.

Ramírez, J. A. 2001. Identificación de áreas críticas para la protección de la biodiversidad en la Reserva de Biosfera Sierra la Laguna. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México.

Ramírez-Valiente, J. A., F. Valladares, L. Gil, and I. Aranda. 2009. Population differences in juvenile survival under increasing drought are mediated by seed size in cork oak (*Quercus suber* L.). *Forest Ecology and Management* 257 : 1676 – 1683 .

Rao, P.B., 1988. “Effects of environmental factors on germination and seedling growth in *Quercus floribunda* and *Cupressus tortulosa*, trees species of Central Himalaya”. *Annals of Botany*, 61: 531-540.  
Rebman JP, Roberts NC. 2012. Baja California Plant Field Guide. San Diego: San Diego Natural History Museum.

Rice K.J., Gordon D.R., Hardison J.L., Welker J.M. 1996. Phenotypic variation seedlings of a «keystone» tree species (*Quercus douglasii*): The interactive effects of acorn source and competitive environment. *Oecología* 96(4): 537–547. doi: 10.1007/BF00320511.

Rivas-Rivas, M. B., Ramírez-Marcial, N., Perales, H., Levy-Tacher, S. I., & Bonfil, C. 2017. Survival and growth of three *Quercus* species under contrasting coverage conditions in southern Mexico. *Revista*

Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 23(2), 275-288. doi: dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.01.001

Roach, D.A. y Wulff, R. 1987. Maternal effects in plants: evidence and ecological and evolutionary significance. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 18: 209-235.

Romero Rangel, S., Rojas, Zenteno, C. y Almonte, Díaz, C. 2000. *Quercus hintonii* Warb. (Fagaceae) encino endémico de la depresión del Balsas, México y su Propagación Polibotánica, núm. 11, diciembre, 2000, pp. 121-127 Departamento de Botánica Distrito Federal, México.

Romero S., E. C. Rojas & S. Aguilar. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Botanical Garden* 89: 551-593 p.

Rubio, E., Vilagrosa, A., Cortina, J., Bellot, J. 2001. Modificaciones morfofisiológicas en plantones de *Pistacia lentiscus* y *Quercus rotundifolia* como consecuencia del endurecimiento hídrico en vivero. efectos sobre supervivencia y crecimiento en campo. CEAM-Dpto. Ecología. Univ. Alicante. Ap. Correos 99. E-03080 Alicante. Researchgate.

Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. Bosque de *Quercus*. Edit. Limusa. México. pp.263-282, 432.

Tilki F, Alptekin CU. 2005. Variation in acorn characteristics in provenances of *Quercus aucheri* Jaub. et Spach and provenance, temperature and storage effects on acorn germination. *Seed Science Technology* 33(2): 441–447. doi: 10.15258/sst.2005.33.2.16.

Tilki F. 2010. Influence of acorn size and storage duration on moisture content, germination and survival of *Quercus petraea* (Mattuschka). *Journal of Environmental Biology*. 3(3): 325–328. <http://www.jeb.co.in>.

Tripathi RS, Khan ML. 1990. Effects of seed weight and microsite characteristics on germination and seedling fitness in two species of *Quercus* in a subtropical wet hill forest. *Oikos*. 57(3): 289–296. <http://www.jstor.org/stable/3565956>

Valencia S. 2004. Diversidad del Género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 33–53.

Verdaguer D. & M. Molinas. 1989. El desarrollo del embrión durante la maduración y germinación de la bellota. *SCIENTIA gerundensis*, 15: 31-37 p.

Viveros-Viveros H, Camarillo-Luna AR, Sáenz-Romero C, Aparicio-Rentería A. 2013. Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. *Bosque* 34(2): 173–179. doi:10.4067/S0717-92002013000200006.

Zavala, C. F. & M. E. García. 1996. Frutos y semillas de encinos. Universidad Autónoma Chapingo. México 47 p.

Zavala-Chávez F. 2003. Identificación de encinos de México. Segunda edición. México D.F.: Universidad Autónoma Chapingo (UACH), División de Ciencias Forestales, p. 190.

Zavala Chávez, F. 2015. Introducción a la ecología de la regeneración natural de encinos. 1ra reimpresión. México: Universidad Autónoma Chapingo.

Zuur, A. F.; Elena, N. I.; Neil, J. W.; Anatoly, A. S.; Graham, M. S. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R, 1st ed. Springer.

### Referencias electrónicas

Flora del Noroeste de México. 2020. URL. <http://herbanwmex.net/portal/taxa/index.php?taxon=Quercus+albocincta&formsubmit=Search+Terms>. Consultado 24 de marzo 2020.

R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. Consultado 12 enero 2021

Sistema Meteorológico Nacional (SMN). 2020. Información Estadística climatológica. Estación Santiago. Comisión Nacional del Agua. URL. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/3062.txt> Consultado 28 julio 2020.

## 11. ANEXOS

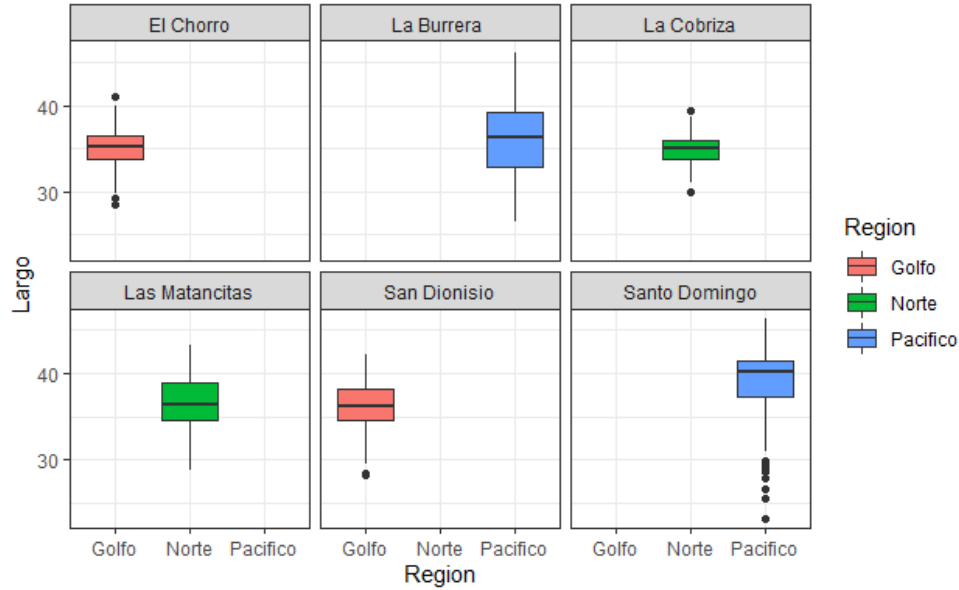
### ANEXO 1

#### 1.1 Análisis exploratorio de las variables de morfología de las bellotas de *Q. brandegeei*

Se observaron valores muy distintos de volumen, peso y talla de las bellotas recolectadas en las diferentes procedencias. En las bellotas de la región Norte se observaron valores promedio más altos en ancho, peso y volumen, seguidas por las del Pacífico y finalmente las del Golfo, así mismo, fue en la región Pacífico donde se observó la mayor variación y en el Golfo la menor (Tabla A1.1.1-A1.1.4 y Figuras A1.1.1-A1.1.4).

**Tabla A1.1.1** Medidas descriptivas de la variable longitud (mm) registradas en las bellotas de *Q. brandegeei* en las diferentes regiones.

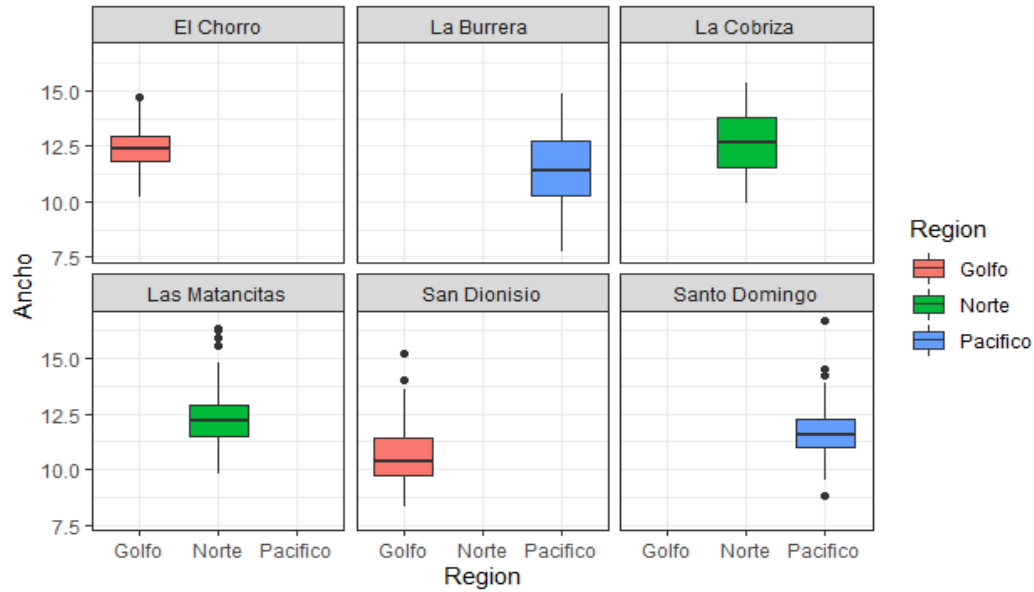
Región	Promedio	Localidad	Promedio	Árbol	N	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo
Golfo	35.76	San Dionisio	36.30	SD-1	50	38.00	2.01	5.30	34.56	41.87
				SD-2	50	33.65	2.63	7.81	28.13	39.47
				SD-3	50	37.32	2.28	6.12	32.02	42.17
				SD-9	50	36.77	2.59	7.05	30.01	41.91
		El Chorro	35.09	SD-10	50	35.75	1.82	5.10	31.91	40.39
				EC-5	50	35.13	1.99	5.68	29.24	37.97
				EC-6	50	33.76	1.99	5.90	28.56	37.39
				EC-7	50	35.51	2.31	6.49	30.66	41.01
Pacífico	36.97	La Burrera	36.04	EC-8	50	35.97	1.67	4.64	31.68	39.58
				LB-12	50	31.43	2.07	6.59	26.44	35.49
				LB-13	50	37.53	2.70	7.21	28.75	44.15
				LB-14	50	34.96	2.45	7.01	30.18	40.48
		Santo Domingo	38.64	LB-15	50	40.25	2.18	5.43	34.82	46.08
				SDO-16	50	40.51	2.03	5.00	35.43	44.37
				SDO-17	39	40.80	2.08	5.09	36.38	46.34
				SDO-18	22	30.54	2.95	9.66	23.18	35.36
Norte	36.03	Las Matancitas	36.67	LM-19	50	37.50	3.25	8.66	30.60	42.90
				LM-20	50	34.39	1.77	5.16	28.65	37.28
				LM-21	50	38.95	2.30	5.91	33.87	43.30
				LM-22	50	34.57	2.01	5.82	29.53	38.75
		La Cobriza	34.96	LM-23	50	37.92	2.18	5.76	33.27	42.06
				LC-24	50	34.77	1.96	5.64	29.93	39.33
				LC-25	50	35.12	1.58	4.50	32.10	38.77
				LC-26	50	35.00	1.49	4.27	31.77	38.63



**Figura A1.1.1** Box plots de la longitud de las bellotas de *Q. brandegeei* de las seis localidades de colecta en las tres regiones (Golfo = Rosa, Pacífico = Azul y Norte = Verde). La línea horizontal negra representa la mediana de los datos y los puntos son valores extremos.

**Tabla A1.1.2.** Medidas descriptivas de la variable ancho (mm) registradas en las bellotas de *Q. brandegeei* en las diferentes regiones.

Región	Promedio	Localidad	Promedio	Árbol	N	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo	
Golfo	11.43	San Dionisio	10.65	SD-1	50	10.87	0.80	7.37	8.47	12.41	
				SD-2	50	11.37	0.79	6.91	8.29	12.06	
				SD-3	50	9.90	0.69	6.95	8.50	11.88	
				SD-9	50	12.53	0.88	7.00	10.12	15.25	
		El Chorro	12.40	EC-5	50	11.92	0.76	6.36	10.22	13.16	
				EC-6	50	13.18	0.78	5.92	11.50	14.69	
				EC-7	50	12.07	0.71	5.88	10.71	13.70	
				EC-8	50	12.43	0.67	5.42	10.51	13.63	
Pacífico	11.51	La Burrera	11.43	LB-12	50	10.68	0.53	4.99	9.60	11.90	
				LB-13	50	9.47	0.72	7.57	7.71	10.98	
				LB-14	50	12.42	0.71	5.74	10.62	13.95	
		Santo Domingo		LB-15	50	13.13	0.66	5.06	11.58	14.83	
				SDO-16	50	11.03	0.51	4.61	9.80	12.17	
				SDO-17	39	12.09	0.90	7.47	10.60	16.69	
Norte	12.42	Las Matancitas	12.29	SDO-18	22	12.38	1.36	10.98	8.80	14.49	
				LM-19	50	12.10	0.83	6.87	9.80	13.90	
				LM-20	50	11.72	0.58	4.95	10.49	13.17	
				LM-21	50	13.19	1.20	9.10	11.01	16.35	
		La Cobriza		12.65	LM-22	50	13.02	0.85	6.55	9.82	14.50
					LM-23	50	11.43	0.64	5.58	10.35	13.20
					LC-24	50	12.83	0.81	6.35	11.18	14.88
					LC-25	50	13.84	0.53	3.80	12.41	15.37
		LC-26	50	11.27	0.60	5.35	9.94	12.66			

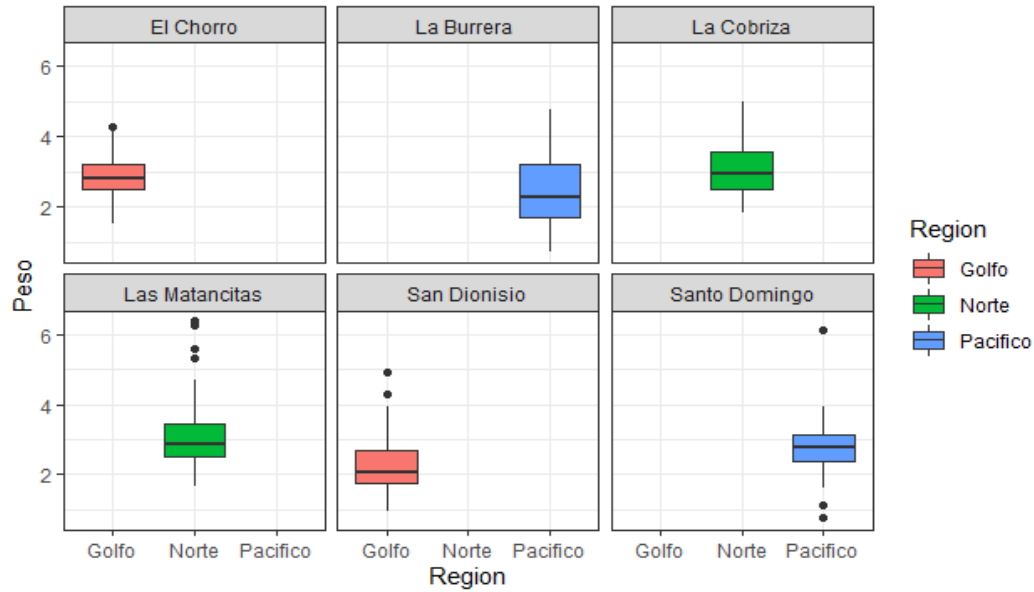


**Figura A1.1.2.** Box plots del ancho de las bellotas de *Q. brandegeei* de las seis localidades de colecta en las tres regiones (Golfo = Rosa, Pacifico = Azul y Norte = Verde). La línea horizontal negra representa la mediana de los datos y los puntos son valores extremos.

**Tabla A1.1.3.** Medidas descriptivas de la variable peso (g) registradas en las bellotas de *Q. brandegeei* en las diferentes regiones.

Región	Promedio	Localidad	Promedio	Árbol	N	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo
Golfo	2.51	San Dionisio	2.23	SD-1	50	2.51	0.46	18.25	1.42	3.61
				SD-2	50	1.78	0.37	21.02	0.95	2.61
				SD-3	50	1.93	0.35	18.10	1.28	3.00
				SD-9	50	3.16	0.59	18.78	1.54	4.92
				SD-10	50	1.77	0.27	15.15	1.23	2.47
		El Chorro	2.86	EC-5	50	2.55	0.42	16.65	1.52	3.29
				EC-6	50	3.21	0.53	16.60	2.24	4.26
				EC-7	50	2.77	0.45	16.14	1.81	3.59
				EC-8	50	2.90	0.43	14.87	1.73	3.83
Pacifico	2.57	La Burrera	2.47	LB-12	50	1.77	0.28	16.03	1.31	2.39
				LB-13	50	1.63	0.37	22.67	0.70	2.45
				LB-14	50	2.88	0.52	18.12	1.65	3.94
				LB-15	50	3.62	0.46	12.78	2.58	4.76
		Santo Domingo	2.74	SDO-16	50	2.54	0.29	11.53	1.84	3.23
				SDO-17	39	3.24	0.57	17.59	2.27	6.13
				SDO-18	22	2.33	0.75	32.18	0.78	3.84
Norte	3.05	Las Matancitas	3.04	LM-19	50	3.06	0.51	16.70	1.76	3.97
				LM-20	50	2.51	0.30	11.85	1.94	3.44
				LM-21	50	3.82	0.87	22.67	2.28	6.38
				LM-22	50	3.16	0.50	15.72	1.65	4.09
				LM-23	50	2.66	0.35	13.25	2.03	3.60
		La Cobriza	3.06	LC-24	50	3.06	0.49	16.05	2.19	4.61
				LC-25	50	3.68	0.42	11.45	2.92	5.01
				LC-26	50	2.43	0.30	12.23	1.85	3.26

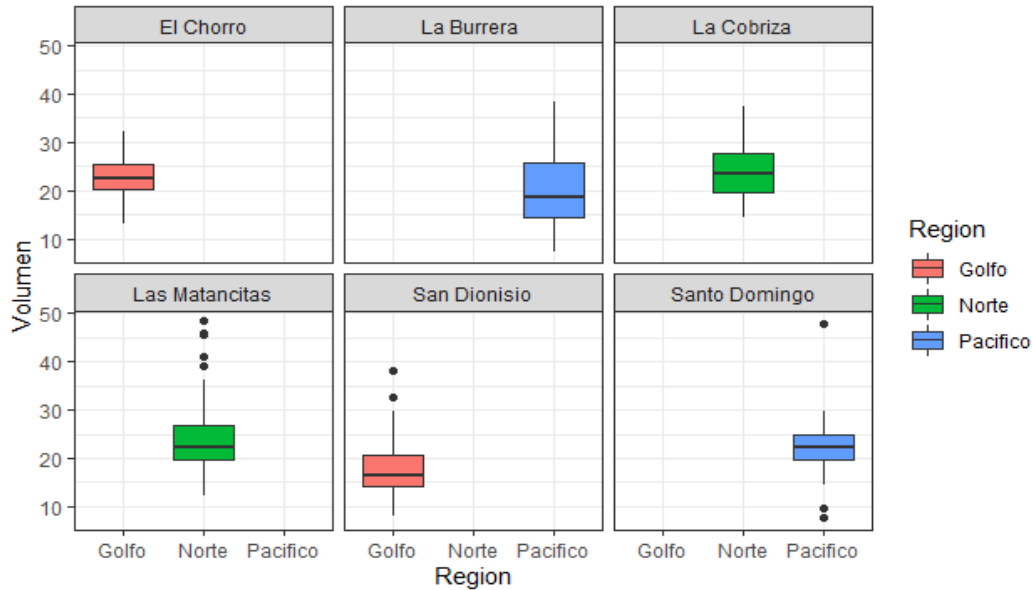




**Figura A1.1.3.** Box plots del peso de las bellotas de *Q. brandegeei* de las seis localidades de colecta en las tres regiones (Golfo = Rosa, Pacífico = Azul y Norte = Verde). La línea horizontal negra representa la mediana de los datos y los puntos son valores extremos.

**Tabla A1.1.4.** Medidas descriptivas de la variable volumen ( $\text{cm}^3$ ) registradas en las bellotas de *Q. brandegeei* en las diferentes regiones.

Región	Promedio	Localidad	Promedio	Árbol	N	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo		
Golfo	19.89	San Dionisio	17.61	SD-1	50	18.96	3.19	16.85	10.79	27.01		
				SD-2	50	14.75	2.90	19.68	8.16	22.69		
				SD-3	50	15.46	2.90	18.76	11.04	24.93		
				SD-9	50	24.41	4.52	18.51	12.87	38.04		
		El Chorro	22.75			EC-5	50	21.06	3.41	16.19	13.24	26.32
						EC-6	50	24.74	3.98	16.09	17.53	32.33
						EC-7	50	21.81	3.35	15.36	15.35	27.45
						EC-8	50	23.41	3.28	14.01	14.66	30.75
Pacífico	20.99	La Burrera	20.33	LB-12	50	15.10	2.07	13.74	10.70	18.82		
				LB-13	50	14.25	2.78	19.49	7.16	21.26		
				LB-14	50	22.76	3.61	15.86	14.29	29.58		
				LB-15	50	29.23	3.95	13.53	20.78	38.39		
		Santo Domingo	22.18			SDO-16	50	20.73	2.54	12.26	15.14	26.73
						SDO-17	39	25.18	4.67	18.53	17.12	47.91
						SDO-18	22	20.16	5.56	27.58	7.52	29.66
Norte	23.57	Las Matancitas	23.51	LM-19	50	23.31	4.69	20.14	12.31	32.53		
				LM-20	50	19.83	2.29	11.56	15.04	25.34		
				LM-21	50	28.82	6.71	23.29	17.20	48.49		
				LM-22	50	24.75	4.02	16.26	12.67	32.87		
		La Cobriza	23.69			LC-23	50	20.82	2.84	13.64	16.40	28.19
						LC-24	50	24.15	3.96	16.39	17.14	36.48
						LC-25	50	28.23	2.77	9.83	21.38	37.45
						LC-26	50	18.68	2.30	12.31	14.32	25.49



**Figura A1.1.4.** Box plots del volumen de las bellotas de *Q. brandegeei* de las seis localidades de colecta en las tres regiones (Golfo = Rosa, Pacífico = Azul y Norte = Verde). La línea horizontal negra representa la mediana de los datos y los puntos son valores extremos.

## 1.2 Selección del modelo óptimo mediante LMM (Linear Mixed Models) de las variables que afectan la morfología de las bellotas de *Q. brandegeei*

La selección del modelo óptimo en LMM sigue un procedimiento de cinco pasos (Crawley, 2007; Zuur *et al.*, 2009) 1) La selección de modelo comienza con un modelo donde la parte fija contenga tantas variables explicativas e interacciones como sea posible (modelo más allá del óptimo), 2) se elige la estructura aleatoria óptima comparando modelos anidados estimados mediante máxima verosimilitud restringida (REML), 3) una vez que se haya determinado la estructura aleatoria, la estructura fija óptima es seleccionada comparado modelos anidados de la misma manera que el paso 2 pero usando máxima verosimilitud (ML), 4) se presentan los resultados del modelo óptimo (Paso 4) mediante la estimación REML, 5) finalmente, los residuos son evaluados para verificar la normalidad y homogeneidad para de esta manera validar el modelo óptimo.

En la selección del modelo óptimo de las variables que afectan la longitud de las bellotas de *Q. brandegeei*, solo se incluyó el factor aleatorio correspondiente al “Árbol” (árbol madre) (Tabla A1.2.1, A1.2.2 y Figura A1.2.1).

**Tabla A1.2.1.** Selección del modelo óptimo de las variables que afectan al tamaño de las bellotas (longitud) de *Q. brandegeei* (n= 1161). Los modelos más parsimoniosos correspondieron a los modelos que mostraron valores de AIC más bajos.

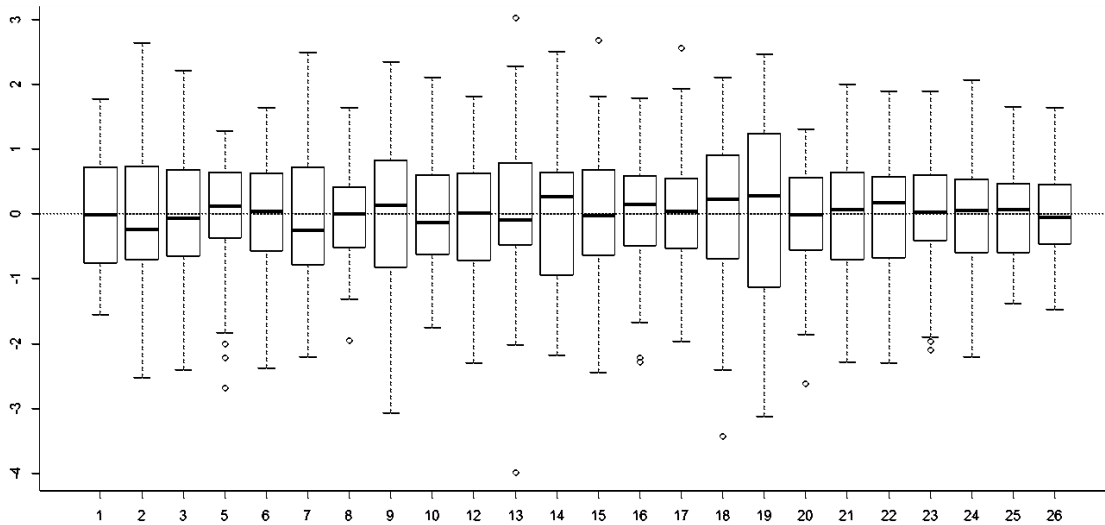
Modelos	AIC	Test
Selección de los efectos aleatorios		
1. Región	6009.451	
2. Región + (1   Árbol)	<b>5228.675</b>	<b>1. vs 2.</b>
3. Región + (1   Región   Árbol)	5229.053	2. vs 3.
Selección de los efectos fijos		
4. Intercept + (1   Árbol)	<b>5230.128</b>	
5. Intercept + Región + (1   Árbol)	5233.701	<b>4. vs 5.</b>
Modelo óptimo		
Intercept + (1   Árbol)		

**Tabla A1.2.2.** Modelo de mejor ajuste de acuerdo a las comparaciones de modelos basados en el AIC de las variables que afectan la longitud de las bellotas de *Q. brandegeei* (n= 1161).

Modelo lineal mixto : Longitud de la bellotas				
Efecto aleatorio = Árbol, varianza = 2.20, SD = 2.57				
	Estimate	Std. Error	t-value	P-value
(Intercept)	36.090	0.529	-8.418	0.0

AIC = 5229.5; log likelihood = -2611.8, d.f. residuals = 1137

Con respecto al modelo óptimo, la parte de los resultados que se refiere a los efectos aleatorios nos muestra que la varianza residual fue  $\sigma^2 = 2.20^2$  y la varianza de la constante  $\sigma_a^2 = 2.57^2$ . Para la parte de los efectos fijos solo la constante fue estimada  $\alpha = 36.09$ .



**Figura A1.2.1.** Diagrama de cajas de los residuos estandarizados obtenidos mediante la aplicación del modelo optimo sobre los datos del tamaño de las bellotas (longitud). Muestra los valores de los residuos (eje-y) correspondientes a cada individuo materno (eje-x; factor anidado). Valores por encima y por debajo de la línea cero indican un efecto del factor anidado. Los primeros 9 individuos corresponden a poblaciones de la región Golfo, los 7 siguientes a poblaciones de la región Pacífico y los últimos 8 a poblaciones de la región Norte (n= 1,161).

**Tabla A1.2.3** Selección del modelo óptimo de las variables que afectan al tamaño de las bellotas (ancho) de *Q. brandegeei* (n= 1161). Los modelos más parsimoniosos correspondieron a los modelos que mostraron valores de AIC más bajos.

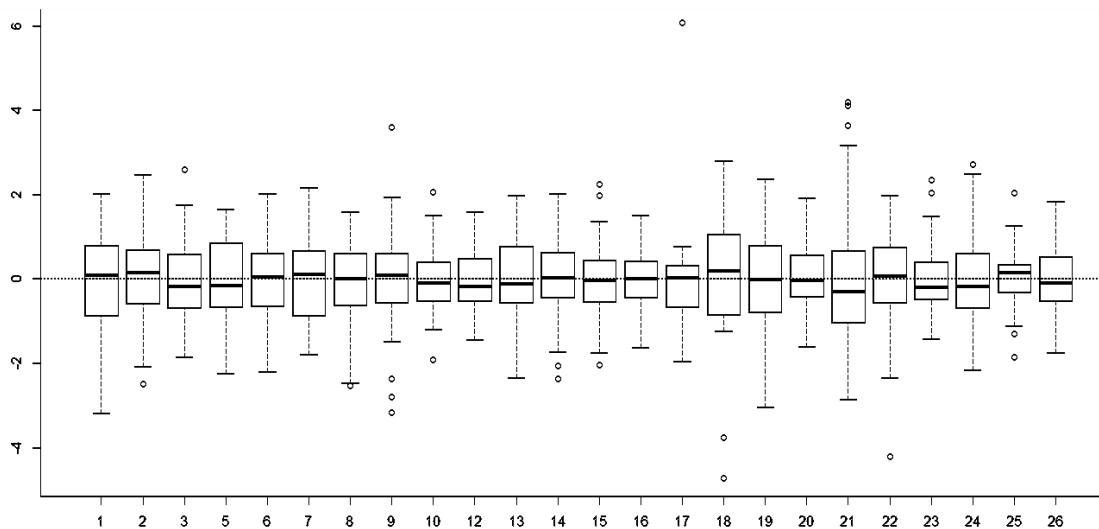
Modelos	AIC	Test
Selección de los efectos aleatorios		
1. Región	3975.571	
2. Región + (1   Árbol)	<b>2772.283</b>	<b>1. vs 2.</b>
3. Región + (1   Región   Árbol)	2774.283	2. vs 3.
Selección de los efectos fijos		
4. Intercept + (1   Árbol)	<b>2771.911</b>	
5. Intercept + Región + (1   Árbol)	2772.281	<b>4. vs 5.</b>
Modelo óptimo		
Intercept + (1   Árbol)		

En la selección del modelo óptimo de las variables que afectan el ancho de las bellotas de *Q. brandegeei*, siguiendo el mismo procedimiento anterior, nuevamente solo se incluyó el factor aleatorio correspondiente al “Árbol” (árbol madre), (Tabla A1.2.3, A1.2.4 y Figura A1.2.2).

**Tabla A1.2.4.** Modelo de mejor ajuste de acuerdo a las comparaciones de modelos basados en el AIC de las variables que afectan el ancho de las bellotas de *Q. brandegeei* (n= 1161).

Modelo lineal mixto : Ancho de la bellotas				
Efecto aleatorio = Árbol, varianza = 0.76, SD = 1.19				
	Estimate	Std. Error	t-value	P-value
(Intercept)	11.810	0.244	48.22133	0.0

AIC = 2772.9; log likelihood = -1383.4, d.f. residuals = 1137



**Figura A1.2.2.** Diagrama de cajas de los residuos estandarizados obtenidos mediante la aplicación del modelo óptimo (Tabla A3.4) sobre los datos del tamaño de las bellotas (ancho). Muestra los valores de los residuos (eje-y) correspondientes a cada individuo materno (eje-x; factor anidado). Valores por encima y por debajo de la línea cero indican un efecto del factor anidado. Los primeros 9 individuos corresponden a poblaciones de la región Golfo, los 7 siguientes a poblaciones de la región Pacífico y los últimos 8 a poblaciones de la región Norte (n= 1,161).

En la selección del modelo óptimo de las variables que afectan el peso de las bellotas de *Q. brandegeei*, se incluyó el factor aleatorio correspondiente al “Árbol” (árbol madre) y a la región como factor fijo (Tabla A1.2.4, A1.2.5 y Figura A1.2.3).

En el modelo óptimo la varianza residual fue de  $\sigma^2 = 0.17$  y la varianza para la constante fue de  $\sigma_a^2 = 0.24$  (este es el efecto estimado por el árbol madre, es decir el factor aleatorio). De las tres regiones de procedencia de la bellota, el modelo solo incluyó la región Golfo (representada por la constante del modelo) dejando fuera a las otras dos regiones debido a su bajo nivel de significancia.

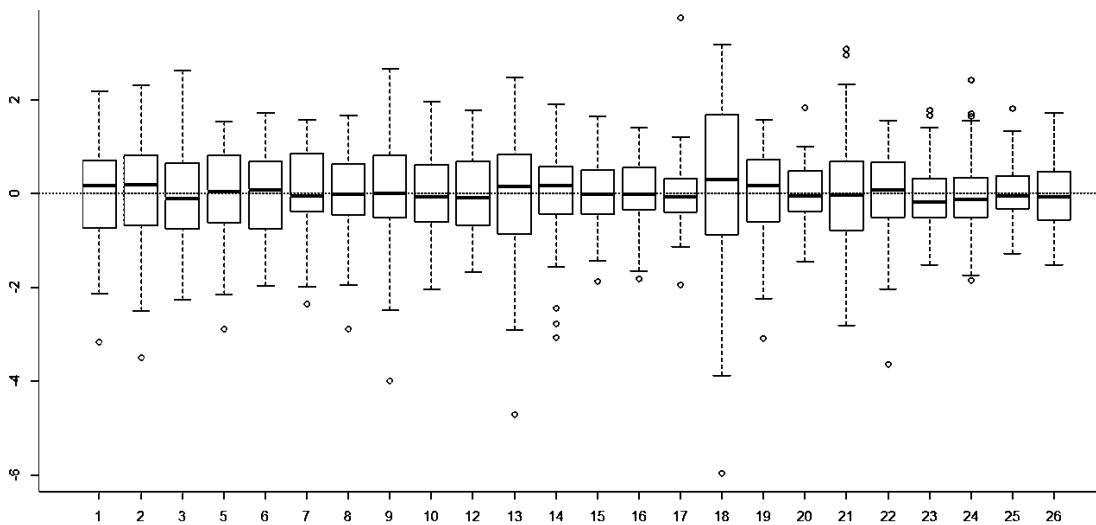
**Tabla A1.2.4.** Selección del modelo óptimo de las variables que afectan al tamaño de las bellotas (peso) de *Q. brandegeei* (n= 1161). Los modelos más parsimoniosos correspondieron a los modelos que mostraron valores de AIC más bajos.

Modelos	AIC	Test
Selección de los efectos aleatorios		
1. Región	2586.884	
2. Región + (1   Árbol)	<b>1629.248</b>	<b>1. vs 2.</b>
3. Región + (1   Región   Árbol)	1631.248	2. vs 3.
Selección de los efectos fijos		
4. Intercept + (1   Árbol)	1625.368	
5. Intercept + Región + (1   Árbol)	<b>1625.292</b>	<b>4. vs 5.</b>
Modelo óptimo		
Intercept + Región + (1   Árbol)		

**Tabla A1.2.5.** Modelo de mejor ajuste de acuerdo a las comparaciones de modelos basados en el AIC de las variables que afectan el peso de las bellotas de *Q. brandegeei* (n= 1161).

<b>Modelo lineal mixto : Peso de la bellotas</b>				
<b>Efecto aleatorio = Árbol, varianza = 0.17, SD = 0.24</b>				
	<b>Estimate</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t-value</b>	<b>P-value</b>
(Intercept)	0.879	0.079	11.081	0.0000
Región Norte	0.210	0.098	2.147	0.0436
Región Pacífico	0.008	0.140	0.056	0.9561

AIC = -629.30; log likelihood = 324.65, d.f. residuals = 1137



**Figura A1.2.3.** Diagrama de cajas de los residuos estandarizados obtenidos mediante la aplicación del modelo optimo sobre los datos del tamaño de las bellotas (peso). Muestra los valores de los residuos (eje-y) correspondientes a cada individuo materno (eje-x; factor anidado). Valores por encima y por debajo de la línea cero indican un efecto del factor anidado. Los primeros 9 individuos corresponden a poblaciones de la región Golfo, los 7 siguientes a poblaciones de la región Pacífico y los últimos 8 a poblaciones de la región Norte (n= 1,161).

Finalmente, para la selección del modelo óptimo de las variables que afectan el volumen de las bellotas de *Q. brandegeei*. Se incluyó el factor aleatorio correspondiente al “Árbol” (árbol madre) y a la región como factor fijo (Tabla A1.2.6, A1.2.7 y Figura A1.2.4).

**Tabla A1.2.6.** Selección del modelo óptimo de las variables que afectan al tamaño de las bellotas (volumen) de *Q. brandegeei* (n= 1161). Los modelos más parsimoniosos correspondieron a los modelos que mostraron valores de AIC más bajos.

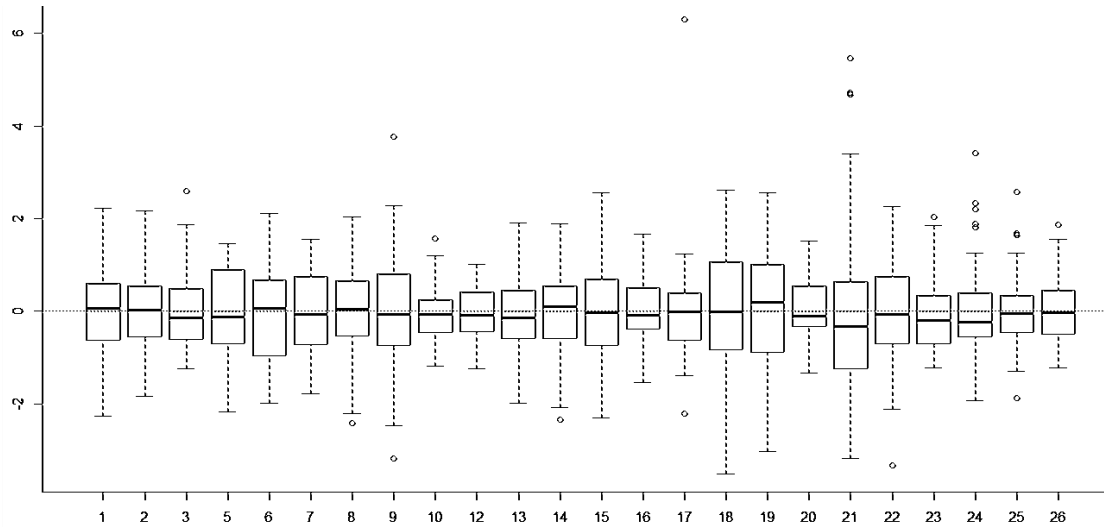
Modelos	AIC	Test
Selección de los efectos aleatorios		
1. Región	7255.496	
2. Región + (1   Árbol)	<b>6383.232</b>	<b>1. vs 2.</b>
3. Región + (1   Región   Árbol)	6385.232	2. vs 3.
Selección de los efectos fijos		
4. Intercept + (1   Árbol)	<b>6390.461</b>	
5. Intercept + Región + (1   Árbol)	6391.192	<b>4. vs 5.</b>
Modelo óptimo		
Intercept + (1   Árbol)		

**Tabla A1.2.7.** Modelo de mejor ajuste de acuerdo a las comparaciones de modelos basados en el AIC de las variables que afectan el volumen de las bellotas de *Q. brandegeei* (n= 1161).

Modelo lineal mixto : Volumen de la bellotas				
Efecto aleatorio = Árbol, varianza = 3.62, SD = 4.46				
	Estimate	Std. Error	t-value	P-value
(Intercept)	21.460	0.916	23.422	0.0

AIC = 6388.8; log likelihood = -3191.4, d.f. residuals = 1137





**Figura A1.2.4.** Diagrama de cajas de los residuos estandarizados obtenidos mediante la aplicación del modelo optimo (Tabla A7) sobre los datos del tamaño de las bellotas (volumen). Muestra los valores de los residuos (eje-y) correspondientes a cada individuo materno (eje-x; factor anidado). Valores por encima y por debajo de la línea cero indican un efecto del factor anidado. Los primeros 9 individuos corresponden a poblaciones de la región Golfo, los 7 siguientes a poblaciones de la región Pacífico y los últimos 8 a poblaciones de la región Norte (n= 1,161).

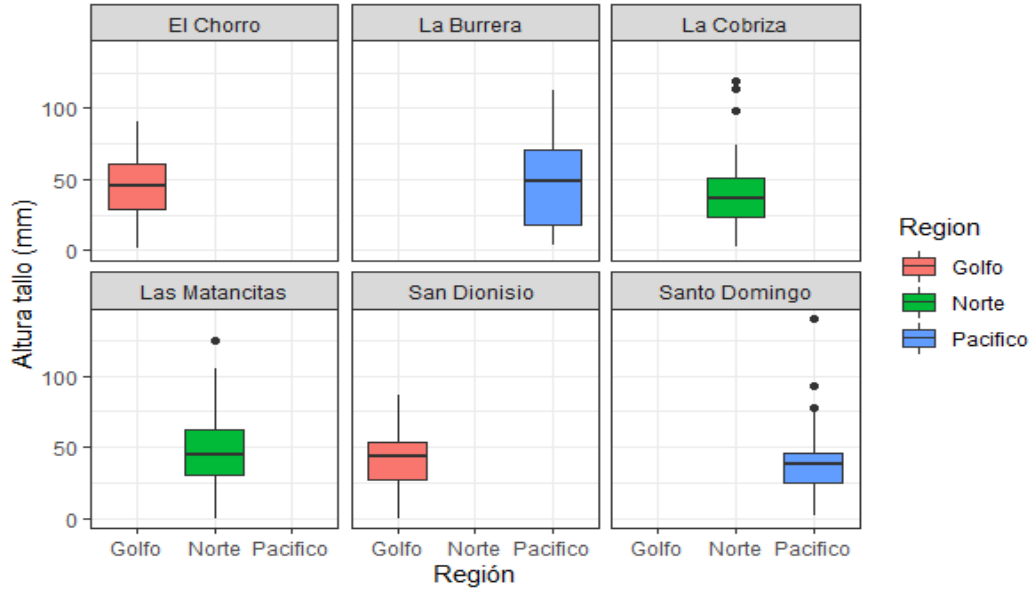
## ANEXO 2

### 2.1 Análisis exploratorio de las variables de crecimiento de las plántulas de *Q. brandegeei*

Se observaron valores muy distintos del crecimiento en la altura y diámetro de los tallos y en el número de hojas de las plántulas en las diferentes procedencias. En las plantas de la región Norte se observaron valores promedio más altos en la altura de los tallos y el número de hojas, mientras que en el Golfo el promedio del diámetro basal fue mayor (Tabla A2.1.1-A2.1.3 y Figuras A2.1.1-A2.1.3).

**Tabla A2.1.1.** Medidas descriptivas de la variable altura del tallo (mm) registradas en las plántulas de *Q. brandegeei* en las diferentes regiones.

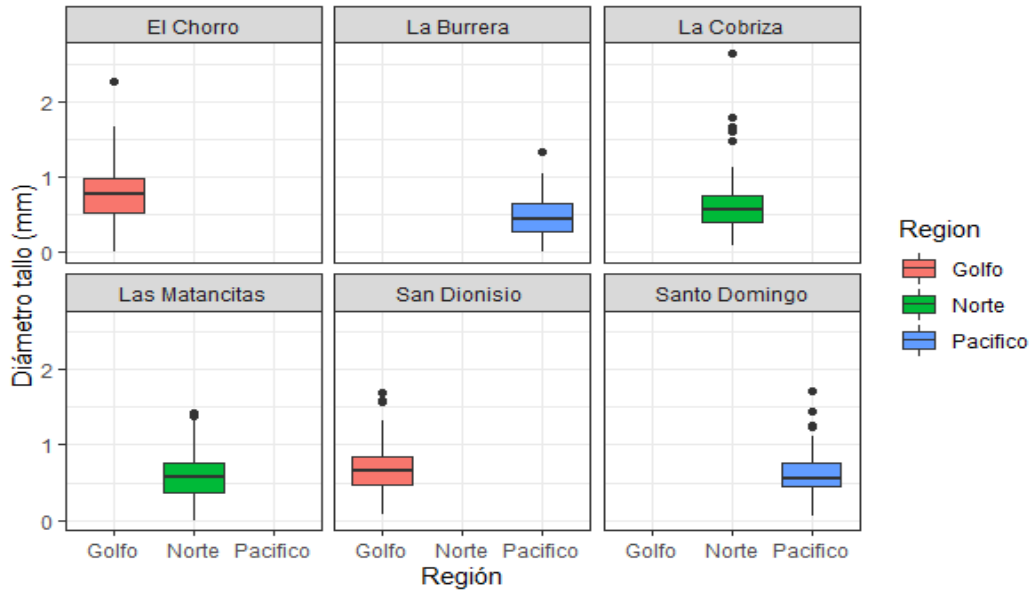
Región	Promedio	Localidad	Promedio	Árbol	N	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo
Golfo	43.36	San Dionisio	42.03	SD-1	25	42.64	19.45	45.63	0	83
				SD-2	21	34.43	15.39	44.71	6	66
				SD-3	17	42.59	20.28	47.62	17	82
				SD-9	31	45.35	18.45	40.68	9	86
	45.20	El Chorro	SD-10	17	43.88	20.67	47.10	6	81	
			EC-5	24	49.46	17.93	36.25	9	76	
			EC-6	17	33.41	19.33	57.86	2	78	
			EC-7	19	58.26	18.22	31.28	10	87	
Pacífico	41.58	La Burrera	46.42	LB-12	10	18.20	11.08	60.90	4	38
				LB-13	5	12.40	4.51	36.34	7	18
				LB-14	15	63.87	23.16	36.26	13	112
				LB-15	25	54.04	22.47	41.57	5	101
	38.33	Santo Domingo	SDO-16	45	34.82	15.61	44.82	7	73	
			SDO-17	32	47.44	24.40	51.43	13	140	
			SDO-18	5	11.60	12.14	104.63	2	30	
			Norte	43.82	Las Matancitas	46.28	LM-19	30	59.43	27.94
LM-20	36	44.61					20.70	46.40	0	78
LM-21	33	49.03					20.11	41.01	8	92
39.00	La Cobriza	LM-22		42	43.79	18.24	41.66	3	95	
		LM-23		33	36.58	23.88	65.28	3	85	
		LC-24		25	37.00	15.36	41.51	5	68	
LC-25	LC-26	LC-25	26	26.46	17.89	67.60	4	67		
		LC-26	38	48.89	25.44	52.04	3	119		



**Figura A2.1.1.** Box plots del crecimiento en altura del tallo de las plántulas de *Q. brandegeei* de las seis localidades de colecta en las tres regiones (Golfo = Rosa, Pacífico = Azul y Norte = Verde). La línea horizontal negra representa la mediana de los datos y los puntos son valores extremos.

**Tabla A2.1.2.** Medidas descriptivas de la variable diámetro del tallo (mm) registradas en las plántulas de *Q. brandegeei* en las diferentes regiones.

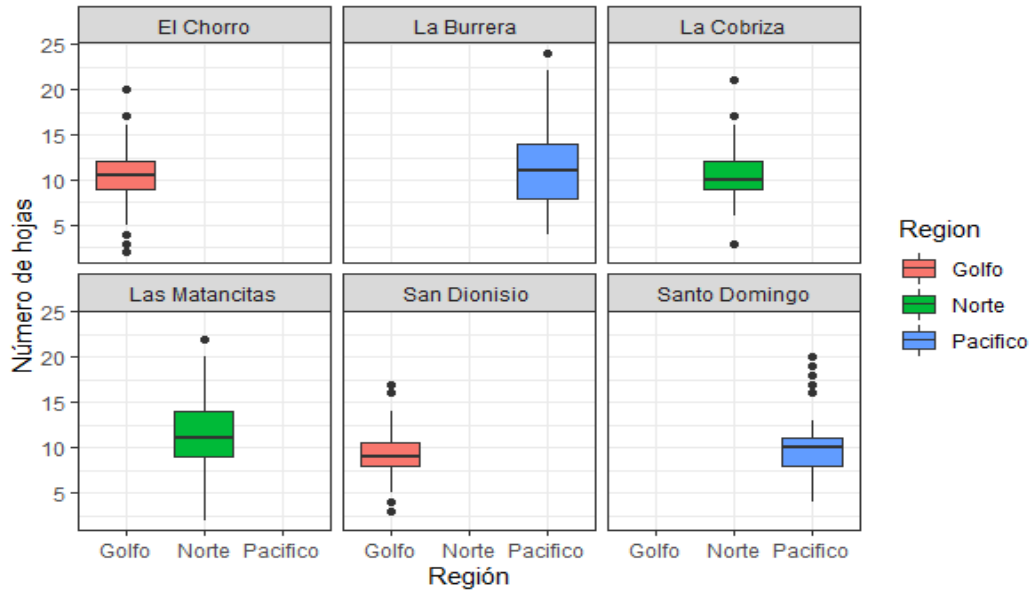
Región	Promedio	Localidad	Promedio	Árbol	N	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo
Golfo	0.72	San Dionisio	0.68	SD-1	25	0.71	0.30	41.74	0.08	1.6
				SD-2	21	0.66	0.30	45.76	0.18	1.33
				SD-3	17	0.72	0.27	37.73	0.16	1.13
				SD-9	31	0.62	0.25	40.76	0.13	1.01
	0.78	El Chorro	0.78	SD-10	17	0.69	0.44	63.46	0.1	1.69
				EC-5	24	1.00	0.42	41.98	0.32	2.27
				EC-6	17	0.74	0.20	27.43	0.43	1.25
				EC-7	19	0.82	0.30	36.43	0.3	1.3
Pacifico	0.56	La Burrera	0.48	EC-8	20	0.49	0.36	73.11	0.01	1.67
				LB-12	10	0.36	0.16	43.63	0.11	0.59
				LB-13	5	0.27	0.22	79.02	0	0.52
				LB-14	15	0.51	0.29	55.45	0.07	1.03
	0.60	Santo Domingo	0.60	LB-15	25	0.56	0.30	52.77	0.03	1.34
				SDO-16	45	0.55	0.23	41.79	0.06	1.26
				SDO-17	32	0.72	0.33	46.28	0.2	1.71
				SDO-18	5	0.39	0.11	28.78	0.27	0.49
Norte	0.60	Las Matancitas	0.58	LM-19	30	0.59	0.34	58.31	0.1	1.42
				LM-20	36	0.68	0.19	28.47	0.23	1.13
				LM-21	33	0.37	0.28	75.48	0	1
				LM-22	42	0.57	0.28	48.73	0.2	1.39
				LM-23	33	0.70	0.34	47.83	0.01	1.42
	0.63	La Cobriza	0.63	LC-24	25	0.53	0.30	55.37	0.09	1.61
				LC-25	26	0.94	0.48	51.42	0.43	2.65
				LC-26	38	0.48	0.21	42.85	0.1	0.88



**Figura A2.1.2.** Box plots del crecimiento diámetro de las bellotas de *Q. brandegeei* de las seis localidades de colecta en las tres regiones (Golfo = Rosa, Pacífico = Azul y Norte = Verde). La línea horizontal negra representa la mediana de los datos y los puntos son valores extremos.

**Tabla A2.1.3.** Medidas descriptivas de la variable número de hojas registradas en las plántulas de *Q. brandegeei* en las diferentes regiones.

Región	Promedio	Localidad	Promedio	Árbol	N	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente Variación (%)	Mínimo	Máximo
Golfo	9.65	San Dionisio	9.14	SD-1	25	9.24	2.73	29.52	4	17
				SD-2	21	8.38	2.20	26.27	3	12
				SD-3	17	9.06	2.33	25.73	5	13
				SD-9	31	9.71	1.51	15.55	7	12
	10.38	El Chorro	SD-10	17	8.94	3.19	35.69	4	16	
			EC-5	24	10.83	3.76	34.72	3	20	
			EC-6	17	9.71	3.24	33.34	4	16	
			EC-7	19	11.58	2.32	20.01	7	17	
9.25			EC-8	20	9.25	2.79	30.15	2	14	
Pacífico	10.42	La Burrera	11.04	LB-12	10	6.20	1.40	22.56	4	8
				LB-13	5	5.60	1.52	27.08	4	8
				LB-14	15	13.33	3.35	25.14	8	22
				LB-15	25	12.68	3.60	28.41	8	24
	10.01	Santo Domingo	SDO-16	45	8.93	2.15	24.03	5	16	
			SDO-17	32	11.97	3.17	26.46	7	20	
			SDO-18	5	7.20	2.77	38.54	4	11	
Norte	11.18	Las Matancitas	11.50	LM-19	30	14.17	3.79	26.74	9	22
				LM-20	36	12.78	3.46	27.05	6	22
				LM-21	33	11.39	3.53	31.03	2	18
				LM-22	42	9.88	2.57	25.99	6	18
	10.56	La Cobriza	LM-23	33	9.85	2.22	22.58	5	15	
			LC-24	25	9.64	2.04	21.15	6	15	
			LC-25	26	9.27	2.25	24.33	3	13	
			LC-26	38	12.05	2.72	22.57	7	21	



**Figura A2.1.3.** Box plots del número de hojas de las plántulas de *Q. brandegeei* de las seis localidades de colecta en las tres regiones (Golfo = Rosa, Pacífico = Azul y Norte = Verde). La línea horizontal negra representa la mediana de los datos y los puntos son valores extremos.

## 2.2 Selección del modelo óptimo mediante LMM (Linear Mixed Models) de las variables que afectan el crecimiento de las plántulas de *Q. brandegeei*

La selección del modelo óptimo en LMM sigue un procedimiento de cinco pasos (Crawley, 2007; Zuur *et al.*, 2009) 1) La selección de modelo comienza con un modelo donde la parte fija contenga tantas variables explicativas e interacciones como sea posible (modelo más allá del óptimo), 2) se elige la estructura aleatoria óptima comparando modelos anidados estimados mediante máxima verosimilitud restringida (REML), 3) una vez que se haya determinado la estructura aleatoria, la estructura fija óptima es seleccionada comparado modelos anidados de la misma manera que el paso 2 pero usando máxima verosimilitud (ML), 4) se presentan los resultados del modelo óptimo (Paso 4) mediante la estimación REML, 5) finalmente, los residuos son evaluados para verificar la normalidad y homogeneidad para de esta manera validar el modelo óptimo.

En la selección del modelo óptimo de las variables que afectan la altura de las plántulas de *Q. brandegeei*, solo se incluyó el factor aleatorio correspondiente al "Árbol" (árbol madre) (Tabla A2.2.1-A2.2.2).

**Tabla A2.2.1.** Selección del modelo óptimo de las variables que influyen en la altura de las plántulas (altura del tallo) de *Q. brandegeei* (n= 591). Los modelos más parsimoniosos correspondieron a los modelos que mostraron valores de AIC más bajos.

Modelos	AIC	Test
Selección de los efectos aleatorios		
6. Región	5347.933	
7. Región + (1   Árbol)	<b>5288.049</b>	<b>1. vs 2.</b>
8. Región + (1   Región / Árbol)	5290.049	2. vs 3.
Selección de los efectos fijos		
9. Intercept + (1   Árbol)	<b>5299.492</b>	
10. Intercept + Región + (1   Árbol)	5302.25	<b>4. vs 5.</b>
Modelo óptimo		
Intercept + (1   Árbol)		

**Tabla A2.2.2.** Modelo de mejor ajuste de acuerdo a las comparaciones de modelos basados en el AIC de las variables que afectan la altura de las plántulas de *Q. brandegeei* (n= 591).

Modelo lineal mixto : Altura del tallo de las plántulas				
Efecto aleatorio = Árbol, varianza = 20.48, SD = 10.98				
	Estimate	Std. Error	t-value	P-value
(Intercept)	41.57922	2.435719	17.07061	0.0

AIC = 5295.90; log likelihood = -2644.95, d.f. residuals = 567

Con respecto al modelo óptimo, la parte de los resultados que se refiere a los efectos aleatorios nos muestra que la varianza residual fue  $\sigma^2 = 20.48^2$  y la varianza de la constante  $\sigma_a^2 = 10.98^2$ . Para la parte de los efectos fijos solo la constante fue estimada  $\alpha = 41.58$ .

En la selección del modelo óptimo de las variables que afectan el diámetro del tallo de las plántulas de *Q. brandegeei*, se incluyó el factor aleatorio correspondiente al "Árbol" (árbol madre) y a la región como factor fijo (Tabla A2.2.3-A2.2.4).

**Tabla A2.2.3.** Selección del modelo óptimo de las variables que afectan al tamaño de las plántulas (diámetro del tallo) de *Q. brandegeei* (n= 591). Los modelos más parsimoniosos correspondieron a los modelos que mostraron valores de AIC más bajos.

<b>Modelos</b>	<b>AIC</b>	<b>Test</b>
Selección de los efectos aleatorios		
6. Región	380.0467	
7. Región + (1   Árbol)	<b>323.2834</b>	<b>1. vs 2.</b>
8. Región + (1   Región / Árbol)	325.2834	2. vs 3.
Selección de los efectos fijos		
9. Intercept + (1   Árbol)	314.4738	
10. Intercept + Región + (1   Árbol)	<b>311.1472</b>	<b>4. vs 5.</b>
Modelo óptimo		
Intercept + Región + (1   Árbol)		

En el modelo óptimo la varianza residual fue de  $\sigma^2 = 0.30^2$  y la varianza para la constante fue de  $\sigma_a^2 = 0.14^2$  (este es el efecto estimado por el árbol madre, es decir el factor aleatorio). De las tres regiones de procedencia de las plántulas, el modelo solo incluyo las regiones Golfo (representada por la constante del modelo) y Pacífico, dejando fuera a las del Norte.

**Tabla A2.2.4.** Modelo de mejor ajuste de acuerdo a las comparaciones de modelos basados en el AIC de las variables que afectan el diámetro basal de las plántulas de *Q. brandegeei* (n= 591).

<b>Modelo lineal mixto : Diámetro del tallo de las plántulas</b>				
<b>Efecto aleatorio = Árbol, varianza = 0.30, SD = 0.14</b>				
	<b>Estimate</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t-value</b>	<b>P-value</b>
(Intercept)	0.7181007	0.05098171	14.085456	0.0000
Región Norte	-0.1118158	0.07296359	-1.532487	0.1403
Región Pacífico	-0.2129238	0.07964671	-2.673353	0.0142

AIC = 323.2834; log likelihood = -156.6417, d.f. residuals = 567

Finalmente, en la selección del modelo óptimo de las variables que influyen en el número de hojas de las plántulas de *Q. brandegeei*, solo se incluyó el factor aleatorio correspondiente al “Árbol” (árbol madre) (Tabla A2.2.5-A2.2.6). En la parte de los resultados que se refiere a los efectos aleatorios del modelo de mejor ajuste la varianza residual fue  $\sigma^2 = 2.20^2$  y la varianza de la constante  $\sigma_a^2 = 2.57^2$ . Para la parte de los efectos fijos solo la constante fue estimada  $\alpha = 36.09$ .



**Tabla A2.2.5.** Selección del modelo óptimo de las variables que influyen en el número de hojas de las plántulas de *Q. brandegeei* (n= 591). Los modelos más parsimoniosos correspondieron a los modelos que mostraron valores de AIC más bajos.

Modelos	AIC	Test
Selección de los efectos aleatorios		
1. Región	3072.34	
2. Región + (1   Árbol)	<b>2967.731</b>	<b>1. vs 2.</b>
3. Región + (1   Región   Árbol)	2969.731	2. vs 3.
Selección de los efectos fijos		
4. Intercept + (1   Árbol)	<b>2970.178</b>	
5. Intercept + Región + (1   Árbol)	2970.961	<b>4. vs 5.</b>
Modelo óptimo		
Intercept + (1   Árbol)		

**Tabla A2.2.6.** Modelo de mejor ajuste de acuerdo a las comparaciones de modelos basados en el AIC de las variables que influyen en el número de hojas de las plántulas de *Q. brandegeei* (n= 591).

Modelo lineal mixto : Número de hojas de las plántulas				
Efecto aleatorio = Árbol, varianza = 2.83, SD = 1.92				
	Estimate	Std. Error	t-value	P-value
(Intercept)	10.1664	0.4146678	24.51698	0.0
AIC = 2970.125; log likelihood = -1482.062, d.f. residuals = 567				

### ANEXO 3.

#### 3.1 Formato para la realización de entrevistas con los habitantes de las comunidades en la Región del Cabo Baja California Sur.




---



---

#### PROYECTO DE TESIS

Evaluación de la Regeneración y Propagación del Encino Arroyero (*Quercus brandegeei*) de la Región del Cabo, B.C.S., México.

Cuestionario dirigido a los habitantes de las comunidades de la Región del Cabo B. C. S.

**Objetivo:** Conocer el uso y el aprovechamiento del encino arroyero en el área de estudio.

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Localidad: \_\_\_\_\_

- ¿Conoces el encino arroyero y en que sitios lo has visto?
- ¿Considera importante los encinares?
- ¿Usted considera que ha cambiado el número de encinares (aumentado, disminuido o igual)?
- ¿Usted considera que hay una regeneración natural de este árbol?
- ¿Cuáles son las principales afectaciones a los encinos? (sequía, depredación, (ganadería, consumo humano, huracanes, fuego)
- ¿Cómo se utilizan los encinos? (bellotas, hojas, ramas, tronco)
- ¿Sabes cuales son algunos beneficios o usos que se le da al encino arroyero?
- ¿Qué tipo de animales has visto que comen sus bellotas?
- ¿Son todos los años belloteros? (de qué depende que sea un año bellotero)
- ¿Cuál cree que sería la consecuencia de la perdida de esta especie (encino arroyero)? (Negativa positiva igual)
- ¿Cuáles serían sus recomendaciones para un plan de reforestación de encinos?