



# **El Colegio de la Frontera Sur**

## **Efecto de la procedencia en la germinación de las semillas de *Quercus rugosa* Née en Los Altos de Chiapas**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para optar al grado de  
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural  
Con orientación en Manejo y Conservación de los Recursos Naturales**

**Por**

**María Teresa Pérez Gómez**

**2016**



## El Colegio de la Frontera Sur

**San Cristóbal de las Casas, Chiapas, a 06 de junio de 2016**

Las personas abajo firmantes, integrantes del jurado examinador de la alumna **María Teresa Pérez Gómez** hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada: **Efecto de la procedencia en la germinación de las semillas de *Quercus rugosa* Née en Los Altos de Chiapas** para obtener el grado de **Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**.

	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>
<b>Directora:</b>	Dra. Lorena Ruíz Montoya	_____
<b>Asesor:</b>	Dr. Neptalí Ramírez Marcial	_____
<b>Asesor:</b>	Dr. Alejandro Nettel Hernanz	_____
<b>Sinodal adicional:</b>	Dra. María Lorena Soto Pinto	_____
<b>Sinodal adicional:</b>	Dra. Suria Gisela Vásquez Morales	_____
<b>Sinodal suplente:</b>	Dra. Sandra Chediack	_____

“Dedico a la vida, las plantas, árboles, bosques, las pequeñas y grandes cosas que en ellas coexisten, porque ellos son vida”

A mi pequeña, my baby... entre semilla y semilla vimos nacer las plántulas y el fruto de ahora.

A mi esposo, sin tu apoyo y compañía no hubiera sido posible.

A mis abuelos. Recibí de ustedes fortaleza y valor para seguir triunfando, - parece un sueño la usencia de sus rostros-

Donde quiera que estén los recordare siempre, mientras yo pueda respirar y decir: abuelo, abuela, familia, amigos,

todo es posible...

A mis papas:

Andrés Abel y María

A mis Hermanitos:

Juan Benito, Francisco Abraham, María de Lourdes y Rosa Angelina

## **Koliyal:**

koliyal li kuxlejale, li kajvaltike, li balamile, vinajele, skotol much'u chak' li kuxlejale, li yak'bon li jkuxleje, laj kil laj li jun vayichi li'e.

kolaval mee' ak'elbon li jnene'e, xchu'uk akoltao'on jun jun k'ak'al kucha'al laj ku'un li chanvune, kolaval...

Tot kolaval laj a kolta'on ta jset' ta jt'suj.

koliyal li jmalale, li jnene'e, ja yipal jol ko'on li vo'oxuke, kolavalik ti akoltaikone, tsobol kojtkintik k'uxelan li xanvil skuenta li chanumtasele.

Li jchi'iltake: Xun, Pancho, Angelina, Luli, ak'ome ch'akalotik yu'un tsobol ta xkik-jbatik'echel ta kuxlejal.

koliyal ch-kalbe li CONACYT xchi'uk li ECOSUR ti skoltaikontal ta stsutsesel li muk'ul chanvune. Ja yech xchanumtason, li sjambon li jchikine, li jsate.

Koliyal skotol li krixano much'u laj skoltao'on, laj yalvon mantal, laj xchinon ta xanvile. Kolavalik a kotolik.

## **Agradecimiento:**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada 307780-MTPG durante mi estancia en la maestría.

Al Colegio de la Frontera Sur por permitirme realizar mis estudios de maestría.

Esta tesis se realizó gracias al financiamiento del proyecto de Restauración Ecológica 2012 de la CONAFOR-Restauración ecológica del Cerrito de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

Infinitamente a la Dra. Lorena Ruíz Montoya, mi tutora, por creer en mí al aceptarme como su alumna. Por su enseñanza, paciencia, comprensión en irme preparando cada día mejor en la vida profesional. Por conducir esta tesis, muchas gracias.

A mis asesores: Dr. Neptalí Ramírez Marcial, por el apoyo brindado, los comentarios sobre “los encinos”. Es un placer platicar con usted por su amplio conocimiento sobre estos árboles y que de seguro será una inspiración para seguir explorando estos boques. Al Dr. Alejandro Nettel Hernanz por las observaciones y correcciones con los cuales la tesis fue mejorando.

A mis lectores: Dra. María Lorena Soto Pinto, Dra. Suria Gisela Vásquez Morales, Dra. Sandra Chediack que con sus observaciones y cometarios mejoro la tesis.

Agradezco especialmente a Henry E. Castañeda Ocaña, Alfonso Luna Gómez, Dennis Ochoa Barajas, Luís A. Sánchez Cervantes, José C. Vázquez Sántiz, Bárbara Cruz Salazar, Trinidad A. Guillen Díaz, León F. Mora Estrada, Chloe Bluet, por el gran apoyo en el trabajo en campo –sin ustedes no hubiera sido posible juntar, medir y sembrar las semillas-.

De nuevo a Dennis Ochoa Barrajas, GRANDOTA muchas gracias por el gran apoyo durante el trabajo de las mediciones de las semillas... fueron muchas semillas pero nos divertimos...

A Jorge Bolaños Cintalá por su apoyo en la identificación del depredador de mis semillas en campo – esas ratas me dieron mucha lata-.

Agradezco al Q.A. Miguel A. López Anaya y colaboradores por los análisis del suelo.

Al M. C. Jorge Castellanos por los buenos momentos regalados, los chistes y reflexiones, pero sobre todo por los comentarios acerca de los análisis estadísticos, - personas como usted hay pocos en el mundo-.

A Rodolfo Cabrera Hernández por la elaboración del mapa.

A las personas más sonrientes, el equipo SIBE: Hermilo Cruz, Mario Zuñiga, Mercedes Guadarrama, Germán de J. Hernández, Nancy Zamora por el apoyo en la búsqueda y organización bibliográfica para esta tesis

A Claudia Hernández, Aurora Bautista, Mercedes Castro, Alma C. Moreno y a Doña Olguita Jardon por la atención y amabilidad durante mi estancia en ECOSUR.

A Maricela García Bautista, por ser una persona como es, -mi maestra en la extracción de ADN-, Gracias Mari por el apoyo, y la enseñanza durante mi estancia en el laboratorio. En este laboratorio me llevo un bonito recuerdo además de aprender conocí a personas lindas como Miriam Soria, Bárbara Cruz, Magaly Ruíz, Nancy Morales. Gracias chicas por compartir esos momentos junto a ustedes.

A mis compañeros de la maestría, -de cada uno de ustedes me llevo algo, las críticas, opiniones y comentarios durante los temas debatidos- grandes enseñanzas.

A mis amigas Ana Karen Chanona, Karina Toledo, las tres buscábamos soluciones de las cosas que nos sucedía en cada etapa de nuestra vida académica, -“calma las cosas pasan por algo”-. Niñas siempre las recordaré y gracias por esa amistad tan bonita que se desarrolló en nosotras.

A ti José C. Vázquez Sántiz. Juntos logramos esta meta, pasamos desvelos, hambre, frio, soledad. Cuantas dificultades atravesamos en este tiempo, pero por ser como eres aún seguimos en pie. Gracias.

A ti mi nena bonita, por pasar horas y días de no estar a tu lado para cuidarte. El encierro en ese pequeño cuarto, jugando a un lado de la computadora, gracias por no cansarte de pintar, dibujar y de ver a “Zambezia”. Aunque a veces nos estresábamos por las mismas actividades nos liberamos descansando en la cama, las comidas y los juegos de yo ser tu hija.

Si no fuera por ti, este sueño no hubiera concluido, gracias por tus cuidados, desvelos y paciencia brindados a Joseline. Gracias mamá.

A ti papá, aunque a veces no estás de acuerdo de lo que hago pero siempre estás ahí apoyándome...

A mis hermanos, gracias por ser fuertes en situaciones que a nosotros no nos toca solucionar. Eso me hizo fuerte para seguir adelante. My Brother Beni por los ánimos, consejos y por estar pendiente siempre de nosotros a pesar de la distancia.

Gracias, muchas gracias a mis abuelos que por sus cuentos, historias, por los conocimientos que tienen de los árboles, plantas, animales, hicieron que despertara mi interés para saber más de ellos.

Especialmente a las personas que me permitieron el espacio para realizar mis prácticas en campo: al Sr. Mariano Gómez Gómez y Sra. Celestina A. Gómez Hernández, a los tíos Domingo Giménez López y Amada M. Sánchez González.

Agradezco infinitamente al profesor Epifanio Vázquez Cruz y a Rosa L. Ruíz Solís si no fuera por esos consejos y el empujón yo no estuviera caminando en este paso.

A mi profesora Lorena C. Flores...siempre dispuesta en apoyar en todo momento.

A todas las personas que conocí en este corto camino en mi preparación profesional, por sus amistades, el compañerismo... que me hicieron sentir y formar parte del mundo de aprendizaje y descubrimiento.

Li te'etike ja ta xak' li  
vo'e, Ja ta xak' li ik'e,  
li vo'e, li ik'e ja ta xak'  
jkuxlejtik.

Li te'etike ja yikoj li lume,  
li lume ja sve'el li te'etike,  
li te'etike yikoj li balamil  
x-chu'uk li yisime.

Li te'etike jame  
spulmon li balamile, li  
vo'e ja me ch'ich'el li  
balamile, li ik'e ja me j-  
avolajel, j-st'unbajel ta  
balamil.

Li te'etike ja sna'ik li  
chonbolometike, Ja snaik li  
mutetike, ja yikoj li  
pepenetike, li vononetike,  
skotol li bikit chonetike.

Ti me ilaj li te'etike, taxlaj li vo'e, li ik'e, ta xcham li chonbolometike,  
li mutetike, ja yech li vo'otik'uke ta xi takijotik uk.



Foto: Pérez-Gómez M.T.

Índice	
<b>I. Resumen</b>	13
<b>II. Introducción</b>	14
<b>III. Objetivo</b>	18
<b>IV. Hipótesis</b>	18
<b>V. Materiales y Métodos</b>	19
1. Descripción de la especie de estudio	19
2. Área de estudio	19
3. Sitio de colecta y germinación de las semillas	20
4. Estudio de suelo y tipo de vegetación	22
5. Recolección de semilla	22
6. Caracterización morfológica de las semillas	23
7. Germinación de transferencia recíproca y jardín común	24
8. Evaluación de germinación	26
9. Depredación de semillas	27
10. Análisis estadístico de características morfológicas y germinación	27
11. Análisis estadístico de características de germinación en jardín común	28
<b>VII. Discusión</b>	39
<b>VIII. Conclusión</b>	45
<b>IX. Literatura citada</b>	47

- Figura 8. Cajas de germinación con celdas de hilos de tres colores: hilo verde (Zinacantán), hilo rojo (Chaktoj), hilo amarillo (Sok'on)..... 61
- Figura 9. Semilla de *Quercus rugosa* Née sembradas en contenedores de madera y cercado con maya de acero en el sitio destino Chaktoj..... 61
- Figura 10. Germinación de semillas de *Quercus rugosa* Née en cajas de madera en sitio destino Zinacantán..... 62
- Figura 11. Semillas de *Quercus rugosa* Née depredadas por *Peromyscus levipes* en el sitio destino Sok'on..... 62
- Figura 12. *Peromyscus levipes*, uno de los depredadores de las semillas de *Quercus rugosa* Née capturado con trampa Sherman en el sitio destino Chaktoj. 63

## I. Resumen

La fragmentación y deforestación reducen las poblaciones de *Q. rugosa* de forma preocupante en Los Altos de Chiapas, y cada vez es menos probable su regeneración natural, por lo que es necesario propagar y reintroducir individuos para recuperar los bosques de *Q. rugosa*. En este estudio se evaluó si la germinación de *Q. rugosa* es mayor en el sitio en donde se desarrolla el árbol madre y si es en función del tamaño de la semilla. Se colectaron semillas de 10 árboles en tres sitios que difieren en altitud. Se tomaron 100 semillas de cada árbol de tres diferentes tamaños y se les midió peso, longitud y diámetro. En un diseño experimental de transferencia recíproca, las semillas se colocaron en cajas de madera con suelo de cada sitio de colecta para promover la germinación. Cada cinco días, durante 120 días, se registró el número de las semillas germinadas, con el que se obtuvo: la capacidad de germinación (CG), el tiempo de inicio de germinación (TIG) y velocidad de germinación (VG). Como resultado la CG, TIG y VG no difieren entre las procedencias de las semillas esto muestra que su procedencia no tiene ninguna influencia en la germinación, pero si afecto la germinación de las semillas en los sitios destino. La CG osciló entre 50 y 85 %; la más alta fue en el sitio con la menor altitud (Zinacantán). El TIG vario entre 40 y 70 días, la germinación fue más rápida en el jardín común. La VG se observó entre 0.15 y 0.35 semillas por día, el valor más alto corresponde al sitio de menor altitud. El tamaño de las semillas de *Q. rugosa* medido como peso y diámetro no difiere entre procedencias, pero si en la longitud, fue mayor en el sitio de menor altitud (Zinacantán, Chiapas).

**Palabras Clave:** Adaptación local, regeneración de bosques, Bosques de Chiapas, Bosque Mesófilo de Montaña, encinos

## II. Introducción

Los robles o encinos pertenecen al género *Quercus* de la familia Fagaceae. Este género tiene aproximadamente 500 especies representadas en todo el mundo; principalmente se encuentran en los bosques templados, bosques tropicales, subtropicales y en matorrales de climas secos del hemisferio norte (Romero et al. 2000, Valencia 2004, Arizaga et al. 2009, Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo 2011) y escasamente se encuentran en ecosistemas tropicales y semitropicales del hemisferio sur (América del Sur y el sureste de Asia) (Arizaga et al. 2009). México se considera como el segundo centro de diversidad de los encinos en el mundo. La mayoría de las zonas montañosas del país se caracterizan por la dominancia de especies de *Quercus*, con una alta presencia de especies endémicas. Se estima que México cuenta con 161 especies aproximadamente, de las cuales 109 son endémicas (Romero et al. 2000, Valencia 2004, Nixon 2006, Arizaga et al. 2009). Particularmente en el estado de Chiapas hay por lo menos 26 especies de encinos (González-Espinosa et al. 2009), al menos 12 se distribuyen en la Altiplanicie Central de Chiapas, es una de las regiones con mayor riqueza de especies de robles (González-Espinosa y Ramírez-Marcial 2006). El bosque de encino son uno de los recursos forestales de los que se obtienen bienes y servicios, y juegan un papel importante de 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 como animales (bromelias, orquídeas, helechos y otros), mejora el microclima aportando sombra, contribuye a la conservación de los mantos acuíferos

y amortigua la humedad del ambiente (Reyes 2006, González-Espinosa et al. 2006, 2008, Arizaga et al. 2009).

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 las actividades agrícolas y pecuarias (Alvarez-Moctezuma et al. 1999, Arizaga et al. 2009, Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo 2011). Debido a que los encinos constituyen una de las mejores fuentes de energía tienen un uso esencial como leña o carbón para uso doméstico (Alvarez-Moctezuma et al. 1999, González-Espinosa y Ramírez-Marcial 2006, Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo 2011).

Los Altos de Chiapas es una de las regiones más pobladas por indígenas tsotsiles (Camacho-Cruz y González-Espinosa 2002) que realizan una tala selectiva de especies de encinos para la producción de leña y carbón (González-Espinosa et al. 2007, 2009, Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo 2011). En esta región se ha observado una acelerada transformación de las áreas de bosque para la expansión de zonas de cultivo y dispersión de los asentamientos humanos (CONABIO 2010). La deforestación hecha para ganar áreas agrícolas y el aprovechamiento de especies de *Quercus*, afecta gravemente la regeneración de los bosques de encinos. Se ha identificado que la deforestación impide a los individuos que lleguen a su madurez reproductiva, restringiendo así la recuperación de sus poblaciones (Ramírez-Marcial et al. 1996, González-Espinosa et al. 1997). Adicionalmente, se ha observado una reducción del área original de bosques de diversos de encinos, pino-encino y mesófilo de montaña en los últimos 50 años (Ramírez-Marcial et al. 2001, Cayuela 2006, González-Espinosa et al. 2007, 2009). Los recursos que los encinos ofrecen son de gran utilidad para la población en general, por ello es necesario

coadyuvar a la restauración y conservación de las especies de *Quercus* en la región Altos de Chipas (González-Espinosa et al. 2008, 2009).

La restauración de bosques es una de las formas que se propone para la recuperación de los bosques de encino. La restauración consiste en contribuir en el proceso de recuperación del daño o disturbio a través de facilitar el establecimiento de individuos en las áreas a recuperar. Esto se puede hacer con el fin de reconvertir la composición de especies y para darle un funcionamiento ecológico parecido al que tenía anteriormente (González-Espinosa et al. 2008, Ramírez-Marcial et al. 2005). Una forma de recuperación de los bosques de encinos consiste en facilitar la propagación de individuos que contribuyan al crecimiento de las poblaciones de *Quercus*. Esto puede ser a través de la producción de las plantas a partir de semillas o bellotas, y su posterior introducción en los bosques o áreas en las que se desea intervenir. También puede ser a través de facilitar la germinación en los sitios a recuperar o para el enriquecimiento de los bosques. El proceso de germinación en *Quercus* puede ser relativamente sencillo en tanto que sólo necesita la semilla, agua y luz. Sin embargo, la cantidad de agua y luz son elementos ambientales variables y heterogéneos a escala tanto regional como local (Gómez 2003, Marañón et al. 2004). Por otro lado, la formación radicular y la madurez de una planta para lograr su establecimiento en el sitio de interés, puede depender del suelo donde germine. Por lo que los patrones de establecimiento y distribución de los encinos están determinados por varios procesos complejos en las etapas tempranas del desarrollo (Shaw 1968, Pérez et al. 2013).

La germinación se puede entender como la suma de los pasos o eventos que inicia desde la hidratación de las semillas hasta la emergencia del eje del embrión (Pimienta et al. 2006). La germinación comprende de tres etapas: la primera inicia

con la absorción de agua por imbibición que permite el hinchamiento y la ruptura final de la testa; la segunda es el inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación (intercambio) y asimilación de reservas alimentarias en zonas en desarrollo del embrión, y la última es el crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula, hipocótilo y la plúmula para formar la plántula (Vázquez et al. 1997).

Algunos estudios muestran que la germinación y la supervivencia de las plantulas de los encinos esta influenciada por las características ambientales a nivel de micrositio (Tripathi y Khan 1990, Ashton y Larson 1996, Qingkang y Keping 2003, López-Barrera 2005). También se ha reportado que la germinación puede estar relacionada con los niveles de temperatura (Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo 2011), por la variación del peso y el tamaño de las semillas (Tripathi y Khan 1990, Aizen y Woodcock 1996, Seiwa 2000, Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo 2011).

Por otra parte, la escasa regeneración de los encinos se asocia a la depredación de las bellotas, al ataque de hongos e insectos, eventos azarosos de presencia de temperaturas de congelación, desecación y por exceso o falta de humedad (Dalling 2002, Cai-Ru et al. 2009, Pérez et al. 2013). También, se sabe que la regeneración de los encinos depende de los eventos pasados en el uso del suelo y del grado de disturbio presente (López-Barrera 1998). La experiencia con las plantaciones forestales, sugieren que el éxito de una plantación depende de la localidad origen, destino y manejo de las semillas (Rodríguez et al. 2009, Negreros-Castillo et al. 2010, Ramírez-Marcial et al. 2012). Aparte de las características intrínsecas que presentan las semillas; las variaciones y características de los micrositios pueden influir en el tamaño y la forma de las poblaciones de plántulas (Tripathi y Khan 1990, Herrerías y Benítez-Malvido 2005, Pérez-Ramos 2007).

Entonces, la germinación y formación de las plantas dependen en gran medida del origen, vigor de las semillas y del sustrato en el que se encuentran.

En el presente trabajo se determinó si el desempeño de germinación de las semillas de *Quercus rugosa* Née es mayor en el sitio de origen y si es en función del tamaño de las semillas. Para este estudio los sitios de colecta de las semillas se les llamaron sitios de procedencia y los sitios de germinación, sitios destino.

Conocer el transcurso de germinación local ofrece información básica para entender el proceso de regeneración de los bosques así como elementos para un manejo apropiado de las semillas y los bosques.

### **III. Objetivo**

Evaluar la capacidad de germinación, tiempo de inicio de germinación y la velocidad de germinación de *Quercus rugosa* Née mediante un experimento de transferencia recíproca entre tres sitios sobre un gradiente altitudinal y en jardín común.

### **IV. Hipótesis**

La germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas de *Quercus rugosa* Née es mayor en el lugar de origen, ya que la germinación se relaciona con las características de donde se encuentra el árbol madre, y dado a que las semillas responden a las condiciones micro-ambientales en el que se encuentran.

## **V. Materiales y Métodos**

### **1. Descripción de la especie de estudio**

*Quercus rugosa* Née conocida comúnmente como roble, en la lengua tsotsil es llamado *tulan* (Ramírez-Marcial et al. 2010), pertenece al subgénero *Lepidobalanus* o encinos blancos; se desarrolla en condiciones húmedas y secas (Zavala-Chávez 2003). El árbol de *Q. rugosa*, alcanza una altura de 15-25 m, con un diámetro de 25-70 cm, tiene un tronco recto cilíndrico o ligeramente elíptico con corteza escamosa de color oscura en la parte externa, en el interior es de color crema tornándose a rosa; la corteza llega tener un grosor de 1.0-1.5 cm. Tiene hojas simples alternas en espiral, la longitud del pecíolo es de 0.7-0.9 cm, con margen entero, ápice obtuso y redondeado. El árbol presenta una ramificación densa, con copa cerrada de forma cónica y redondeada. Los amentos (flor masculina) tienen una longitud de 4-6 cm y las femeninas se dan en racimos, sus bellotas son esféricas de 15-22 mm de largo y 7-13 mm de diámetro. Su madera es dura de color crema. Se distribuye en casi en todas las entidades federativas de México (Coahuila, Chihuahua, Chiapas, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Puebla, Veracruz y Zacatecas), y su uso principal es para leña, carbón, y maderable para poste (Ramírez-Marcial et al. 2010).

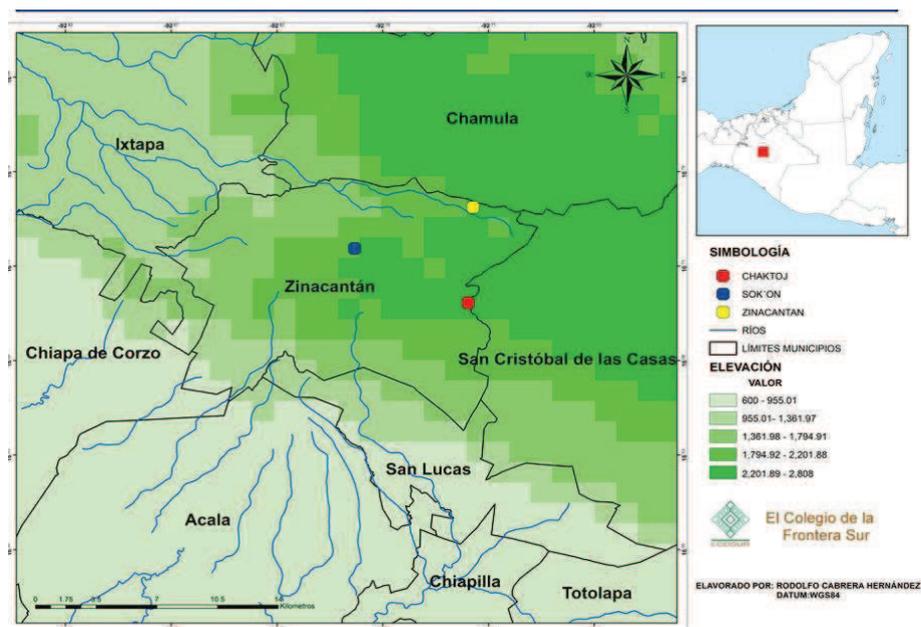
### **2. Área de estudio**

Los sitios de estudio se ubican en el municipio de Zinacantán y pertenecen a la región de Los Altos de Chiapas (Figura 1), conocida también como Altiplanicie Central, conformada por una topografía accidentada, cuya área es de 160 km de largo y 75 km de diámetro, situada en la dirección NO y SE, entre los paralelos 16° 30' y 17° de latitud N, y entre los meridianos 92 y 93° de longitud al O. La Altiplanicie

central se caracteriza porque el 80 % del área se encuentra por encima de los 1,500 m. Al considerar su totalidad, con los 15 municipios que integra, tiene un intervalo altitudinal entre los 300 a 3,000 m (Parra y Díaz 1997, Díaz et al. 2000). En general presenta un clima templado subhúmedo con lluvias de verano, y algunas partes semicálido húmedo y en otros templados húmedos con lluvias abundantes de verano. Su vegetación está compuesta de bosque de pino-encino, perennifolio de niebla y vegetación secundaria conformada por pino y encino (González-Espinosa et al. 1991, Ramírez-Marcial et al. 2010).

### **3. Sitio de colecta y germinación de las semillas**

Para la recolección y germinación de las semillas de *Q. rugosa* se eligió un sitio en cada uno de las tres localidades (Zinacantán, Chaktoj, y Sok'on) del municipio de Zinacantán (Figura 1). Estos sitios difieren en altitud y tipo de suelo (Cuadro 1). En el municipio predomina un relieve montañoso; se ubica entre 16° 38' y 16° 47' de latitud N; y en los meridianos 92° 41' y 92° 53' de longitud O. La altitud varía de 700 a 2,800 m. Colinda al norte con el municipio de Ixtapa y Chamula, al sur con San Lucas, y al este con Acala, San Cristóbal de Las Casas y al oeste con Ixtapa y Chiapa de Corzo. Ocupa el 0.27 % de la superficie del estado y tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano; el intervalo de temperatura es de 12–24°C. Con diversos tipos de suelo: luvisol (38.22 %), acrisol (31.21 %), regosol (16.18 %), leptosol (12.63 %) y faeozem (1.76 %) (INEGI 2005).



**Figura 1.** Sitios de colecta y germinación de las semillas de *Quercus rugosa* Née en Los Altos de Chiapas.

**Cuadro 1.** Características ambientales de las localidades de colecta y destino de germinación de las semillas de *Quercus rugosa* Née en Los Altos de Chiapas. MOS, materia orgánica del suelo; CAS, capacidad de absorción del suelo; FAA, franco arcilloso arenoso; FA, franco arenoso; F, franco; BsEP, Bosque secundario de encino-pino; BsPE, Bosque secundario de Pino-Encino.

Característica	Localidad			
	Zinacantán	Chaktoj	Sok'on	Jardín común en ECOSUR
Vegetación	BsEP	BsPE	BsPE	Viveros
Altitud (m)	2160	2240	2440	2114
Latitud N	16°45'	16°42'	16°44'	16°42'
Longitud O	92°42'	92°43'	92°43'	92°36'
MOS %	12.64	14.15	8.52	13.83
Textura del suelo	FAA	FA	F	FAA
pH	6.86	7.04	6.54	7.18
CAS %	28.7	32.3	33.9	26.6

En la germinación de las semillas de *Q. rugosa* se tuvo un testigo en la que un lote de semillas de las tres procedencias se germinó en el jardín común ubicado en el área de los viveros forestales de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) en San Cristóbal de las Casas (SCLC). ECOSUR se encuentra a 16° 42' de latitud N, en los meridianos 92° 36' de longitud O, a una altitud de 2,114 m.

#### **4. Estudio de suelo y tipo de vegetación**

Para la caracterización del tipo de suelo se tomó una muestra mixta (tomada con base de cinco muestras de suelo de un 1 kg cada una) en cada uno de los sitios y fueron llevados en el laboratorio de suelos de ECOSUR para determinar parámetros de textura, materia orgánica, pH y capacidad de absorción. En la identificación del tipo de vegetación presente en cada sitio se determinó mediante observación.

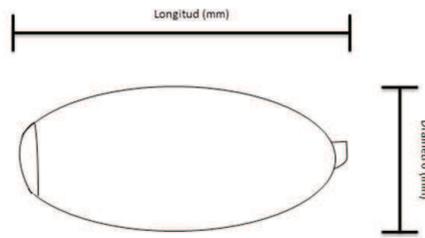
#### **5. Recolección de semilla**

Las semillas de *Q. rugosa* se colectaron en el mes de noviembre de 2014 en los sitios de Zinacantán, Chaktoj y Sok'on (sitios de procedencia). En cada sitio se eligieron diez árboles madres con producción de semilla notable y aparentemente sanos que estuvieran aislados (que las copas no estuvieran en intercepción con otros árboles de la misma especie) para evitar mezclar las semillas y coleccionar únicamente semillas de un mismo árbol madre. La recolecta se hizo manualmente en el suelo y se agitaron las ramas con presencia de semillas hasta completar al menos 500 semillas por árbol sin daño aparente por insectos, hongos y roedores. Las 5,000 semillas aproximadamente por sitio (10 árboles × 500 semillas por árbol)

se almacenaron en bolsas de papel de 14 cm x 30 cm etiquetadas con un número identificador único por árbol y por sitio. Posteriormente se trasladaron en el laboratorio de ECOSUR (unidad San Cristóbal de las Casas) para su conservación en refrigeración a 4°C hasta que se les tomaron las medidas morfológicas y se sembraron en los sitios destino para su germinación.

## **6. Caracterización morfológica de las semillas**

En la caracterización morfológica de las semillas se clasificaron de forma observacional en tres tamaños: pequeñas, medianas y grandes, posteriormente se separaron las semillas viables mediante una prueba de flotación, la cual consistió en sumergir las semillas de cada árbol por tamaño. La prueba permitió descartar las semillas vanas o dañadas (Ramírez-Marcial et al. 2012). Después se tomaron 100 semillas por tamaño (en total 300 semillas por árbol), para la toma de medición morfológica, estas semillas fueron enumeradas del 1 al 100, y se marcaron con clave única con el número de árbol, tamaño de la semilla y sitio en la que provienen. A cada semilla se le tomó el peso con una balanza analítica; la longitud y el diámetro (Figura 2) con un calibrador vernier digital. Se midieron 9,000 semillas viables aproximadamente (3 sitios × 10 árboles × 300 semillas por árbol). Las 100 semillas mediadas por tamaño se dividieron en cuatro partes, 25 semillas fueron colocadas en bolsas de papel etiquetadas con el número de árbol, tamaño de las semillas, sitio en la que proceden y sitio destino en la que fueron llevadas para su germinación. En total se separaron 2,250 semillas para cada sitio destino de siembra (3 sitios × 10 árboles × 3 tamaños × 25 semillas por árbol).



**Figura 2.** Semilla de *Quercus rugosa* Née mostrando los sentidos de la medición de la longitud y el diámetro.

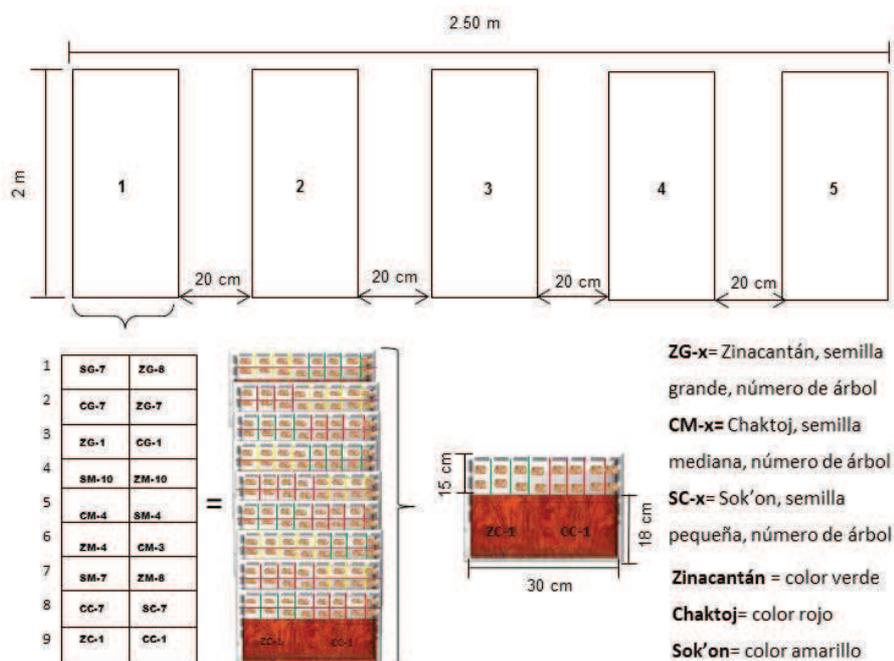
Por aparte, un lote de semillas por sitio, previamente sometidas a la prueba de flotación en agua, se guardaron en ultracongelación a  $-70^{\circ}\text{C}$  durante tres meses, con la finalidad de evaluar si con esta forma de almacenamiento las semillas mantienen su viabilidad. En total se guardaron 900 semillas (3 sitios  $\times$  10 árboles  $\times$  3 tamaños  $\times$  10 semillas de cada árbol).

## 7. Germinación de transferencia recíproca y jardín común

Para este estudio, la germinación de transferencia recíproca consistió en distribuir la semillas de las diferentes procedencias (Zinacantán, Chaktoj y Sok'on) en cada uno de los sitios destinos de siembra, que corresponden a los tres sitios de colecta y el jardín común (experimento testigo). Las 2,250 semillas que le corresponde a cada sitio destino de siembra se colocaron en contenedores de germinación de madera con un tamaño de 15 x 30 cm, con una profundidad de 18 cm y con capacidad para germinar 50 semillas. Sobre el perímetro de las cajas de madera se colocaron clavos de una pulgada (2.54 cm) para formar celdas de  $3\text{ cm}^2$  con hilos de diferentes colores (verde para Zinacatán, rojo para Chaktoj y amarillo para Sokón) (Figura 3). Esto sirvió para sembrar las 25 semillas por tamaño de cada

árbol, además, facilitó la identificación de las semillas de las diferentes procedencias y observar la germinación de cada semilla; cada caja de germinación fue etiquetada con el sitio de procedencia de las semillas, el número de árbol y el tamaño de la semilla. En cada uno de los sitios destino se colocaron 45 cajas de germinación dispuestas en hileras, 15 cajas para cada sitio de procedencia, que corresponde a los diez árboles, la cual formo un cuadrante de 50 m<sup>2</sup> (Figura 3), en el perímetro del cuadrante se colocó maya de acero (excepto en el jardín común) con una luz de 4 cm<sup>2</sup> para evitar el paso de depredadores como los roedores.

El sustrato para la germinación fue suelo del sitio destino y en el experimento de jardín común se usó suelo de monte de encinos procedente de la localidad de Aguaje (Municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas) con una altitud de 2,320 m. Las semillas se sembraron de 1.0 y 1.5 cm de profundidad, sin tapar completamente la corola de la bellota (base del aquenio) (Ramírez-Marcial et al. 2010). Se regaron las cajas de germinación con 800 ml de agua potable cada cinco días y se dejó de regar cuando inició la temporada de lluvia (mayo).



**Figura 3.** Diseño experimental para la germinación de las semillas de *Quercus rugosa* Née de tres procedencias y cuatro sitios destinos de germinación.

La germinación se registró cada cinco días durante 120 días, al observar la plúmula de la semilla (meristemo apical del tallo) se consideró germinada (Pimienta et al. 2006). A cada semilla germinada se le colocó un palillo de madera para facilitar el registro de las semillas germinadas y no repetir, ni confundir las plúmulas de las semillas durante la observación.

Para la evaluación de la viabilidad de las semillas conservadas en ultracongelación (-70°C) se siguieron los mismos pasos como en el experimento anterior. Sólo que estas se sembraron únicamente en el jardín común de ECOSUR unidad San Cristóbal de las Casas.

## **8. Evaluación de germinación**

En la evaluación de germinación se tomaron los siguientes parámetros: capacidad de germinación (CG), tiempo de inicio de germinación (TIG), y velocidad de germinación (VG). La CG, es el total de semillas germinadas bajo observación y el TIG, es el tiempo transcurrido desde la siembra hasta la germinación de la semilla; la VG, es la rapidez y número de semillas germinadas (Vázquez et al. 1997, Rodríguez et al. 2009). Para la CG se calculó con la proporción de semillas que germinaron durante los 120 días de observación, y se expresó en porcentaje (Arriaga et al. 1994).

$$CG = \frac{n}{N} 100$$

El TIG y la VG fueron calculados de acuerdo con González-Zertuche y Orozco-Segovia (1996) con las siguientes formulas:

$$TIG = \sum \frac{(n_i t_i)}{N} \qquad VG = \sum \frac{n_i}{t}$$

Donde  $n$  es el número total de semillas germinadas y  $N$  es el número total de semillas puestas a germinar,  $n_i$  es el número de semillas germinadas en cada periodo de observación;  $t_i$  es el periodo de observación que en este caso fue cada cinco días hasta completar 120 días de observación,  $t$  es el tiempo de germinación desde la siembra hasta el último día de observación (120 días).

## **9. Depredación de semillas**

En cada uno de los sitios de germinación dentro del cuadrante cercado con maya se colocaron cinco trampas Sherman por una noche para la detección de algún roedor como el depredador de las bellotas de *Q. rugosa*. Se obtuvo frecuencia de depredación, que se calculó dividiendo el número de semillas removidas entre el número de semillas puestas a germinar.

## **10. Análisis estadístico de características morfológicas y germinación**

Para determinar el efecto de la procedencia sobre la variación morfológica de las semillas de *Q. rugosa* se obtuvieron los promedios aritméticos del peso, longitud, diámetro por árbol y en cada sitio de procedencia. El efecto de procedencia sobre la CG, TIG y la VG los promedios se calcularon por proporción de semillas germinadas por árbol y por sitio de procedencia en 120 días de observación. Posteriormente

para la detección de diferencias significativas los promedios calculados anteriormente fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) cuyos factores fueron procedencia y tamaño y su interacción para la variación morfológica. Para el efecto del factor procedencia, destino y su interacción sobre la CG, TIG y VG se evaluó mediante un análisis de factores fijos. Los ANOVA se realizaron con el paquete estadístico SPSS 21.0 para Windows (IBM corp. SPSS 2012).

Debido a que la cerca no evito el paso de los depredadores, para el cálculo de CG, la  $N$  fue el total de semillas puestas a germinar menos las que fueron depredadas.

#### **11. Análisis estadístico de características de germinación en jardín común**

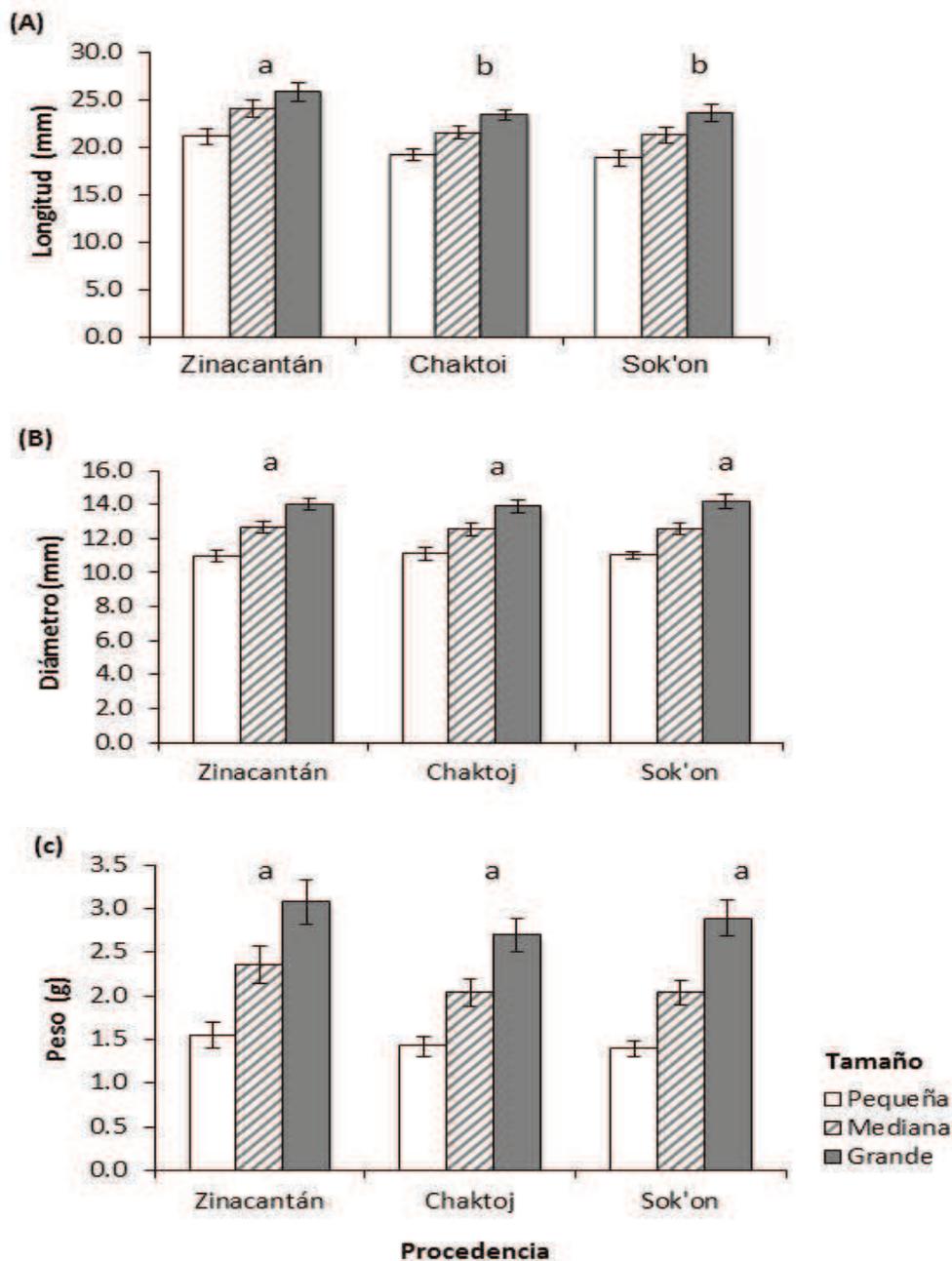
El efecto de procedencia y tamaño de las semillas sobre CG, TIG y VG en el experimento de jardín común se evaluó mediante ANOVA, cuyas fuentes de variación fueron los sitios de procedencia y los diferentes tamaños. La relación entre el tamaño y el desempeño de germinación se estableció mediante un análisis de correlación entre el promedio de peso, longitud, diámetro contra TIG, CG y CG, considerando al árbol como unidad experimental.

## **VI. Resultados**

### **Variación morfológica de las semillas**

Los tamaños de las semillas: pequeña, mediana y grande establecidos visualmente se diferenciaron para las tres variables morfológicas medidas (longitud, diámetro y peso) (Figura 4). Las diferencias de los tamaños fueron significativas ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 2). Las semillas de Zinacantán fueron más grandes en longitud y peso

(Figura 4 A, C). Sin embargo, la procedencia sólo tuvo efecto significativo en la longitud de la semilla ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 2). En el diámetro se observó poca diferencia entre los sitios, son similares en las tres procedencias y en los tres tamaños (Figura 4B).



**Figura 4.** Características morfológicas de tres tamaños de semillas de *Quercus rugosa* Née colectadas en tres localidades del Municipio de Zinacantán, Chiapas. (A)

Longitud (mm); (B) Diámetro (mm); (C) Peso (g). Las diferentes letras sobre las barras indican diferencias entre los sitios de procedencia.

**Cuadro 2.** Análisis de varianza sobre las características morfológicas de semillas de *Quercus rugosa* Née colectadas en tres localidades del Municipio de Zinacantán, Chiapas. SC, suma de cuadrados; *g.l.*, grados de libertad; CM, cuadrado medio; *F*, estadístico de Fisher; *P*, significancia.

Característica	Fuente de variación	SC	<i>g.l.</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
Longitud	Procedencia	113.4	2	56.71	9.104	<< 0.001
	Tamaño	2311.0	2	155.52	24.97	<< 0.0001
	Procedencia × tamaño	1.7	4	0.42	0.07	0.99
	Error	504.5	81	6.23		
Ancho	Procedencia	0.10	2	0.05	0.042	0.96
	Tamaño	135.77	2	67.88	55.74	<< 0.0001
	Procedencia × tamaño	0.53	4	0.13	0.11	0.98
	Error	98.64	81	1.22		
Peso	Procedencia	1.301	2	0.651	2.21	0.117
	Tamaño	30.81	2	15.41	52.22	<< 0.0001
	Procedencia × tamaño	0.26	4	0.07	0.22	0.92
	Error	23.89	81	0.29		

### Depredación de las semillas

Mediante el trapeo por una noche con trampas Sherman en los sitios de germinación se detectó a *Peromyscus levipes* (Merriam 1898) como uno de los

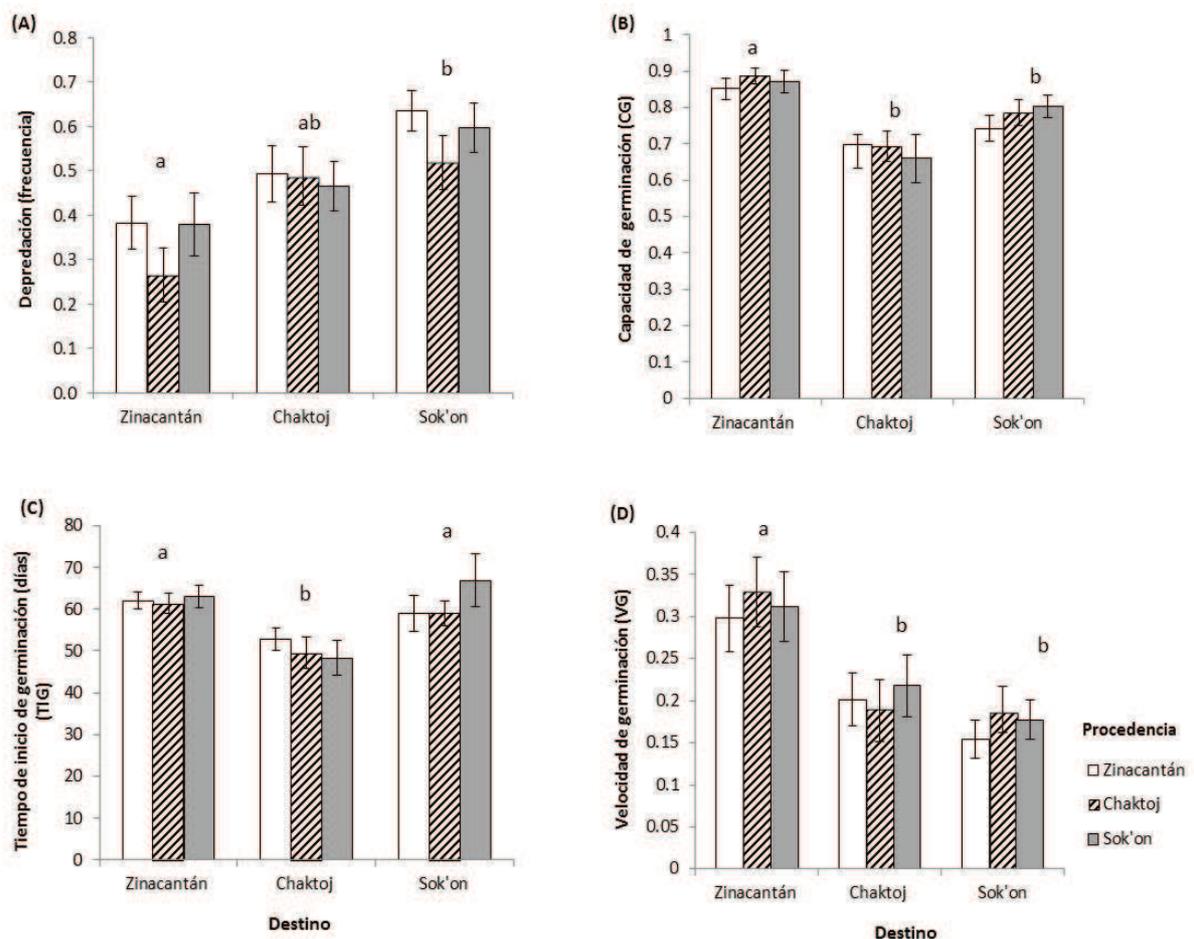
depredadores de las semillas de *Q. rugosa*. Se observó depredación en Zinacantán, Chaktoj y Sok'on, en ECOSUR las semillas no fueron depredadas. La depredación varió entre los tres sitios de germinación (25-60 %) (Figura 5A), en la localidad de Sok'on se observó un mayor porcentaje de depredación (50-70 %) y menor en Zinacantán (25-40 %) independientemente de la procedencia (Figura 5A). El análisis de varianza fue significativo en el efecto destino sobre la depredación de las semillas (Cuadro 3).

La CG fue diferente a lo largo de los sitios destino (entre 65 % y 90 %) (Figura 5B). La mayor CG se observó en el destino de Zinacantán (entre 85 % y 90 %) independientemente de la procedencia (Figura 5B), le siguió Sok'on (75 % y 80 %) y Chaktoj (65 % y 70 %).

El TIG varió entre 48 y 67 días en los sitios destino (Figura 5C). En el destino Zinacantán y Sok'on fue en donde las semillas tardaron más en iniciar la germinación, entre los 55 a 60 días Independientemente de la procedencia de las semillas; y en Chaktoj fue entre los 45 y 50 días (Figura 5C).

La mayor velocidad de germinación (VG) se observó en el destino Zinacantán, mientras que en Chaktoj y Sok'on son similares entre sí (Figura 5D). La VG (número de semillas germinadas por día) fue más alta en Zinacantán que en los otros sitios independientemente de la procedencia de las semillas (Figura 5D).

En el análisis de varianza resultó que únicamente el destino tuvo efecto sobre la depredación, CG, TIG y la VG ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 3).



**Figura 5.** Depredación y parámetros de germinación en función de la procedencia y destino de las semillas de *Quercus rugosa* Née colectadas y germinadas en tres localidades del Municipio de Zinacantán, Chiapas. Depredación (frecuencia) (A), capacidad de germinación (B), tiempo de inicio de germinación (C), velocidad de germinación (D). Las diferentes letras sobre las barras indican diferencias entre los sitios destinos.

**Cuadro 3.** Análisis de varianza sobre la depredación y parámetros de germinación de semillas de *Quercus rugosa* Née colectadas y germinadas en tres localidades del Municipio de Zinacantán, Chiapas Los Altos de Chiapas. SC, suma de cuadrados;

CM, cuadrado medio; CG, capacidad de germinación; TIG, tiempo de inicio de germinación; VG, velocidad de germinación.

Parámetro	Fuente de variación	SC	<i>g.l.</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
% Depredación	Procedencia	0.135	2	0.0677	1.199	0.307
	Destino	1.221	2	0.6103	10.80	<< 0.0001
					8	
	Procedencia × Destino	0.095	4	0.0237	0.419	0.795
CG	Error	4.574	81	0.0565		
	Procedencia	0.103	2	0.0517	1.249	0.292
	Destino	1.585	2	0.7926	19.13	<< 0.0001
					4	
TIG	Procedencia × Destino	0.074	4	0.0186	0.449	0.773
	Error	3.355	81	0.0414		
	Procedencia	388	2	194.1	1.804	0.1712
	Destino	912	2	456.1	4.238	<< 0.0178
VG	Procedencia × Destino	56	4	14.1	0.131	0.9707
	Error	8716	81	107.6		
	Procedencia	0.0054	2	0.00270	0.229	0.796
	Destino	0.3337	2	0.16685	14.12	<< 0.0001
					7	
	Procedencia × Destino	0.0097	4	0.00243	0.206	0.935
	Error	0.9567	81	0.01181		

### Depredación y germinación en función del tamaño de las semillas

El tamaño de las semillas presento diferencias en la depredación a lo largo de los sitios destino (28-70 %) (Figura 6A). En el destino Zinacantán y Chaktoj las semillas pequeñas fueron las más depredadas (43-53 %), le siguió las semillas grandes (35-48 %); en Sok'on las semillas grandes fueron significativamente más depredadas con respecto a los otros tamaños (70 %) (Figura 6A). El tamaño de las

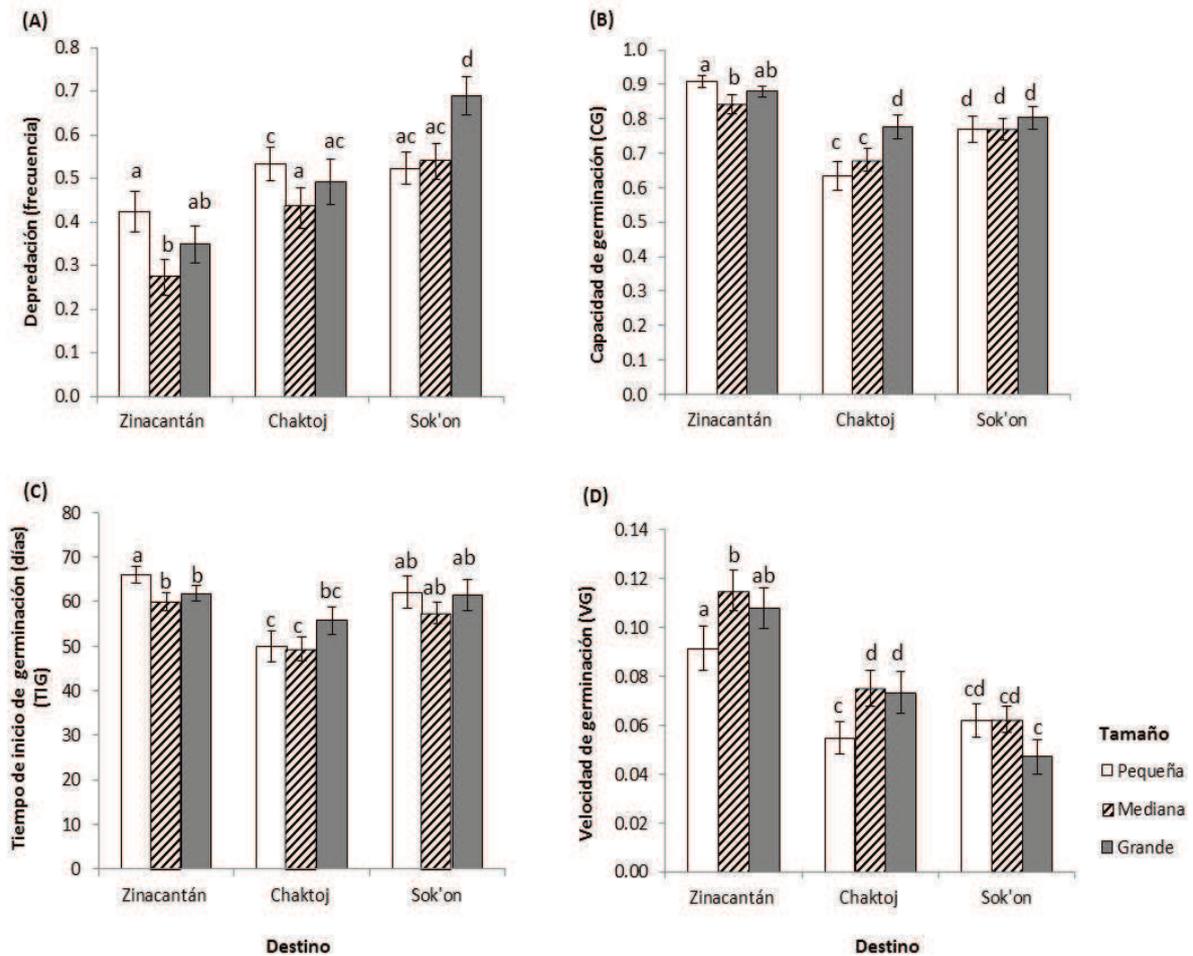
semillas y el sitio destino tuvo un efecto significativo sobre la depredación de las semillas (Cuadro 4).

La CG en las semillas grandes del sitio destino Zinacantán tuvieron el 88 % y en las semillas chicas el 90 % (Figura 6B); en Chaktoj el valor más alto de CG se observó en las semillas grandes (78 %), y en Sok'on fue ligeramente mayor en las grandes (80 %) con respecto a los otros tamaños (Figura 6B).

En el TIG presento ligeras diferencias entre los tamaños de las semillas (Figura 6C). En Zinacantán tardaron más en germinar las semillas pequeñas (65); en Chaktoj las semillas grandes tardaron cinco días más que en los otros tamaños (55 días); en la localidad de Sok'on las que más tardaron fueron las semillas pequeñas y las grandes, dos días más que las medianas (57 días) (Figura 6C).

La más alta VG los tuvieron las semillas medianas y grandes en el destino Zinacantán y Chaktoj, mientras que en el destino Sok'on las de mayor VG fueron en las semillas pequeñas y medianas (Figura 6D).

El análisis de varianza no fue significativo el tamaño de las semillas sobre la CG, TIG y VG (Cuadro 4), y para el destino fue lo contrario, presento un efecto significativo en la CG, TIG y VG ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 4).



**Figura 6.** Depredación y parámetros de germinación en tres tamaños de semillas de *Quercus rugosa* Née colectadas y germinadas en tres localidades del Municipio de Zinacantán, Chiapas. Depredación (proporción) (A), capacidad de germinación (B), tiempo de inicio de germinación (C), velocidad de germinación (D). Las diferentes letras encima de las barras indican diferencias entre los tamaños dentro del mismo sitio destino y entre los sitios destinos.

**Cuadro 4.** Análisis de varianza sobre depredación y parámetros de germinación en tres tamaños de semillas de *Quercus rugosa* Née colectadas y germinadas en tres localidades del Municipio de Zinacantán, Chiapas. SC, suma de cuadrados; *g.l.*, grados de libertad; CM, cuadrado medio; *F*, estadístico de Fisher;

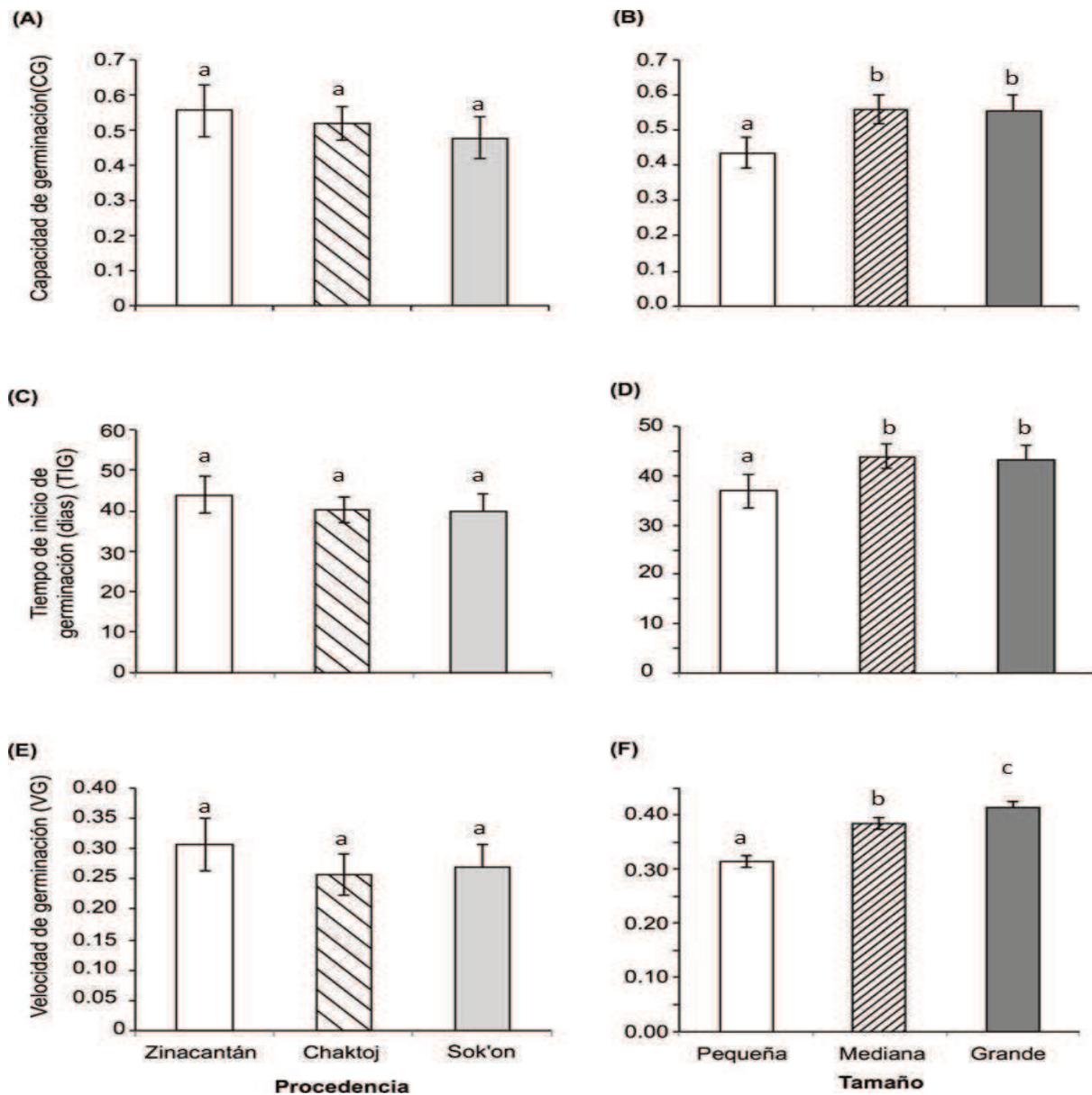
*P*, significancia; Porcentaje de depredación; CG, capacidad de germinación; TIG, tiempo de inicio de germinación; VG, velocidad de germinación.

Parámetro	Fuente de variación	SC	<i>g.l.</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
% Depredación	Tamaño	0.433	2	0.126	4.023	<<0.019
	Destino	2.521	2	1.261	23.431	<<0.01
	Tamaño × Destino	0.533	4	0.133	2.479	<<0.044
	Error	14.042	261	0.054		
CG	Tamaño	0.156	2	0.078	2.729	0.067
	Destino	1.455	2	0.727	25.497	<<0.01
	Tamaño × Destino	0.244	4	0.061	2.137	0.077
	Error	7.246	254	0.029		
TIG	Tamaño	881.628	2	440.814	1.929	0.147
	Destino	5903.63	2	2951.817	12.916	<<0.01
	Tamaño × Destino	755.799	4	188.950	0.827	0.509
	Error	58048.0	254	228.536		
VG	Tamaño	0.010	2	0.005	2.920	0.056
	Destino	0.112	2	0.056	33.246	<<0.01
	Tamaño × Destino	0.011	4	0.003	1.658	0.160
	Error	0.441	261	0.002		

### Germinación en experimento de jardín común en ECOSUR

En el experimento de jardín común (experimento testigo) se observó que la mayor CG, TIG y VG la tuvieron las semillas de procedencia Zinacantán (Figura 7A, C, E). Sin embargo, en el análisis de varianza no fueron significativamente distintas entre las procedencias y entre los tamaños de las semillas sobre la CG y TIG. A pesar de que las semillas medianas y grandes tuvieron la mayor CG, TIG y VG

(Figura 7 B, D, F). El efecto de la procedencia y el tamaño se presentó únicamente sobre la VG. (Cuadro 5).



**Figura 7.** Germinación de semillas de *Quercus rugosa* Née en jardín común de ECOSUR, San Cristóbal de las Casas Chiapas con base en la procedencia y tamaño. Capacidad de germinación por procedencia (A) y por tamaño (B); Tiempo de inicio de germinación por procedencia (C) y tamaño (D); velocidad de germinación por procedencia (E) y tamaño (F). Las diferentes letras encima de las barras indican diferencias entre procedencias (figuras de lado izquierdo) y entre tamaños (figuras de lado derecho).

**Cuadro 5.** Análisis de varianza de los parámetros de germinación por procedencia y por tamaño de las semillas de *Quercus rugosa* Née colectadas en tres localidades y germinadas en jardín común de ECOSUR, San Cristóbal de las Casa Chiapas. SC, suma de cuadrados; *g.l.*, grados de libertad; CM, cuadrado medio; *F*, estadístico de Fisher; *P*, significancia; Porcentaje de depredación; CG, capacidad de germinación; TIG, tiempo de inicio de germinación; VG, velocidad de germinación.

Parámetro	Fuente de variación	SC	<i>g.l.</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
CG	Procedencia	0.097	2	0.049	0.835	0.437
	Tamaño	0.293	2	0.147	2.513	0.087
	Procedencia × tamaño	0.017	4	0.004	0.074	0.990
	Error	4.723	81	0.058		
TIG	Procedencia	314.475	2	157.238	0.545	0.582
	Tamaño	890.557	2	445.279	1.545	0.220
	Procedencia × tamaño	168.694	4	42.174	0.146	0.964
	Error	23349.953	81	288.271		
VG	Procedencia	0.023	2	0.012	3.306	<< 0.042
	Tamaño	0.159	2	0.080	22.792	<< 0.001
	Procedencia × tamaño	0.001	4	0.000	0.055	0.994
	Error	0.283	81	0.003		

### Correlación entre tamaño de semillas y germinación

El análisis de regresión muestra que el diámetro explica parte de la variación (11 %) en la CG, así como el peso explica una fracción mínima (6 %) de la variación en CG, TIG y VG (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Análisis de regresión de la longitud, diámetro y peso de las semillas con las características de germinación de semillas de *Quercus rugosa* Née colectadas en tres localidades y germinadas en cuatro localidades.

Variable dependiente	Variable independiente	$R^2$	$\beta$	$t$	$P$
Longitud	CG	0.023	0.204	0.619	0.538
	TIG		0.122	0.889	0.376
	VG		-0.110	0.345	0.731
Diámetro	CG	0.106	1.081	3.507	<< 0.001
	TIG		0.218	1.707	0.091
	VG		-0.968	-3.262	0.002
Peso	CG	0.059	0.834	2.639	<<0.010
	TIG		0.059	1.930	0.057
	VG		0.059	-2.190	0.036

El almacenamiento de las semillas durante tres meses a bajas temperaturas (-70°C) afectó la viabilidad de germinación ya que ninguna semilla germinó sin importar la procedencia o el tamaño.

## VII. Discusión

En los planes de restauración o conservación de las especies de árboles es de suma importancia homogeneizar las semillas para mantener la diversidad genética, puesto que la diversidad de genes son los que determinan su capacidad de respuesta a los cambios ambientales en su establecimiento (Barbour et al. 2009, Ruíz-Montoya et al. 2011, Ramírez-Marcial et al. 2012). Con base a los resultados obtenidos de este trabajo indican que los aspectos de germinación de *Q. rugosa*,

dependen más del sitio destino, sitio donde se va a reforestar, que de la procedencia, origen de las semillas, o el tamaño de las semillas. Los sitios destinos de germinación varían en altitud, tipo de suelo y el tipo de vegetación (características del sitio destinos evaluados), en la que podrían contribuir a explicar parte de las diferencias de la germinación entre los sitios destinos. Pero, pudieron haber influido otros factores: como los niveles de temperatura (Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo 2011, Caliskan 2014), humedad, precipitación (Pérez-Ramos y Marañón 2009), entre otras, que no fueron consideradas en este estudio. En estudios futuros se recomienda realizar un análisis sobre las características ambientales de los sitios para determinar cuál es el factor más importante para la germinación de las semillas de *Q. rugosa*.

El tamaño estimado como diámetro y peso de las semillas de *Q. rugosa* no difiere entre las procedencias, pero sí en cuanto a la longitud. Esto puede deberse a que los tamaños visualmente establecidos homogeneizaron la variación morfológica y probablemente no se encontró diferencias de tamaños entre las procedencias. Para la longitud de las semillas se encontró diferencia entre procedencias, la cual fue mayor en el sitio con menor altitud (Zinacantán). Este resultado es consistente con lo observado por Márquez et al (2005) donde encontraron la misma relación con las semillas de *Quercus oleoides* Schl. et Cham en Veracruz, México. En otras especies de árboles como los pinos, distintos trabajos han encontrado variaciones en las acículas, conos y semillas entre poblaciones e incluso entre árboles de la misma población a lo largo de un gradiente altitudinal (Iglesias et al. 2012, Viveros-Viveros et al. 2013).

La variación en los tamaños de semillas entre sitios de procedencia es un aspecto poco 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, Galetti 2013) así como las variaciones genéticas y la historia de vida de cada árbol (Barbour et al. 1999, Dalling 2002).

Se detectó a *Peromyscus levipes*, como uno de los depredadores de semillas de *Q. rugosa* en los tres sitios destino (Zinacantán, Chaktoj y Sok'on). Este ratón tiene como hábitat las rocas dentro de los bosques de pino, pino-encino y bosque mixto y se alimenta principalmente de granos, frutos, y brotes de vegetación (Ceballos y Oliva 2005), en este caso también las semillas de *Q. rugosa*. En el destino Sok'on se registró mayor depredación de semillas de las tres procedencias y para los tres tamaños. En este sitio posiblemente la población de ratones es más alta, o bien puede haber otros depredadores. Además de depender de los animales que se alimentan de las semillas, la depredación también puede estar influida por otros factores, por ejemplo: por la densidad poblacional de los depredadores, las características de sitio y las condiciones micro-ambientales que no fueron considerados en el presente estudio. Pérez-Ramos y Marañón (2008) encontraron que la depredación de semillas de *Q. canariensis* y *Q. suber* fue afectada por el tipo de micro-hábitat, la profundidad de siembra y el tipo de sitio forestal en los bosques de encinos. Además los sitios mostraron diferencias en el suelo y pendiente, esto probablemente afectó la cantidad de ratones y por tanto la depredación de las semillas. Galetti et al (2015) realizaron un estudio sobre la depredación de semillas de un especie de palma (*Euterpe edulis*) en el bosque atlántico brasileño. Encontraron que la mayor actividad de depredación fueron en los sitios defaunados (bosques con la extinción de mamíferos grandes) por pequeños roedores, particularmente en los boques fragmentados, mientras que en los sitios no-defaunados la depredación de las semillas por los pequeños roedores fueron bajas.

En Sok'on las semillas grandes fueron más depredadas que las pequeñas y medianas, en contraste con Zinacantán y Chaktoj, la mayor depredación se observó en las semillas medianas y pequeñas. Lo observado en Sok'on es acorde con estudios de depredación de semillas de encinos, por ejemplo los de Gómez (2004), Quero et al. (2009) y Perea (2012), en donde se observó que las semillas de mayor tamaño son las preferidas para los depredadores. No obstante, Khan y Shankar (2001) afirman que los depredadores pueden preferir las semillas de menor tamaño. Por lo tanto estos aspectos tendrán que ser analizados en estudios futuros en semillas de *Quercus*.

En este estudio se observó que algunas de las semillas removidas por los depredadores estaban enterradas a una distancia de uno a dos metros aproximadamente del sitio experimental. Los depredadores, en este caso pueden ser considerados como los dispersores de las semillas *Q. rugosa* (Dalling 2002, Marañón et al. 2004). Por ello la depredación de las semillas juegan un papel muy importante, dado a que no todas las semillas pueden ser consumidas y tiene la oportunidad de germinar a un lugar distinto al del origen (Marañón et al. 2004, López-Barrera y Newton 2005, Castillo et al. 2008, Pérez et al. 2013).

En la germinación de semillas de *Q. rugosa* se encontró un efecto significativo en los sitios destinos mas no en la procedencia, ni en el tamaño de las semillas. Este resultado no se ajusta a la hipótesis de que la mayor germinación ocurre en el sitio de origen. Además, contrasta parcialmente con lo reportado por Pastor y Bonet (2005), ellos reportan que el éxito de germinación depende de las características de la planta madre, pero coinciden lo mismo que el tamaño de las semillas no se relaciona con la germinación. Zolfaghari et al (2013) observó en un estudio de evaluación de estrés por sequía en *Quercus brantii* L. que provenían de diferentes

climas, la respuesta fue diferente entre procedencias y las semillas de mayor tamaño presentaron mayor crecimiento en las plantas con respecto a los otros tamaños. 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 las semillas pequeñas fueron las que obtuvieron la mayor capacidad de germinación. Algunos trabajos han encontrado que el éxito de la germinación depende o se relaciona con el tamaño de las semillas, por ejemplo Gómez (2004) y Tilki (2010) mencionan que las semillas grandes de encinos son más competentes en la germinación y en el desarrollo de las plantas en comparación con las semillas pequeñas.

El tamaño de las semillas puede no influir en la germinación (Tilki y Alptekin 2005), tal como se encontró en este trabajo con las semillas de *Q. rugosa*. Este resultado difiere con lo obtenido por Bonfil (1998), López-Barrera (1998), Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo (2011) quienes observaron que las semillas grandes mantiene una alta capacidad de germinación en comparación con las pequeñas.

En los destinos Zinacantán y Sok'on las semillas pequeñas tardaron más en iniciar la germinación y en Chaktoj las más tardadas en germinar fueron las semillas grandes. El TIG observado en Zinacantán y Sok'on es similar a lo reportado por Bonito et al (2011) para las semillas de *Quercus ilex* L., las de menor tamaño tardaron más tiempo en germinar, entre 103 a 109 días después de la siembra, con respecto a las semillas grandes, entre 93 a 95 días después de la siembra; Khan y Shankar (2001) observaron que las semillas pequeñas de *Quercus semiserrata* R. demoraron dos semanas más en iniciar la germinación con respecto a las semillas grandes.

En este estudio se demuestra que las semillas puestas en el destino Zinacantán presento la mayor VG, pero en cuanto a la procedencia y el tamaño de las semillas no tuvo ningún efecto sobre la VG. Estos resultados difieren parcialmente con lo reportado por Pastor (2013), la procedencia y el tamaño de las semillas de *Quercus. coccifera* L. tuvo un efecto sobre la VG. Este resultado le asigna a que uno de los lugares de colecta (los árboles maternos se encontraban en tres condiciones ecológicas diferentes) presentaban semillas de mayor tamaño con respecto a las otras.

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 existe 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).

El efecto del sitio destino fue más claro en el experimento de jardín común ya que los parámetros de germinación evaluados (CG, TIG y VG) los cuales no mostraron diferencias significativas con relación a la procedencia y el tamaño de las semillas. La capacidad de germinación estuvo por debajo de lo observado en campo, el tiempo inicial de germinación fue más corto, pero germinaron más las semillas medianas y grandes por día. En otros estudios se ha observado que las semillas de mayor tamaño en varias especies de árboles son más competentes en la características de germinación y en los establecimientos de las plántulas (Khera et al. 2004, Navarro et al. 2006, Cicek y Tilki 2007, Seltmann et al. 2007)

El jardín común, a diferencia de los sitios destino, estuvo libre de sombra así como del efecto de caída de hojarasca y de depredación. De esta manera los resultados del experimento de jardín común refuerzan la conclusión de que el sitio de germinación es más importante que la procedencia de las semillas. Los resultados indican que la mayor germinación se puede obtener en los sitios en donde se distribuyen naturalmente las especies, ya que en el jardín común fue menor y no es un sitio en el que naturalmente se encuentre la especie, esta observación es coincidente con los resultados obtenidos por García et al (2007) quienes encontraron que la mayor capacidad de emergencia de las plántulas de árboles nativos (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano* y *Caesalpinia mexicana*) ocurrió en las áreas donde se distribuyen naturalmente, particularmente en altitudes menores (altitudes de 90, 350 y 520 m).

Las semillas que se guardaron a  $-70^{\circ}\text{C}$  no germinaron, posiblemente la congelación afectó el embrión y pudo haber causado la pérdida de viabilidad de las semillas. Se sugiere un experimento en donde las semillas no experimenten el cambio de temperatura tan exagerado (de congelación a campo). Se ha reportado que la desecación y el frío afectan a las semillas, por lo tanto su viabilidad (Zavala 2004).

## **VIII. Conclusión**

Los resultados obtenidos corroboran que el éxito de la germinación de las semillas de *Q. rugosa* depende de las características del sitio destino y no del sitio de origen o procedencia ni en el tamaño de las semillas.

Los tamaños de las semillas medidos como diámetro y peso no difieren entre procedencias, excepto en la longitud, fue mayor la procedencia Zinacantán que correspondía a la de menor altitud.

Las condiciones micro-ambientales de los sitios en donde se distribuye las especies favorecen la germinación pero son más susceptibles a la depredación. Zinacantán fue el sitio destino más favorable para la germinación de las semillas de esta especie. El tamaño de las semillas (pequeña, mediana y grande) no influye en las características de germinación, por lo tanto la selección de la semilla con respecto al tamaño no es relevante para la germinación de las semillas de *Q. rugosa*.

La germinación en jardín común muestra que el sitio de germinación es más importante que la procedencia de las semillas. La germinación puede ser mayor en donde se distribuyen naturalmente las especies pero la ventaja es que se puede evitar la depredación de las semillas y logísticamente se le puede dar un seguimiento más cercano, a costa de tener una germinación menor, o bien ofrecer las condiciones micro-ambientales más parecidas.

La técnica de conservación de las semillas a  $-70^{\circ}\text{C}$  no es viable para las semillas de *Q. rugosa*, ya que pierden viabilidad, según resultados de esta investigación.

## IX. 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 V, Cervantes GV, Vargas-Mena A. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: Colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. México, D.F. Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), p. 179.
- Arizaga S, Martínez-Cruz J, Salcedo-Cabrales M, Bello-González MA. 2009. Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos. Primera edición. México D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), p. 146.
- Ashton MS y Larson BC. 1996. Germination and seedling growth of *Quercus* (section *Erythrobalanus*) across openings in a mixed-deciduous forest of southern New England, USA. *Forest Ecology and Management* 80: 81–94.
- 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.
- Barbour RC, Forster LG, Baker SC, Steane DA, Potts BM. 2009. Biodiversity consequences of genetic variation in bark characteristics within a foundation tree species. *Conservation biology*. [consultada 2014 abril 29]; 23(5): 1146–1155. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19459892>. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01247.x.

- 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.
- Bognounou F, Thiombiano A, Christer P, Guinko S. 2010. Seed provenance and latitudinal gradient effects on seed gemination 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 seed size, cotyledon reserves and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Quercus laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 85(1): 79–87.
- Bonito A, Varone L, Gratani L. 2011. Relationship between acorn size and seedling morphological and physiological traits of *Quercus ilex* L. from different climates. *Photosynthetica* 49(1): 75–86. doi: 10.1007/s11099-011-0014-2.
- Cai-Ru G, Ji-Qi L, Dong-Zhi Y, Lin-Ping Z. 2009. Impacts of burial and insect infection on germination and seedling growth of acorns of *Quercus variabilis*. *Forest Ecology and Management* 258: 497–1502.
- 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/ifor0967-007.
- Camacho-Cruz A, González-Espinosa M. 2002. Establecimiento temprano de árboles nativos en bosques perturbados de Los Altos de Chiapas, Méjico.

Ecosistemas: Revista de Divulgación Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente Núm. 1.

Castillo LP, Flores CJA, Aguirre RJR, Yeaton HRI. 2008. Dinámica sucesional del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Madera y Bosque*. [consultada 2015 septiembre 29]; 14(1): 21–35. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61714103>.

Cayuela L. 2006. Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montañosos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas* 15(3): 192–198.

Ceballos G, Oliva G. 2005. Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, p. 145–146.

Cicek E, Tilki F. 2007. Seed size effects on germination, survival and seedling growth of *Castanea sativa* Mill. *Journal of Biological Sciences*, 7(2): 438–441. doi: 10.3923/jbs.2007.438.441.

[CONABIO] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Dalling JW. 2002. Ecología de Semilla. En: Guariguata MR, Kattan GH. eds. *Ecología y conservación de Bosques Neotropicales*. Primera edición. Costa Rica: Libro Universitario Regional (EULAC-GTZ), p. 345–375.

Díaz HBM, Plascencia VH, Arteaga RR, Vázquez PMA. 2000. Estudio y zonificación agroclimáticos en la región Los Altos de Chiapas, México. *Revista:*

- Investigaciones Geograficas [consultada 2014 agosto 12]; (42): 7–27.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56904202>.
- Díaz-Pontones D, Reyes-Jaramillo I. 2009. Producción y almacenamiento de bellotas de *Quercus hintonii* warburg (Fagaceae) de la depresión del Balsas, México. *Palibotánica* 27:131–143.
- Fernández-Pérez L, Ramírez-Marcial N, González-Espinosa M. 2013. Reforestación con *Cupressus lusitanica* y su influencia en la diversidad de bosque de pino-encino en Los Altos de Chiapas, México. *Botanical Sciences* 91(2): 207–216.
- Galetti M, Guevara R, Côrtes MC, Fadini R, Matter SV, Leite AB, Labecca F, Ribeiro T, Carvalho CS, Collevatti RG, et al. 2013. Functional Extinction of Birds Drives Rapid Evolutionary Changes in Seed Size. *Science* 340: 1086–1090. doi: 10.1126/science.1233774.
- Galetti M, Bovendorp RS, Guevara R. 2015. Defaunation of large mammals leads to an increase in seed predation in the Atlantic forests. *Global Ecology and Conservation* [consultada 2016 mayo 10 ]; 3: 824–830. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2015.04.008>.
- García PJF, Aguirre CÓ, Estrada CE, Flores RJ, Jiménez PJ, Jurado YE. 2007. Germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en un gradiente de elevación. *Madera y Bosque*. [consultada 2015 septiembre 26]; 13(1): 99–117. <http://redalyc.org/articulo.oa?id=61713108>.
- Gómez JM. 2003. Spatial patterns in long-distance directed dispersal of *Quercus ilex* acorns by jay in a heterogeneous landscape. *Ecography* 26(5): 573–584. doi: 10.1034/j.1600-0587.2003.03586.

- Gómez JM. 2004. Bigger is not always better: Conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution* 58(1): 71–80. doi: 10.1554/02-617.
- González-Espinosa M, Quintana-Ascencio PF, Ramírez-Marcial N, Gaytán-Guzmán P. 1991. Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests in the highlands of Chiapas, Mexico. *Journal of Vegetation Science*. [consultada 2015 enero 20]; 2(3): 351–360. <http://www.jstor.org/stable/3235927>.
- González-Espinosa M, Ochoa-Gaona S, Ramirez-Marcial N, Quintana-Ausencio PF. 1997. Contexto vegetación y florístico de la agricultura. En: Parra VMR, Díaz HBM. Eds. *Los Altos de Chiapas: Agricultura y crisis rural*. San Cristóbal de las Casa, Chiapas: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), p. 85–117.
- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N. 2006. Ecología y restauración de los bosques de *Quercus* de Chiapas, sur de México. En: Solano C, Vargas N. Eds. *Memorias del 1 Simposio Internacional de Roble y Ecosistemas Asociados*. Bogotá: Fundación Natura-Pontificia, Universidad Javeriana, p. 203–213.
- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Camacho-Cruz A, Holz SC, Rey-Benayas JM, Parra-Vázquez MR. 2007. Restauración de Bosques en territorio indígenas de Chiapas: Modelos ecológicos y estrategias de acción. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80: 11–23.
- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Camacho-Cruz A, Rey-Benayas JM. 2008. Restauración de bosques en montañas tropicales de territorios indígenas de Chiapas, México. En: González-Espinosa M, Rey-Benayas JM, Ramírez-Marcial N. Eds. *Restauración de Bosques en América Latina México*. México: Mundi-Prensa, Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas (FIRE), p. 137–162.

- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Galindo-Jaimes L, Camacho-Cruz A, Golicher D, Cayuela L, Rey-Benayas, JM. 2009. Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación ambiental*. [consultada 2014 julio 16]; 1(1): 40–53. [http://www.revista.ine.gob.mx/index.php/rev\\_amb/article/viewArticle/16](http://www.revista.ine.gob.mx/index.php/rev_amb/article/viewArticle/16).
- González-Zertuche L, Orozco-Segovia A. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda Brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. [consultada 2016 abril 22]; 58: 15–30. <https://www.researchgate.net/publication/284666517>.
- Herrerías DY, Benítez-Malvido J. 2005. Consecuencia de la fragmentación de los ecosistemas. En: Sánchez Ó, Peters E, Márquez-Huitzil R, Vega E, Portales G, Valdez M, Azuara D. Eds. *Temas sobre restauración ecológica*. Primera edición. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), p.113–126.
- Huerta-Paniagua R, Rodríguez-Trejo DA. 2011. Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* [consultada 2014 abril 29]; 17(2): 179–187. <http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.053>.
- [IBM] International Business Machines Corp. Released. 2012. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: International Business Machines Corp.
- Iglesias L, Solís-Ramos L, Viveros-Viveros H. 2012. Variación morfométrica en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 81: 239–246.

- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2005). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [Consultada 2014 abril 25]; <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/07/071111.pdf>.
- Keller M, Kollmann J. 1999. Effects of seed provenance on germination of herbs for agricultural compensation sites. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 72(1): 87–99. doi: 10.1016/S0167-8809(98)00167-4.
- Khera N, Saxena AK, Singh RP. 2004. Seed size variability and its influence on germination and seedling growth of five multipurpose tree species. *Seed Sci. Technol.* 32: 319-330.
- 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*. [consultada 2016 febrero 29]; 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.
- López GA, Potts BM, Vaillancourt RE, 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

- López-Barrera F. 1998. Germinación y establecimiento temprano de *Quercus rugosa* y sus implicaciones en la rehabilitación de hábitats pinarizados en Los Altos de Chiapas, México. [Tesis de licenciatura] Universidad Nacional Autónoma de México, p. 89.
- López-Barrera F, Newton A. 2005. Edge type effect on germination of oak tree species in the Highlands of Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 217(1): 67–79. doi: 10.1016/j.foreco.2005.05.048.
- Marañón T, Camarero JJ, Castro J, Díaz M, Espelta JM, Hampe A, Jordano P, Valladares F, Verdú M, Zamora R. 2004. Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración. En: Valladares F. Ed. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: Ministerio del Medio ambiente, EGRAF, S. A., p. 69–99.
- Márquez RJ, Mendizábal HLC, Flores RCI. 2005. Variación en semillas de *Quercus oleoides* Schl. et Cham. de tres poblaciones del centro de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*. [consultada 2015 diciembre 16]; 7(1): 31–36. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49770106>.
- Merriam CH. 1898. Description of twenty new species and a new subgenus of *Peromyscus* from Mexico and Guatemala. *Biological Society of Washington* 12:115–123.
- 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.
- Negreros-Castillo P, Apodaca-Martinez M, Mize CW. 2010. Efecto de sustrato y densidad en la calidad de las plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y*

- Bosques. [consultada 2014 mayo 06]; 16(2): 7–18.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3966261>
- Nixon KC. 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.
- Pastor LIE, Bonet JA. 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. [consultada 2015 octubre 24]; Época II. Núm. 18. <http://hdl.handle.net/10045/6532>.
- Pastor LIE. 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.
- Parra VMR, Díaz HBM. 1997. Los Altos de Chiapas: agricultura y crisis rural. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Tomo 1.
- Perea R. 2012. Dispersión y predación de semillas por la fauna: Implicaciones en la regeneración forestal de bosques templados. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. [consultada 2016 enero 23]; 21(1–2). 224–229. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=718>.
- Pérez LP, López-Barrera F, García OF, Cuevas-Reyes P, González-Rodríguez A. 2013. Procesos de regeneración natural en bosques de encinos: factores facilitadores y limitantes. Biológicas, Publicación Especial. [consultada 2016

enero 15]; 1: 18–24.

<http://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/view/148>.

Pérez-Ramos IM. 2007. Factores que condicionan la regeneración natural de especies leñosas en un bosque mediterráneo del sur de la Península Ibérica. *Ecosistemas*. [consultada 2016 enero 23] 16(2): 1-5. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016213>.

Pérez-Ramos IM, Marañón T. 2008. Factors affecting post-dispersal seed predation in two coexisting oak species: Microhabitat, burial and exclusion of large herbivores. *Forest Ecology and Management* 255(8–9): 3506–3514. doi: 10.1016/j.foreco.2008.02.032.

Pérez-Ramos IM, Marañón T. 2009. Effects of waterlogging on seed germination of three Mediterranean oak species: Ecological implications. *Acta Oecologica* 35: 422–428.

Pimienta BE, Muñoz UA, Ramírez HBC, Méndez ML. 2006. Desarrollo vegetal. Primera edición. Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara, p. 331.

Qingkang L, Keping M. 2003. Factors affecting establishment of *Quercus liaotungensis* Koidz. under mature mixed oak forest overstory and in shrubland. *Forest Ecology and Management* 176: 133–146.

Quero JL, Villar R, Pérez-Ramos IM, Gonzalez-Rodríguez V, Urbietta 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-Marcial N, González-Espinosa M, García-Moya E. 1996. Establecimiento de *Pinus* spp. y *Quercus* spp. en matorrales y pastizales de los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 30(2): 249–257.
- Ramírez-Marcial N, González-Espinosa M, Williams-Linera G. 2001. Anthropogenic disturbance and tree diversity in Montane Rain Forests in Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management* 154: 311–326.
- Ramírez-Marcial N, Camacho-Cruz A, González-Espinosa M. 2005. Potencial florístico para la restauración de bosques en Los Altos y Montañas del Norte de Chiapas. En: González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Ruiz-Montoya L. Eds. *Diversidad biológica en Chiapas*. México D.F.: Plaza y Valdez y Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas, p. 325–365).
- Ramírez-Marcial N, Camacho-Cruz A, Martínez-Icó M, Luna-Gómez A, Golicher D, González-Espinosa M. 2010. Árboles y arbustos de los bosques de montaña en Chiapas. Primera edición. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), p. 243.
- Ramírez-Marcial N, Luna-Gómez A, Castañeda OHE, Martínez-Ico M, Holz SC, Camacho CA, González-Espinosa M. 2012. Guía de propagación de árboles nativos para la recuperación de bosques. Segunda edición. San Cristóbal de las Casa, Chiapas: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), p. 15–87.
- Reyes JI. 2006. *Quercus hintonii* Warb.: especie endemica del encinar del SW del Estado de México. *Contactos*. [consultada 2015 enero 10]; 60: 64–72. <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n60ne/quercus>.
- Rice KJ, Gordon DR, Hardison JL, Welker JM. 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.
- Roach DA, Wulff RD. 1987. Maternal effects in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*. [consultada 2014 enero 12]; 18: 209–235. <http://www.jstor.org/stable/2097131>.
- Rodríguez SA, Vergara TMC, Ramos PJM, Sainz CC. 2009. Germinación y manejo de especies forestales tropicales. Xalapa Veracruz, México: Universidad Veracruzana, p. 243.
- Romero S, Lira R, Dávila P. 2000. A phenetic study of the taxonomic delimitation of *Quercus acutifolia* and *Q. conspersa* (Fagaceae). *Botanical Garden Press* 52(2): 177–187.
- Ruíz-Montoya L, Correa-Vera V, Alfaro-González FC, Ramírez-Marcial N, Verónica-Vallejo R. 2011. Diversidad genética de *Oreopanax xalapensis* (Araliaceae) en Los Altos de Chiapas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 88: 15–25.
- Seiwa K. 2000. Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment: importance of developmental constraints. *Oecologia*, 123: 208–215.
- Seltmann P, Leyer I, Renison D, Hensen I. 2007. Variation of seed mass and its effects on germination in *Polylepis australis*: Implications for seed collection. *New Forest* 33(2): 171–181. doi: 10.1007/s11056-006-9021-8.
- Shaw MW. 1968. Factors affecting the natural regeneration of sessile oak (*Quercus petraea*) in North Wales: I. A preliminary study of acorn production, viability and losses. *Journal of Ecology* 56: 565–538.

- 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*. [consultada 2016 enero 29]; 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*. [consultada 2014 noviembre 25]; 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.
- Vázquez YC, Orozco A, Rojas M, Sánchez ME, Cervantes V. 1997. La reproducción de las plantas: Semillas y meristemas. Primera edición. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, p. 95.
- 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-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. 2004. Desección de bellotas y su relación con la viabilidad y germinación en nueve especies de encinos mexicanos. *Ciencia Ergo Sum* 11(2): 177-185.

Zolfaghari R, Fayyaz P, Nazari M, Valladares F. 2013. Interactive effects of seed size and drought stress on growth and allocation of *Quercus brantii* Lindl. seedlings from two provenances. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37(3): 361–368. doi: 10.3906/tar-1206-54.

## Anexos



**Figura 8.** Cajas de germinación con celdas de hilos de tres colores: hilo verde (Zinacantán), hilo rojo (Chaktoj), hilo amarillo (Sok'on).



**Figura 9.** Semilla de *Quercus rugosa* Née sembradas en contenedores de madera y cercado con maya de acero en el sitio destino Chaktoj.



**Figura 10.** Germinación de semillas de *Quercus rugosa* Née en cajas de madera en sitio destino Zinacantán.



**Figura 11.** Semillas de *Quercus rugosa* Née depredadas por *Peromyscus levipes* en el sitio destino Sok'on.



**Figura 12.** *Peromyscus levipes*, uno de los depredadores de las semillas de *Quercus rugosa* Née capturado con trampa Sherman en el sitio destino Chaktoj.