



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**DESEMPEÑO Y ATRIBUTOS FUNCIONALES DE ÁRBOLES EN PLANTACIONES DE
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO DE CHAMELA**

JALISCO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ERANDI AMARANTA SAUCEDO MORQUECHO

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD Y
CONSERVACIÓN, UAEM**

**COTUTORA DE TESIS: DRA. KARINA BOEGE PARE
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y
SUSTENTABILIDAD, UNAM**

MÉXICO, D.F. ENERO, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**DESEMPEÑO Y ATRIBUTOS FUNCIONALES DE ÁRBOLES EN PLANTACIONES DE
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO DE CHAMELA**

JALISCO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ERANDI AMARANTA SAUCEDO MORQUECHO

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD Y
CONSERVACIÓN, UAEM**

**COTUTORA DE TESIS: DRA. KARINA BOEGE PARE
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y
SUSTENTABILIDAD, UNAM**

MÉXICO, D.F. ENERO, 2016

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted, que el Subcomité de Biología Evolutiva y Sistemática, en su sesión ordinaria del día 19 de octubre de 2015, aprobó el jurado para la presentación de su examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del Posgrado en Ciencias Biológicas, de la alumna **SAUCEDO MORQUECHO ERANDI AMARANTA** con número de cuenta **302135305** con la tesis titulada "**DESEMPEÑO Y ATRIBUTOS FUNCIONALES DE ÁRBOLES EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO DE CHAMELA JALISCO**", bajo la dirección de la **DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA**:

Presidente: DRA. ELIANE CECCON
Vocal: DRA. MARÍA GUADALUPE BARAJAS GUZMÁN
Secretario: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI
Suplente: DR. HOMERO JULIO EUDES CAMPO ALVES
Suplente: DRA. JULIETA ALEJANDRA ROSELL GARCÍA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 14 de enero de 2016.



DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA



c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

Agradecimientos institucionales

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme continuar con mi formación académica.

A la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de maestría otorgada.

Agradezco el apoyo económico otorgado por la PAPIIT-DGAPA, UNAM por el financiamiento para realizar esta investigación a través del proyecto PAPIIT IN205013.

Agradezco también por el apoyo PAEP otorgado para participar en un congreso nacional.

Agradezco a mi tutora la Dra. Cristina Martínez por el apoyo y guía en el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a los miembros de mi comité tutor: a la Dra. Karina Boege y a la Dra. Ek del Val por sus valiosos comentarios y sugerencias durante la realización de este trabajo.

Agradecimientos personales

Agradezco a mis padres Sofia y Bernardo por el amor, cariño y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida. Los amo y estoy infinitamente agradecida de tenerlos.

Agradezco a mis hermanos Irekani y Emiliano por apoyarme, darme su cariño y estar ahí cuando los he necesitado. También a Loana y Ernesto por querer y cuidar a mis hermanos y por su amistad y cariño.

Agradezco José por acompañarme en esta difícil pero enriquecedora etapa de mi vida, gracias por alentarme cada día, por soportar mis arranques de locura, pero sobre todo gracias por compartir conmigo la vida siempre con un beso y un te amo.

Agradezco también a Cuqui, German, Bety, Paola, Carlos, Gaby, Mayita y Thiaguito por su apoyo y cariño, por recordarme que los propósitos hay que cumplirlos y por hacerme parte de su familia.

Agradezco infinitamente el apoyo de la Dra. Cristina Martínez, por recibirme como su alumna, por la gran ayuda y comprensión que recibí de su parte durante la realización de este trabajo, por sus palabras de aliento y ánimo, por su amistad y por el entusiasmo y pasión con que transmite la ciencia.

Agradezco a la Dra. Ek del Val y a la Dra. Karina Boege por los comentarios y sugerencias a mi proyecto, por el apoyo en la realización de mi trabajo de campo, por todas las palabras de aliento que me brindaron y por su disposición y accesibilidad en todo momento.

Agradezco a mí jurado revisor: Dra. Eliane Ceccon, Dra. Julieta Rosell, Dr. Julio Campo Alves y Dra. María Guadalupe Barajas. Gracias por sus enriquecedores comentarios, por la rápida y oportuna revisión de mi escrito y por su buena disposición y amabilidad.

Agradezco a los biólogos Manuel Valdés, Lizzeth Solís, Nallely Luviano, Juan Pablo Martínez, Gina González, Edain Cuevas, Ana Flores, Maribel Juárez, Lenin Machuca y a

Gustavo Verduzco por su apoyo en campo. Gracias por su amistad, por su apoyo en campo y por todos esos buenos momentos en las hermosas tierras de Chamela.

Agradezco a mis todos mis amigos, porque a pesar del tiempo y la distancia, tienen un lugar muy importante en mi corazón: Úrsula, Alicia, Erika, Tzitzitlini, Duhyadi, Abraham, Adriana, Felipe, Estefanía, Sergio, María, Jimena, Paula, Adam, Mariana, Víctor, Nayelli, Alondra, Leslie, Memo, Maira, Itzi, gracias por su valiosa amistad.

Agradezco al Dr. Jorge Vega y al personal de la Estación Biológica de Chamela, Jalisco por su apoyo en mi estancia y trabajo de campo.

Agradezco a Erika Rodríguez y al Dr. Armando Rodríguez, por su disposición para responder a mis dudas, por su orientación y ayuda en los trámites administrativos.

Agradezco el apoyo financiero y Logístico para el establecimiento de las plantaciones dentro de la propiedad Zafiro. En particular, gracias a Wolfgang Hahn y Ari Nieto.

Finalmente agradezco al M. En C. José Rubén Pérez Ishiwara por su el apoyo en el laboratorio.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN..... | xvii |
| ABSTRACT | xviii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Antecedentes..... | 2 |
| Restauración ecológica del Bosque Tropical Caducifolio | 4 |
| Crecimiento y atributos funcionales foliares..... | 8 |
| OBJETIVOS | 14 |
| HIPÓTESIS..... | 15 |
| MÉTODOS..... | 16 |
| Sitio de estudio | 16 |
| Establecimiento de las plantaciones | 17 |
| Diseño experimental..... | 19 |
| Medición de atributos foliares..... | 24 |
| Análisis estadísticos..... | 26 |
| RESULTADOS | 26 |
| VARIACIÓN INTERESPECÍFICA EN CRECIMIENTO..... | 28 |
| EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE RESTAURACIÓN EN EL TAMAÑO DE LAS ESPECIES | 32 |
| Altura | 32 |
| Diámetro a la base | 33 |
| Cobertura..... | 34 |
| Volumen del tronco | 35 |

| | |
|--|----|
| ATRIBUTOS FOLIARES..... | 41 |
| Área foliar | 41 |
| Área foliar específica..... | 46 |
| Contenido de Masa Seca..... | 47 |
| Índice de disección | 50 |
| Demografía foliar | 52 |
| ESTRATEGIA ECOLÓGICA MULTIVARIADA..... | 58 |
| PREDICCIONES DE TAMAÑO DE LAS ESPECIES | 62 |
| DISCUSIÓN | 67 |
| Efectos del tratamiento en el tamaño de los árboles..... | 67 |
| Efectos del tratamiento en las características funcionales de las hojas | 73 |
| Los atributos funcionales foliares como predictores del tamaño | 78 |
| Implicaciones para el manejo y la restauración ecológica del bosque tropical caducifolio..... | 83 |
| CONCLUSIONES | 85 |
| LITERATURA CITADA | 86 |
| Apéndices | 93 |

Índice de tablas

| | |
|---|-------|
| Tabla 1. Nombres científicos, familias y abreviaturas de 11 especies nativa de Chamela Jalisco seleccionadas para plantaciones de restauración ecológica | 21 |
| Tabla 2. Ubicación, pendiente y orientación de los sitios estudiados bajo dos tratamientos de manejo y control en plantaciones de restauración ecológica en Chamela Jalisco, México | 22 |
| Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre a) los atributos funcionales foliares y b) los atributos funcionales foliares individuales y multivariados (eje 1 y 2) y la altura, diámetro, cobertura y volumen de 11 especies nativas de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela, Jalisco. Todas las variables fueron transformadas con el Log 10. Los valores de r^2 para las predicciones de tamaño se encuentran en las figuras. Los valores de r entre paréntesis representan correlaciones significativas después de la exclusión de especies con comportamiento atípico ($P < 0.05$)..... | 60-61 |
| Tabla 4. Uso de acolchado plástico en plantaciones experimentales en ecosistemas estacionales y templados. Se muestran el porcentaje de incremento en altura, diámetro o cobertura tamaño que favoreció el tratamiento acolchado en comparación con el control (sin manejo), el lugar donde se llevó a cabo el estudio así como una especie que se comparten entre estudios | 71 |
| Tabla 5. Estrategia de explotación de 11 especies de árboles nativos del BTC basado en sus características cualitativas de área foliar, área foliar específica (AFE), Contenido de Masa Seca (CMS), Índice de disección (ID), Supervivencia foliar (número de días promedio de vida de la hoja) y Productividad foliar (promedio total de hojas producidas). Las especies están ordenadas por su altura después de 3 años de crecimiento | 77 |

Índice de figuras

- Figura 1.** Diagrama de temperatura y precipitación registrada anualmente en la estación meteorológica de la estación de Biología de Chamela Jalisco, México, para el período 1977-1999 (IBUNAM, 2012)18
- Figura 2.** Localización de las parcelas de restauración ecológica cercanas a la estación biológica de Chamela en Chamela-Jalisco. Mapa satelital de las parcelas23
- Figura 3.** Gráfica de cajas de (A) la altura, el (B) el diámetro a la base, (C) la cobertura y (V) el volumen del tronco de 11 especies de árboles nativos de Chamela, Jalisco con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración. Las letras sobre las barras de datos máximos indican diferencias significativas evaluadas con una prueba de comparación múltiple. La línea punteada indica la división de especies en dos categorías basadas en la altura: especies de crecimiento rápido a la izquierda y especies de crecimiento lento a la derecha.30
- Figura 4.** Diferencias en la categoría de tamaño de 11 especies de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco; promedio (\pm EE) de la (A) raíz cuadrada de la altura, (B) raíz cuadrada del diámetro a la base del tronco y (C) Log 10 de la cobertura. Para cada variable de tamaño las letras distintas entre categoría indican diferencias significativas evaluadas con la prueba de Tukey37
- Figura 5.** Efecto del tratamiento en el tamaño de individuos pertenecientes a 11 especies de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco; promedio (\pm EE) de la (A) raíz cuadrada de la altura, (B) raíz cuadrada del diámetro a la base del tronco, (C) Logaritmo 10 de la cobertura, (D1) logaritmo10 del volumen: categoría de crecimiento rápido y (D2) logaritmo base 10 del volumen: crecimiento lento. Los tratamientos acolchado plástico se indica en azul, remoción de pastos en rojo y el tratamiento control en verde. Las letras distintas entre tratamientos para cada variable indican diferencias significativas evaluadas con la prueba de Tukey.....38
- Figura 6.** Efecto del sitio en el tamaño de individuos pertenecientes a 11 especies de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco; promedio (\pm EE) de la (A) raíz cuadrada de la altura y (B) raíz cuadrada del diámetro a la base del tronco. Las diferencias significativas de las variables entre sitios se indican con letras distintas evaluadas con la prueba de Tukey39
- Figura 7.** Efecto de la interacción sitio por tratamiento en el tamaño de dos categorías de 11 especies de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco; promedio (\pm EE) de la (A) raíz cuadrada de la altura, (C) raíz cuadrada de la cobertura, (C1) logaritmo 10 del volumen: especies de crecimiento rápido y (C2) logaritmo 10 del crecimiento lento. Los tratamientos acolchado plástico se indica en azul, remoción de pastos en rojo y el tratamiento control en verde. Las diferencias en la interacción evaluadas con la prueba de Tukey se indican con un asterisco40
- Figura 8.** Promedio (\pm EE) del logaritmo en base 10 del (A) área foliar, (B) área foliar específica, (C) contenido de masa seca e (D) índice de disección de 11 especies nativas con

dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Las diferencias significativas entre evaluadas con la prueba de Tukey se indican con letras distintas42

Figura 9. Efecto del tratamiento en el promedio (\pm EE) de los atributos foliares; logaritmo en base 10 del (A) área foliar, (B) área foliar específica, (C) contenido de masa seca e (D) índice de disección de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración bajo tratamientos de manejo en Chamela Jalisco. Los tratamientos se indican: azul=acolchado plástico, rojo=remoción de pastos y verde=control.....44

Figura 10. Efecto del sitio y el tratamiento en el promedio (\pm EE) del logaritmo10 del área foliar de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Los (A) sitios se representan: negro= sitio 1, gris=sitio 2 y blanco= sitio 3. Los (B) tratamientos, se representan: azul= tratamiento acolchado plástico, rojo=tratamiento remoción de pastos y verde=tratamiento control.....45

Figura 11. Efecto del sitio y la interacción sitio \times tratamiento en el promedio (\pm EE) del logaritmo10 del área foliar específica de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Los sitios (A) se representan: negro= sitio 1, gris=sitio 2 y blanco= sitio 3. Los tratamientos (B), se representan: azul= tratamiento acolchado plástico, rojo=tratamiento remoción de pastos y verde=tratamiento control. Las diferencias encontradas con la prueba post hoc de Tukey se muestran con letras distintas 48

Figura 12. Efecto de la interacción especie \times sitio (A), sitio \times tratamiento (B) y especie \times sitio \times tratamiento en el promedio (\pm EE) del logaritmo10 en el contenido de masa seca de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Los sitios (A) se representan: negro= sitio 1, gris=sitio 2 y blanco= sitio 3. Los tratamientos (B), se representan: azul= tratamiento acolchado plástico, rojo=tratamiento remoción de pastos y verde=tratamiento control. La prueba post hoc de Tukey no mostró diferencias en ninguno de los casos.....49

Figura 13. Efecto del sitio y la interacción especie \times sitio en el promedio (\pm EE) del logaritmo10 del índice de disección de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Los (A y B) sitios se representan: negro= sitio 1, gris=sitio 2 y blanco= sitio 3. Las diferencias encontradas con la prueba post hoc de Tukey se muestran con letras distintas o asterisco51

Figura 14. Curvas de longevidad foliar en porcentaje con respecto al tiempo en días para once especies nativas establecidas en plantaciones de restauración bajo tres tratamientos de manejo en Chamela-Jalisco. Los tratamientos se indican en colores: acolchado plástico=azul, remoción de pastos= rojo, control=verde. Dentro de cada grafico por especie se muestran los valores de significancia por tratamiento, así como las diferencias entre tratamientos. La línea punteada indica la media de longevidad de cada especie por tratamiento.....53

Figura 15. Frecuencia acumulada de la productividad foliar de 11 especies en tres tratamientos de manejo: acolchado plástico (línea azul), remoción de pastos (línea roja) y control (línea verde) en Chamela Jalisco56

Figura 16. (A) Ordenación por medio de un análisis de componentes principales, que muestran la relación de cinco atributos foliares en dos ejes principales, así como la (B) posición de las especies en el espacio multivariado. Log Longevidad foliar, Log Área Foliar (AF), Log Productividad foliar, Log área foliar específica (AFE), Log contenido de masa seca (CMS)59

Figura 17. Regresión de las variables de tamaño de 11 especies nativas y los atributos funcionales foliares: (A) altura y longevidad foliar; excluyendo a *C. elaeagnoides* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción de la longevidad foliar (línea punteada, $r^2 = 0.56$); (B1) diámetro y contenido de masa seca; excluyendo a *C. alliodora* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción del contenido de masa seca (línea punteada, $r^2 = 0.67$); (B2) diámetro y longevidad foliar; excluyendo a *C. elaeagnoides* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción de la longevidad foliar (línea punteada, $r^2 = 0.52$); (B3) diámetro y Eje 1 del ACP; excluyendo a *C. alliodora* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción del Eje 1 (línea punteada, $r^2=0.61$) . Se muestra la r^2 así como la ecuación de predicción incluyendo a todas las especies63

Figura 18. Regresión de las variables de tamaño de 11 especies nativas y los atributos funcionales foliares: (A) volumen del tronco y el contenido de masa seca; excluyendo a *C. alliodora* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción del contenido de masa seca (línea punteada, $r^2 = 0.62$), (B) volumen del tronco y longevidad foliar y (C) volumen del tronco y Eje 1 del ACP; excluyendo a *C. alliodora* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción del Eje 1 (línea punteada, $r^2 =0.53$). Se muestra la r^2 así como la ecuación de predicción incluyendo a todas las especies65

Índice de apéndices

| | |
|---|-----|
| Apéndice I. Análisis de varianza de tres vías de la altura, diferencias entre categorías (especies de rápido y lento crecimiento), tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 93 |
| Apéndice II. Análisis de varianza de tres vías del diámetro a la base, diferencias entre categorías (especies de rápido y lento crecimiento), tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 94 |
| Apéndice III. Análisis de varianza de tres vías de la cobertura, diferencias entre categorías (especies de rápido y lento crecimiento), tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 95 |
| Apéndice IV. Análisis de varianza de las dos vías de volumen del tronco para la categoría rápido crecimiento, diferencias en tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 96 |
| Apéndice V. Análisis de varianza de las dos vías del volumen del tronco para la categoría de lento crecimiento, diferencias en tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 96 |
| Apéndice VI. Análisis de varianza tres vías del área foliar, diferencias de 11 especies, tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 97 |
| Apéndice VII. Análisis de varianza tres vías del área foliar específica, diferencias de 11 especies, tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 98 |
| Apéndice VIII. Análisis de varianza tres vías de la masa foliar específica, diferencias de 11 especies, tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 99 |
| Apéndice IX. Análisis de varianza de tres vías del índice de disección, diferencias de 11 especies, tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control) | 100 |
| Apéndice X. Valores promedio (sin transformar) por especie de las variables de tamaño (altura, DBT=diámetro a la base del tronco, volumen y cobertura) y los atributos foliares (AF=área foliar, AFE=área foliar específica, ID=índice de disección, CMS=contenido de masa seca, longevidad foliar promedio en días y productividad foliar acumulada | 101 |
| Apéndice XI. Valores promedio (sin transformar) por especie de las variables de tamaño (altura, DBT=diámetro a la base del tronco, volumen y cobertura) y los atributos foliares (AF=área foliar, AFE=área foliar específica, ID=índice de disección, CMS=contenido de masa seca, longevidad foliar promedio en días y productividad foliar acumulada en el tratamiento acolchado plástico | 102 |

Apéndice XII. Valores promedio por especie (sin transformar) de las variables de tamaño (altura, DBT=diámetro a la base del tronco, volumen y cobertura) y los atributos foliares (AF=área foliar, AFE=área foliar específica, ID=índice de disección, CMS=contenido de masa seca, longevidad foliar promedio en días y productividad foliar acumulada en el tratamiento de remoción de pastos..... 103

Apéndice XIII. Valores promedio (sin transformar) por especie de las variables de tamaño (altura, DBT=diámetro a la base del tronco, volumen y cobertura) y los atributos foliares (AF=área foliar, AFE=área foliar específica, ID=índice de disección, CMS=contenido de masa seca, longevidad foliar promedio en días y productividad foliar acumulada en el tratamiento control..... 104

Apéndice XIV. Efecto del tratamiento de manejo en la altura de 11 especies nativas, establecidas en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. El tratamiento acolchado plástico se denota en azul, la remoción de pastos en rojo y el control en verde. En asterisco se muestran las especies que tuvieron diferencias significativas entre tratamientos mediante un modelo lineal general 105

Apéndice XV. Efecto del tratamiento de manejo en el diámetro a la base del tronco de 11 especies nativas, establecidas en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. El tratamiento acolchado plástico se denota en azul, la remoción de pastos en rojo y el control en verde. En asterisco se muestran las especies que tuvieron diferencias significativas entre tratamientos mediante un modelo lineal general 106

Apéndice XVI. Efecto del tratamiento de manejo en la cobertura de 11 especies nativas, establecidas en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. El tratamiento acolchado plástico se denota en azul, la remoción de pastos en rojo y el control en verde. En asterisco se muestran las especies que tuvieron diferencias significativas entre tratamientos mediante un modelo lineal general 107

Apéndice XVII. Precipitación promedio (\pm error estándar) de 30 años (1977-2006, barras blancas) y precipitación total registrada para los meses de muestreo (agosto- diciembre, 2013; barras negras) en Chamela, Jalisco. La flecha indica lluvias atípicas en noviembre y diciembre 108

Abreviaturas

| | |
|---------------|---|
| BTC | Bosque tropical caducifolio |
| RE | Restauración ecológica |
| AF | Área foliar |
| AFE | Área foliar específica |
| CMS | Contenido de masa seca |
| ID | Índice de disección |
| BT | Diámetro a la base del tronco |
| C.alli | <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken |
| C.ele | <i>Cordia elaeagnoides</i> D.C |
| Guazu | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam |
| Helio | <i>Heliocarpus pallidus</i> Rose |
| Apopl | <i>Apoplanesia paniculada</i> C. Presl |
| C.eri | <i>Caesalpinia eriostachys</i> Benth |
| C.pla | <i>Caesalpinia platyloba</i> S. Watson |
| C.pul | <i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw. |
| Gliri | <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. |
| Leuca | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit |
| Lysil | <i>Lysiloma microphyllum</i> Benth |

RESUMEN

El bosque tropical caducifolio (BTC) es uno de los ecosistemas más afectados por la deforestación debido a actividades ganaderas y agrícolas. Las tierras usadas para estas actividades suelen abandonarse y el proceso de sucesión ecológica puede ser lento o incluso detenerse. Cuando esto sucede es necesario asistir la recuperación de la estructura y función del ecosistema con acciones de restauración ecológica. El establecimiento de plantaciones de restauración experimental nos permite identificar especies exitosas en áreas degradadas. Además, el desempeño de las plantas introducidas puede incrementarse con el manejo, por ejemplo, los acolchados plásticos y la remoción de pastos pueden favorecer el crecimiento al asegurar la disponibilidad de agua. Por otra parte, los atributos funcionales foliares de las plantas pueden predecir el desempeño de las árboles en plantaciones de restauración. En este trabajo se evaluó el crecimiento y los atributos foliares (área foliar, área foliar específica, contenido de masa seca foliar, índice de disección y demografía foliar) de 11 especies de árboles nativos del BTC en plantaciones de restauración ecológica experimental bajo dos técnicas de manejo: remoción de pastos y acolchado plástico en dos años de crecimiento. Nuestros resultados mostraron que *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Heliocarpus pallidus* y *Caesalpinia pulcherrima* alcanzaron los tamaños más grandes por lo que se sugiere su uso en plantaciones de restauración. Las plantas que crecieron en el acolchado plástico presentaron un mejor desempeño que aquellas con remoción de pastos y sin manejo; para las 11 especies evaluadas, el acolchado plástico favoreció de tres a 10 veces mayor crecimiento: 11 % más en altura, 17 % más en diámetro a la base y, 25 % más en cobertura en comparación con las plantas que crecieron en el tratamiento sin manejo. El efecto positivo del acolchado fue mayor en sitios con menor disponibilidad de agua y se diluyó con las especies de lento crecimiento. La masa seca foliar fue el atributo con mayor poder de predicción del diámetro a la base y el volumen del tronco de las especies evaluadas. Este atributo foliar está disponible para un gran número de especies en las bases de datos mundiales, lo que facilita su uso como criterio de selección de especies exitosas para proyectos de restauración. La estrategia ecológica multivariada (eje 1 del análisis multivariado) relacionado con el aumento en la productividad foliar y a la disminución en el contenido de masa seca explicó el diámetro y el volumen del tronco de las 11 especies. El bajo desempeño de *Cordia alliodora* no fue explicado por sus atributos foliares porque probablemente está asociado a su sensibilidad a la sequía. Realizar proyectos en ecología de la restauración es fundamental para encontrar técnicas que aceleren la recuperación del ecosistema.

ABSTRACT

The tropical dry forest (TDF) is one of the most affected ecosystems by deforestation due to livestock grazing and agricultural activities. The lands under these activities are frequently abandoned and natural succession there may be slow or never start. When this happens it is necessary to assist the recovery of the ecosystem's structure and function through restoration intervention. The establishment of restoration plantings allows the identification of successful species for degraded areas. Besides, the performance of the introduced plants can increase with management, for example, plastic mulch or removal of grasses may increase growth due to higher availability of water. On the other hand, we can predict performance using plant functional traits. In this study, I evaluated the growth and the leaf functional traits (leaf area, specific leaf area, dry mass content, dissection leaf index and foliar demography) of 11 tropical tree species in restoration plantings under two management techniques: plastic mulching and removal of grasses. Our results showed that *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Heliocarpus pallidus* and *Caesalpinia pulcherrima* realized the higher sizes so they are suggested for restoration projects. Plants growing under plastic mulching showed higher performance than those growing with grass removal or with no management; for the 11 species evaluated, plastic mulching favored the 3 to 10 times more grow: 11 % more grow in height, 17 % more grow in diameter at the base and 25 % more growth in cover compared to plants growing with no management. The positive effect of plastic mulching was higher in the driest site and the effect was diluted for the species with low growth rates. The leaf dry mass content was the functional trait with the highest predictive power for diameter at the base and volume. This functional leaf trait is available in world databases which facilitate its use as a criterion to select species for restoration plantings. The multivariate strategy (axe 1 of PCA) related to an increasing foliar productivity and decrease in dry mass content predicted diameter and tree volume for the 11 species evaluated. The low performance of *Cordia alliodora* was not predicted by its functional leaf traits but probably related to the sensitivity of this species to drought. Carry out experimental plantings is basic to find restoration techniques to accelerate recovery of ecosystems.

INTRODUCCIÓN

El Bosque Tropical Caducifolio (BTC) es uno de los ecosistemas más afectados por la deforestación a nivel mundial (Miles, 2006). Esta deforestación ocurre principalmente como consecuencia de actividades ganaderas y agrícolas (Griscom y Ashton, 2011). Las tierras usadas para estas actividades suelen erosionarse y pierden productividad, ocasionando con el tiempo su abandono (Burgos y Maass, 2004). En los campos abandonados se inicia un proceso de colonización y extinción de especies gradual y direccional en el tiempo y el espacio, conocido como sucesión natural (Begon *et al.*, 2006). El proceso de sucesión en estas áreas puede ser lento o incluso detenerse. Cuando esto sucede es necesario asistir la recuperación de la estructura y función del ecosistema degradado, lo que es llamado restauración ecológica (SER, 2004). La restauración por medio de plantaciones es una técnica exitosa, debido a que acelera la recuperación e incrementa la biodiversidad en un tiempo menor en comparación con la sucesión natural (Lamb, 2005). Así mismo, el uso de técnicas que disminuyan la competencia con pastos y favorezcan la disponibilidad de agua en la época seca, pueden aumentar la sobrevivencia y crecimiento de los árboles plantados (Bainbridge *et al.*, 1995; Barajas-Guzmán y Barradas, 2011). Este tipo de estudios de restauración ecológica se incluyen dentro de la Ecología de la Restauración que es la ciencia que evalúa la manipulación de los procesos ecológicos para acelerar la recuperación de la función del ecosistema (SER, 2004).

Los atributos funcionales son características morfológicas y fisiológicas que les permiten a las plantas crecer y adaptarse a su medio (Westoby *et al.*, 2002). En las plantas, los atributos de los que se tienen mayores conocimientos sobre su papel funcional se encuentra en las hojas, ya que en ellas se lleva a cabo la fotosíntesis y la regulación de

temperatura (Wright *et al.*, 2004). La evaluación de los atributos funcionales de las hojas puede proveer información sobre la estrategia en el uso de agua y energía de los árboles utilizados en proyectos de restauración. En este trabajo se evaluó el crecimiento y los atributos funcionales foliares de 11 especies de árboles nativos del BTC en plantaciones de restauración ecológica experimental durante dos años bajo dos técnicas de manejo para disminuir la competencia con pastos (remoción de pastos alrededor de los árboles) y aumentar la humedad (acolchado plástico).

ANTECEDENTES

El bosque tropical caducifolio tiene una amplia distribución a nivel mundial y una gran diversidad biológica. Este ecosistema representa el 42% de la superficie forestal a nivel mundial y el 67% en Latino América (Murphy y Lugo, 1986). EL BTC se distribuye desde México, centro y sur de América y en África, Asia y Australia (Bullock *et al.*, 1995; Miles *et al.*, 2006). La discontinuidad en la distribución espacial del BTC genera una matriz topográfica y climática muy heterogénea, lo cual provoca variaciones en la estructura y composición de la comunidad de especies (Bullock *et al.*, 1995). Debido a esa heterogeneidad, el BTC cuenta con una notable diversidad beta y especies endémicas restringidas (Gentry, 1995; Trejo y Dirzo 2002). En México, el BTC comprende el 31% de su del país y contribuye con aproximadamente 6,000 especies vegetales, es decir el 20% de la riqueza florística (Rzedowski, 1998; García-Oliva *et al.*, 2002). A pesar de su importancia, el BTC ha sido poco estudiado, un claro ejemplo son los artículos referentes a este ecosistema entre 1950 y 2005, los cuales representan solo el 14% del total de artículos publicados sobre el bosque tropical (Sánchez-Azofeifa *et al.* 2005).

Por otro lado los BTC han reducido su distribución original debido a disturbios naturales o antrópicos. En la actualidad el BTC es considerado el ecosistema más amenazado del mundo debido a disturbios producto de actividades humanas, que han provocado una reducción del 34% en su distribución original (Lebrija-Trejos *et al.*, 2008; Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010). En México, la situación es más alarmante, de 1900 al 2000 la cobertura original se ha reducido de un 27% a un 7.5%, estimando una tasa de deforestación anual de entre 1.4 y 2% (Trejo y Dirzo, 2000). La degradación del BTC está asociada con asentamientos humanos y la explotación de sus recursos naturales (Murphy y Lugo, 1986; Janzen, 1988; Griscom y Ashton, 2011). La riqueza de especies y la explotación forestal así como sus suelos fértiles y útiles para agricultura y ganadería son algunos aspectos por los cuales el BTC ha sido históricamente transformado (Durán *et al.* 2002; Murphy y Lugo, 1986). Aunado a lo anterior, el uso de fuego, herbicidas así como la introducción de pastos exóticos ha provocado la eliminación de remanentes del bosque y favorecido la pérdida de nutrientes y erosión del suelo (García-Oliva y Jaramillo, 2011; Griscom y Ashton, 2011). Los terrenos con baja productividad y erosión suelen ser abandonados dando lugar a asociaciones vegetales secundarias de matorral o pastizal (Lebrija-Trejos *et al.* 2008; Burgos y Maass, 2004). Este acelerado deterioro del BTC plantea la necesidad de realizar acciones eficientes de conservación, restauración ecológica y manejo.

La velocidad de la sucesión está determinada por las características ambientales y la severidad del disturbio. En la literatura se ha reportado que la sucesión del BTC es relativamente rápida comparada con la de los bosques húmedos, debido a que el BTC tiene una estructura más sencilla (Cabin 2002; Janzen, 2002). Sin embargo, la reproducción y el

crecimiento de las plantas del BTC se encuentra limitada a unos cuantos meses de lluvia anual (Quesada *et al.* 2009). En sitios donde el disturbio ha sido muy severo por el uso de fuego, agroquímicos o pisoteo de ganado, los remanentes bióticos son eliminados y los suelos pierden sus nutrientes por erosión (Durán *et al.* 2002; García-Oliva y Jaramillo, 2011). Estas condiciones detienen la sucesión o provocan que ésta sea muy lenta; cuando esto sucede, la recuperación del ecosistema puede acelerarse mediante acciones que favorezcan la sucesión como las actividades de restauración ecológica.

Restauración ecológica del Bosque Tropical Caducifolio

La restauración ecológica (RE) es una alternativa en sitios degradados donde la sucesión se detiene. La RE tiene como objetivo ayudar al restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, favoreciendo su recuperación en estructura, funcionalidad y autosuficiencia (Bradshaw, 2002; SER, 2004). La selección de una estrategia de RE debe ser respaldada con conocimientos ecológicos del ecosistema, diseñada en función del estado y los procesos de degradación del sitio (Holl, 2013). La sucesión puede ser facilitada con prácticas de intervención mínima como el cercado del terreno para evita el paso del ganado, o máxima como el uso de plantaciones de enriquecimiento (Lamb *et al.*, 2005). El tipo de intervención más conveniente depende del tipo de disturbio, así como de los remanentes bióticos y las condiciones abióticas que se presenten en el ecosistema degradado (Griscom y Ashton, 2011).

La plantación de especies arbóreas nativas es una práctica de RE que recientemente ha recibido atención debido a los beneficios obtenidos. El establecimiento exitoso de plantaciones permite que el proceso de sucesión se dé a muy corto plazo (Sampaio *et al.*,

2007). La sombra que producen las copas de los árboles plantados reduce la dominancia de hierbas y pastos así como el riesgo de incendios (Lamb, 2005). Los árboles también son perchas para los animales dispersores de semillas (Zahawi y Augspurger; 2006). Las plantaciones arbóreas también mantienen el flujo de nutrientes en el suelo por medio de la lixiviación de su dosel y por la degradación de hojarasca que producen, esto a su vez favorece la mineralización de nutrientes por la actividad microbiana (Chapin *et al.* 2002). Además, la plantación de leguminosas permite la incorporación de nitrógeno al suelo gracias a su asociación con micorrizas (Ceccon *et al.* 2014). Finalmente, las plantaciones modifican las condiciones físicas de temperatura y humedad debajo de su copa mientras que la sombra y el mantillo genera microclimas para el establecimiento de otras especies (Brooks, 2002; Cabin *et al.*, 2002; Griscom y Ashton, 2011). Las plantaciones de RE aceleran la sucesión al generar sitios seguros para plantas y animales.

La selección de especies para plantaciones de enriquecimiento depende del lugar y de las metas de cada proyecto. En sitios donde el disturbio es severo se recomienda usar especies de rápido crecimiento, de reproducción temprana y de vida corta, conocidas como especies pioneras (Lamb, 2005). Las especies pioneras representan una pequeña fracción de la diversidad de árboles del BTC y se establecen en las primeras etapas de la sucesión (Cabin *et al.*, 2002; Lamb, 2005; Lebrija-Trejos *et al.* 2008). En general, estas especies son resistentes a condiciones de alta radiación solar , tolerantes al estrés hídrico y de crecimiento rápido por lo que fácilmente pueden establecerse en sitios degradados (Maluf de Souza y Ferreira, 2004; Valverde *et al.* 2005; Lebrija-Trejos *et al.* 2008). En el BTC, el establecimiento y sobrevivencia de plántulas está fuertemente vinculado a la disponibilidad de agua, por lo que la resistencia al estrés hídrico es una de la característica más importante

en la selección de especies para este ecosistema (Lebrija-Trejos *et al.* 2008). El establecimiento de árboles del bosque maduro se recomienda porque representan la composición del bosque maduro y brindan recursos para alimentar a aves y mamíferos especialistas (Martínez-Garza y Howe, 2003; Sampaio, 2007). Hoy en día, los proyectos de restauración se han centrado en la recuperación de los ecosistemas degradados a su estado histórico. Sin embargo, el cambio climático está alterando los patrones de temperatura y precipitación, por lo que es de suma importancia tomar en cuenta la tolerancia fisiológica de los árboles seleccionados, previendo cambios en las condiciones abióticas futuras (Holl, 2013). La selección de especies para proyectos de restauración requiere conocimientos de la capacidad de las plantas para resistir condiciones de alta radiación y poca agua.

Uno de los principales problemas de las prácticas de RE mediante plantaciones es la alta mortalidad de los individuos sembrados debido al estrés hídrico, erosión y compactación del suelo. El uso de técnicas de manejo puede incrementar el desempeño de las plantas introducidas. Por ejemplo, el acolchado es una técnica agrícola que consiste en proteger la capa superficial del suelo con cualquier cubierta, ya sea de materia orgánica como paja, estiércol, aserrín, corteza u hojarasca, o plásticos, papel o grava para resguardar la estructura superficial del suelo (Chalker-Scott, 2007; Barajas-Guzmán y Barradas, 2011). Numerosos estudios han demostrado que los acolchados funcionan como una barrera protectora para disminuir la evapotranspiración y retener la humedad hasta en un 35% comparado con el suelo desnudo (Russell, 1939; Chalker-Scott, 2007). También se ha reportado que el acolchado aumenta la infiltración y reduce la erosión por viento y lluvia hasta un 95% (Borst y Woodbum 1942; Chalker-Scott, 2007). Adicionalmente, los acolchados pueden promover el almacenamiento e incorporación de nutrientes al suelo,

principalmente con cubiertas orgánicas (Pickering, 2000; Barajas *et al.*, 2006; Chalker-Scott, 2007;). Los acolchados también reducen la variabilidad térmica, por ejemplo, en sitios con ambientes extremos de temperatura, los acolchados pueden reducir la temperatura del suelo casi 10° C comparados con el suelo desnudo (Martin y Poultney, 1992; Chalker-Scott, 2007). Por último, los acolchados eliminan la competencia vegetal hasta en un 92%, debido a que reducen la disponibilidad de luz, limitando así la germinación de semillas (Wilén *et al.* 1999). Todos los beneficios antes mencionados promueven un mejor establecimiento y crecimiento de las plantas sembradas con los acolchados (Chalker-Scott, 2007). Estudios de cultivo de árboles con acolchados han reportado un aumento en altura, diámetro del tronco, tamaño de hoja y producción de semillas comparados con plantaciones sin acolchados (Chalker-Scott, 2007; Devine *et al.*, 2007; Zegada-Lizarazu y Berliner, 2011). El efecto positivo del acolchado plástico también ha sido probado en el BTC con plantaciones de *Ipomoea wolcottiana* (Convolvulaceae) y *Caesalpinia eriostachys* (Fabaceae); estas especies mostraron una mayor desempeño con acolchado debido a un mejoramiento de las condiciones del suelo en los sitios perturbados (Barajas-Guzmán y Barradas, 2011). Los acolchados favorecen un mayor crecimiento de las plantas al mejorar las condiciones del suelo y disminuir la competencia con otras plantas.

Otro factor que limita el establecimiento de plantaciones en los bosques tropicales son los pastos. En general, los pastos exóticos más usados en los trópicos son *Panicum máximum* (Schum), *Cenchrus ciliaris* L. y *Andropogon gayanus* Kunth (Allen *et al.* 2008; Miller 1999). Estos pastos frecuentemente son invasores y pueden llegar a impedir la germinación, el establecimiento y el crecimiento de los árboles nativos debido a que compiten por luz, agua y nutrientes (Hooper *et al.* 2002). Algunos estudios han demostrado que eliminar los pastos con herbicidas o mediante la remoción manual puede aumentar el

desempeño de las plántulas sembradas (Holl, 1998; Cabin *et al.*, 2002; Thaxton *et al.* 2011). Por otra parte, existen evidencias de efectos positivos de los pastos en el establecimiento y sobrevivencia de las plántulas debido a que generan condiciones microambientales más favorables que el suelo desnudo (Zimmerman *et al.* 2000; Sampaio, 2007; Anthelme y Michalet, 2009). Incluso se ha reportado que los pastos pueden funcionar como barreras que reducen la depredación de semillas y plántulas (Anthelme y Michalet, 2009). La remoción de pastos alrededor de árboles introducidos es un costo adicional y su efecto positivo no ha sido ampliamente verificado, así, es necesario evaluar la conveniencia de este manejo en proyectos de restauración en el BTC.

Crecimiento y atributos funcionales foliares

Las comunidades vegetales se encuentran sujetas a filtros ecológicos bióticos y abióticos. Los factores bióticos son principalmente la dispersión, la competencia y la depredación y los factores abióticos, la disponibilidad de nutrientes, agua y luz (Westoby *et al.*, 2002). Las plantas se sobreponen a estos filtros gracias a la expresión de ciertas características morfológicas, fisiológicas o fenológicas denominadas atributos funcionales (Díaz *et al.* 1999). Los atributos funcionales impactan directamente en la sobrevivencia, crecimiento y reproducción de las plantas (Keddy, 1992). La evaluación de los atributos funcionales provee información útil para identificar las estrategias de las plantas en el uso y conservación de los recursos ante variaciones ambientales (Westoby y Wright, 2006; Cornelissen *et al.* 2003). Estas estrategias ecológicas han sido estudiadas a partir de la correlación entre atributos funcionales y las respuestas asociadas a una función; por ejemplo, hojas pequeñas con una alta densidad de tricomas impiden la pérdida de agua en ambientes áridos (Keddy, 1992; Westoby *et al.* 2002). Dichas estrategias ecológicas de las

plantas incluyen caracteres funcionales múltiples (estrategias ecológicas multivariadas) que les permite enfrentar retos primordiales como son la dispersión, el establecimiento y la persistencia (Weiher *et al.*, 1999; Violle *et al.*, 2007). Los atributos funcionales individuales así como las estrategias funcionales múltiples (estrategias multivariadas) pueden ayudar a predecir el desempeño de las especies en diferentes ambientes.

Dentro de los atributos funcionales cuantificables en las plantas se ha observado que los rasgos que guardan una alta relación con el desempeño se encuentran a nivel foliar (Westoby *et al.*, 2002). Las hojas son órganos vegetales que realizan la fotosíntesis y regulan la temperatura por medio de la transpiración (Blanco *et al.*, 2004). Además, las hojas poseen una alta plasticidad morfológica y fisiológica que expresa patrones funcionales importantes en el flujo de materia y energía en el ecosistema (Wright *et al.*, 2004). Los atributos foliares son clave en la comprensión y predicción de la respuesta de las plantas a los cambios ambientales (Cornelissen *et al.*, 2003; Chaturvedi *et al.*, 2011). Los atributos foliares más usados para estudiar la respuesta de las especies a las condiciones ambientales son el área foliar (cm^2), el área foliar específica (cm^2/g), el contenido de masa seca (g/g), el índice de disección y la sobrevivencia y productividad foliar; a continuación se desarrolla el papel funcional de estos atributos:

El área foliar es usada para generar modelos de fotosíntesis, crecimiento y productividad en las plantas. La lámina foliar es el área mínima de captación de luz para realizar la fotosíntesis; esta superficie está asociada a la capacidad de una planta para fabricar carbohidratos y tejidos que le permitan crecer y reproducirse (Westoby y Wright, 2003). El tamaño de la hoja refleja el equilibrio económico y térmico, es decir, la capacidad de adaptación de una planta a un ambiente dado (Westoby y Wright, 2003; Cornelissen *et al.*, 2003). En ambientes secos, con alta radiación solar y poca agua, las hojas exhiben

adaptaciones especiales que mejoran el intercambio de calor por convección con el medio, por ejemplo, disminuyendo su tamaño (Hulshof *et al.* 2013). Por otra parte, en ambientes con poca luz, las hojas presentan adaptaciones que mejoran su capacidad de captación de radiación, aumentando su tamaño (Cornelissen *et al.*, 2003). Las plantas pueden responder a variaciones ambientales cambiando el tamaño de sus hojas para maximizar la captación de luz y minimizar la pérdida de agua.

El área foliar específica es uno de los atributos más usados para observar el efecto del ambiente en el crecimiento y plasticidad de las especies (Poorter *et al.* 2009a). El área foliar específica es definida como el área de superficie foliar por peso de biomasa seca (Poorter y Garnier, 1999; Reich *et al.* 1998). El área foliar específica aumenta con la humedad y disminuye con la intensidad de luz dentro de las especies (Witkowski y Lamont, 1991). Entre las especies, aquellas con hojas gruesas y densas con baja área foliar específica son usualmente tolerantes a la sombra y tienen crecimiento lento; por otra parte, las especies con área foliar específica alta son muy productivas, presentan un crecimiento rápido y tienen hojas delgadas con altas tasas fotosintéticas (Poorter y Bongers 2006, Wright *et al.* 2004; Villar *et al.*, 2004).

El contenido de masa seca es usado como indicador en el uso de recursos de la planta y refleja una medida de densidad de las hojas. Este atributo se obtiene a partir de la relación de biomasa seca y fresca de la hoja (Vaieretti *et al.*, 2007). Dentro de las especies, el contenido de masa foliar disminuye con la disponibilidad de agua y aumenta con la intensidad de radiación solar (Vaieretti *et al.*, 2007). Entre las especies, hojas gruesas y densas muestran tamaños grandes de hoja con alta resistencia mecánica; mientras que hojas delgadas y poco densas muestran contenido de masa seca bajos y se relacionan con una alta área foliar específica; especie con hojas con alto contenido de masa seca muestran una baja

área foliar específica (Wilson, 1999). El contenido de masa seca se ha correlacionado negativamente con la tasa de crecimiento y positivamente con la longevidad de la hojas (Cornelissen *et al.*, 2003).

El índice de disección es un atributo que refleja la complejidad del margen de la lámina foliar (perímetro) y su plasticidad para responder a cambios ambientales; este atributo está relacionado con la capacidad fotosintética y la regulación térmica de las hojas (Nicotra *et al.* 2008; Damián, 2013). Por ejemplo, las hojas lobuladas o disectadas tienen mayores índices de disección y esas hojas regulan mejor la temperatura y mejoran el intercambio de calor con el ambiente (Nicotra *et al.*, 2008). Las especies con altos índices de disección se espera que sean más exitosas en ambientes con baja disponibilidad de humedad.

La longevidad foliar se define como el tiempo durante el cual una hoja individual se encuentra viva y fisiológicamente activa (Kikuzawa y Ackerly, 1999). La vida útil de una hoja o la media de sobrevivencia se calcula mediante el número total de días de vida de la hoja dividido por el total de hojas producidas (Kikuzawa y Lechowicz, 2011). La vida útil de una hoja tiene relación con el uso eficiente de nutrientes y el potencial de crecimiento (Reich *et al.* 2004). Una longevidad foliar alta es considerada un mecanismo de preservación de nutrientes (Kikuzawa y Lechowicz, 2011). Las especies con hojas longevas tienden a invertir más recursos en protección, por lo que crecen lentamente (Kikuzawa y Ackerly, 1999). El costo-beneficio de la longevidad foliar aumenta con el incremento en la inversión de construcción y mantenimiento de estructuras de apoyo como brotes y raíces (Kikuzawa y Lechowicz, 2011, Reich *et al.* 2004). La longevidad foliar también se correlaciona positivamente con el tamaño de la planta, área foliar específica y la presencia

de estructuras secundarias (Navas, 2003). Una baja longevidad foliar se relaciona con un crecimiento rápido y con altas tasas de respiración que suponen rápidos retornos de la inversión. Esto permite a las plantas competir por recursos (Villar *et al.*, 2004).

La producción foliar se refiere al total de hojas producidas en un intervalo de tiempo o en pulsos de producción. Estos se pueden dar de manera simultánea (sincronizada) o sucesiva (Kikuzawa y Lechowicz, 2011). Los pulsos de productividad dependen de la luz que incide en las hojas activas y de su eficiencia fotosintética; incrementos en la absorción de luz favorecen el crecimiento debido al aumento en la tasa fotosintética. Sin embargo, la luz también puede generar estrés por desecación y reducir el crecimiento de las hojas e incluso su supervivencia (Kikuzawa y Ackerly, 1999). Por ello, la demografía foliar medida como la longevidad y la producción de hojas permite relacionar el crecimiento de la planta con el uso y retorno de los recursos.

En el BTC la disponibilidad temporal de agua en el suelo promueve diversos rasgos adaptativos asociados con la evasión, resistencia y tolerancia al estrés hídrico durante la estación seca. La longevidad, productividad foliar, el área foliar, el área foliar específica y el índice de disección están vinculados a la disponibilidad de agua en la vegetación (Hulshof, *et al.*, 2013). Los atributos implicados en el crecimiento y supervivencia de árboles seleccionados para restaurar pueden ser útiles para comprender su desempeño exitoso en las plantaciones de restauración. Dichos conocimientos pueden ayudar a generar programas de restauración y conservación, a partir de predecir que especies con ciertos atributos funcionales favorables serán capaces de crecer y sobrevivir exitosamente en condiciones de pastizal.

Debido al evidente grado de deterioro de los BTC es urgente generar metodologías de restauración que aseguren su recuperación en un tiempo menor. El uso de tratamientos experimentales con especies seleccionadas mediante sus atributos foliares pueden asegurar el éxito de las plantaciones de restauración. Es por esto que en este trabajo se evaluaron dos años de crecimiento de 11 especies de árboles nativos del BTC en plantaciones de restauración ecológica experimental bajo dos técnicas de manejo que buscan disminuir la competencia mediante el corte de pastos alrededor de los árboles y aumentar la humedad con acolchados plásticos, así como estudiar los atributos funcionales foliares útiles para predecir el crecimiento de las plantas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la talla y los atributos funcionales foliares de 11 especies de árboles nativos del BTC establecidos en plantaciones experimentales de restauración ecológica bajo tres tratamientos de manejo: acolchados plásticos, remoción de pastos y controles durante dos años de su establecimiento.

Objetivos particulares

- 1.** Evaluar el efecto del acolchado plástico, la remoción de pasto y la ausencia de manejo en el tamaño de 11 especies arbóreas nativas de BTC.
- 2.** Evaluar el área foliar, área foliar específica, índice de disección, contenido de masa seca, producción y longevidad foliar de 11 especies bajo dos tratamientos de manejo.
- 3.** Generar modelos para predecir el tamaño de las especies en función de la expresión de seis atributos foliares y la expresión funcional múltiple de estos atributos como estrategia de respuesta ecológica (estrategia multivariada).

HIPÓTESIS

1. El tamaño de las especies es mayor en el tratamiento acolchado y con la remoción de pastos que en el control. Dado que el acolchado plástico retiene la humedad se espera que las plantas crezcan más en comparación con las que están en el tratamiento de remoción de pastos y el control. Así mismo se espera que al eliminar la competencia de los pastos, las plantas crezcan más que las del control.
2. Los especies presentan mayor área foliar, área foliar específica, productividad foliar, índice de disección, longevidad foliar y menor contenido de masa seca en el tratamiento acolchado en comparación con el tratamiento de remoción de pasto y el control. Dado que el ambiente juega un papel central en la expresión de los atributos foliares de las plantas esperamos que el tratamiento acolchado plástico al retener mayor humedad promueva que las plantas muestren valores más altos de área foliar, área foliar específica, índice de disección, longevidad y productividad foliar, así como valores más bajos de contenido de masa seca foliar, en comparación con los plantas del tratamiento de remoción de pastos y los sitios control.
3. Los atributos funcionales foliares predicen el tamaño de las especies. las especies con mayor área foliar, área foliar específica, índice de disección productividad foliar, así como menor contenido de masa seca y longevidad foliar serán de mayor tamaño. Dado que los atributos foliares impactan en el crecimiento esperamos que los atributos individuales así como la expresión funcional múltiple de estos atributos generen modelos que predigan el tamaño de las plantas. En este sentido, las plantas de mayor tamaño mostrarán hojas con mayor área foliar, área foliar específica, índice de disección y productividad foliar, así como menor contenido de masa seca y longevidad foliar.

MÉTODOS

Sitio de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en plantaciones de restauración ecológica experimental establecidas en el Ejido San Mateo, Municipio la Huerta cercano a la estación de Biología de Chamela (EBCh) en Jalisco, México (19°29' N, 105°01' O). La EBCh cuenta con un total de 3,319 ha, cubiertas principalmente por BTC; el paisaje alrededor de la reserva ha sido transformado por actividades agrícolas y ganaderas de la región, esto ha ocasionado un mosaico de vegetación con diferentes procesos de sucesión y pastizales (Noguera et al. 2002). El clima de la zona es cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 24.6 °C y la precipitación media anual es de 788 mm concentrada en los meses de verano (julio a noviembre), sin embargo, este patrón es muy variable debido a las lluvias invernales de origen ciclónico (García-Oliva *et al.*, 2002, Fig.1). El material parental del municipio La Huerta corresponde a formaciones de origen eruptivo como tobas compactas y arcillosas mezcladas con arena y arcilla de la zona de la costa; la topografía de esta región es accidentada, sus elevaciones oscilan de los 400 hasta los 800 msnm (INAFED, 2010). El tipo de suelo predominante pertenece al tipo regosoles lluviéuticos y éutricos con una alta pedregocidad y de profundidad variable, con un pH cercano a 7 (Burgos y Maass, 2004; INAFED, 2010). La vegetación arbórea de la región Chamela presenta un dosel abierto de ~5 a 10 m de altura aunque muestra variaciones dependiendo de la localidad (Durán *et al.* 2005). Los árboles son componentes estructurales dominantes en el BTC; las familias con más especies arbóreas son Fabaceae (23.4%) y Euphorbiaceae (10.7%). La característica más importante de esta vegetación arbórea es que pierde sus hojas en la temporada seca y presentan adaptaciones a la sequía como el almacenamiento de agua en los tallos, la

presencia de hojas compuestas o pequeñas y raíces finas y profundas entre otras (Rzedowski, 1998; Durán *et al.* 2005). El paisaje que rodea la Reserva está conformado por mosaicos de bosque maduro, tierras en sucesión y pastizales (Durán *et al.* 2005).

Establecimiento de las plantaciones

Las plantaciones de restauración se establecieron en 12 ha de terrenos privados que habían estado dedicados aproximadamente por 50 años al pastoreo de ganado (Manuel Alarcón, comunicación personal). En el paisaje se encuentran árboles aislados de ~10 m de altura de las especies *Cordia elaeagnoides* (Boraginaceae) y *Enterolobium cyclocarpum* (Fabaceae), así como especies arvenses y pastos exóticos como la guinea (*Panicum maximum*, Poaceae) y el buffel (*Cenchrus ciliaris*, Poaceae). En octubre del 2010 se cercaron cinco sitios por medio de tres líneas de alambre de púas para excluir al ganado. En cada sitio se establecieron plantaciones de enriquecimiento con especies arbóreas nativas del BTC. Las especies fueron seleccionadas por su tolerancia a la alta radiación solar y su disponibilidad en el vivero local (Tabla 1).

Tres o cuatro árboles madre fueron seleccionados en fragmentos de vegetación existente en el paisaje para coleccionar las semillas durante la temporada de producción de cada especie. La germinación de todas las semillas se realizó en un vivero rústico bajo sombra. Las plantaciones fueron establecidas de mayo a junio del 2011 con plántulas de aproximadamente 4 meses de edad y ~1 m de altura (Tabla 1).

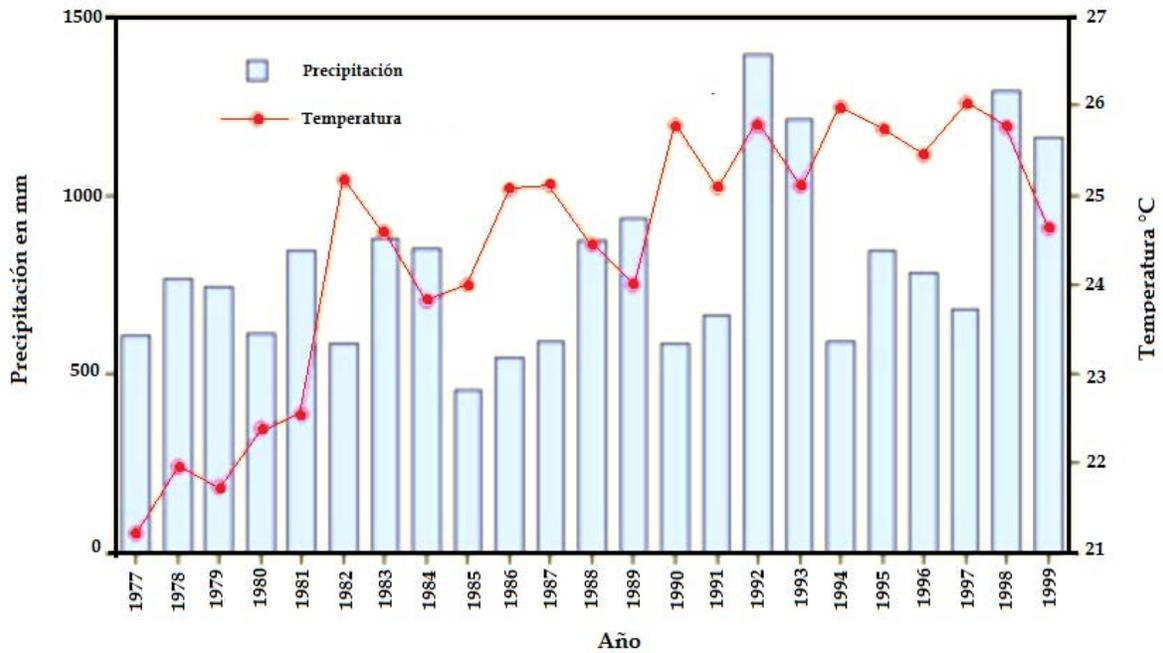


Figura 1. Diagrama de temperatura y precipitación registrada anualmente en la estación meteorológica de la estación de Biología de Chamela Jalisco, México, para el período 1977-1999 (IBUNAM, 2012).

El crecimiento de las 11 especies se evaluó en los siguientes tratamientos; a) plantación con acolchado plástico, que fue colocado para cubrir toda la parcela y rodear la base de las plántulas, b) plantación con eliminación de pastos, en donde se deshirió la vegetación a 50 cm alrededor de las plántulas al momento de establecerlas y c) controles, donde no se realizó ningún tipo de manejo después de introducir las plántulas. En los cinco sitios experimentales se establecieron seis parcelas de 36 x 30 para cada tratamiento; dentro de los sitios, las parcelas se encontraban separadas entre sí por 20 m. Las parcelas se establecieron en los sitios de manera sistemática para evitar que dos tratamientos estuvieran juntos. En cada parcela se establecieron diez plantas de cada especie separados entre sí por 3m para un total de 110 plantas por parcela de las 11 especies. La ubicación de las plantas de todas las especies en cada parcela fue sistemática para evitar que dos plantas de la misma especie fueran plantadas juntas.

Diseño experimental

Para el presente trabajo se seleccionaron tres de los sitios de restauración con tres parcelas de 36 x 30m para cada tratamiento en cada sitio (Fig. 1). La selección de los sitios y las parcelas utilizados en este estudio se basó en su cercanía del camino (Tabla 2). En cada parcela se seleccionaron sistemáticamente cuatro plantas de las once especies de estudio (396 plantas, 36 por especie y tratamiento). A cada planta se le midió la altura, el diámetro a la base del tronco y la cobertura vegetal calculada mediante la fórmula del área de una elipse ($\text{Cobertura} = \pi * \text{diámetro de copa}^1 * \text{diámetro de copa}^2$; Shaw, 2005), en los dos tratamientos y en el control. La altura y la cobertura fueron medidas con un flexómetro (cm) y el diámetro a la base del tronco con un vernier electrónico (mm). El volumen se determinó a partir de la fórmula de un cono ($\text{volumen} = \pi * \text{radio}^2 * \text{altura} / 3$). A partir de un

análisis de contenido gravimétrico de agua en los tratamientos seleccionados, se encontró una mayor contenido de agua en el suelo del acolchado plástico ($3.963.96 \pm 1.14\%$) que en el control ($2.81 \pm 1.14\%$) y la remoción de pastos ($2.41 \pm 1.18\%$). El contenido gravimétrico de agua fue similar en los tres sitios (Martínez-Garza comunicación personal).

Tabla 1. Nombres científicos, familias y abreviaturas de 11 especies nativa de Chamela Jalisco seleccionadas para plantaciones de restauración ecológica.

| Especie | Familia | Abreviatura |
|---|----------------|--------------------|
| <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken | Boraginaceae | C.alli |
| <i>Cordia elaeagnoides</i> D.C. | Boraginaceae | C.ele |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | Malvaceae | Guazu |
| <i>Heliocarpus pallidus</i> Rose | Malvaceae | Helio |
| <i>Apoplanesia paniculata</i> C. Presl | Fabaceae | Apopl |
| <i>Caesalpinia eriostachys</i> Benth. | Fabaceae | C.eri |
| <i>Caesalpinia platyloba</i> S. Watson. | Fabaceae | C.pla |
| <i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw. | Fabaceae | C.pul |
| <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. | Fabaceae | Gliri |
| <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit | Fabaceae | Leuca |
| <i>Lysiloma microphyllum</i> Benth | Fabaceae | Lisyl |

Tabla 2. Ubicación, pendiente y orientación de los sitios estudiados bajo dos tratamientos de manejo y control en plantaciones de restauración ecológica en Chamela Jalisco, México.

| Sitio | Tratamiento | Coordenadas | Pendiente^a | Orientación |
|--------------|--------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 1 | Acolchado | 19° 32' 33.8'' N, 105° 03' 50.0'' W | 25.6 | NE |
| | Remoción | 19° 32' 35.2'' N, 105° 03' 47.9'' W | 29.5 | NE |
| | Control | 19° 32' 33.7'' N, 105° 03' 47.4'' W | 41.9 | SE |
| 2 | Acolchado | 19° 32' 27.0'' N, 105° 03' 40.9'' W | 36.4 | NE |
| | Remoción | 19° 32' 26.9'' N, 105° 03' 38.9'' W | 31.5 | NE |
| | Control | 19° 32' 29.5'' N, 105° 03' 36.1'' W | 25.0 | SE |
| 3 | Acolchado | 19° 32' 32.4'' N, 105° 03' 23.9'' W | 42.1 | E |
| | Remoción | 19° 32' 39.3'' N, 105° 03' 26.5'' W | 54.6 | N |
| | Control | 19° 32' 37.9'' N, 105° 03' 25.8'' W | 47.4 | E |

^a Pendiente promedio de cinco puntos por parcela

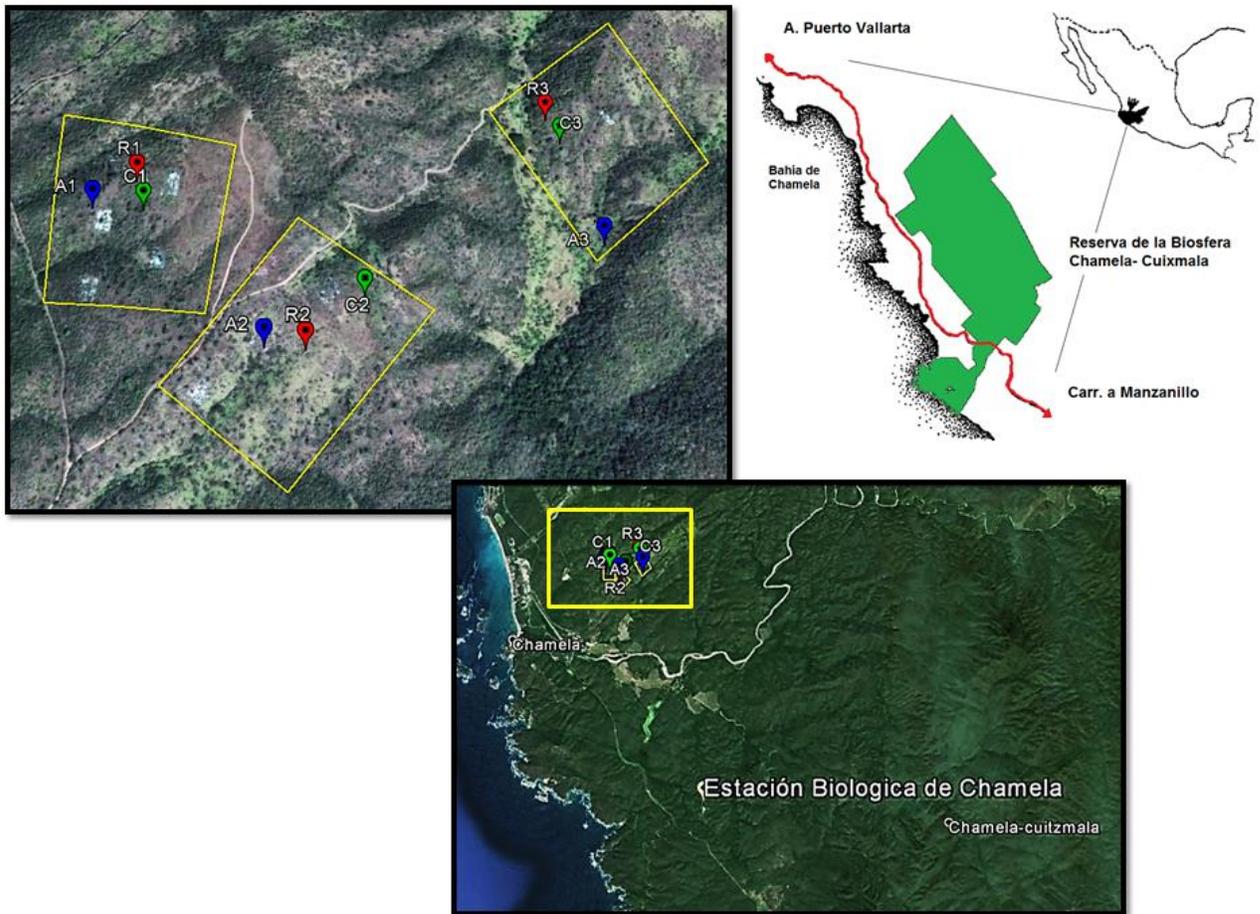


Figura 2. Localización de las parcelas de restauración ecológica cercanas a la estación biológica de Chamela en Chamela-Jalisco. Mapa satelital de las parcelas (36 x 30m).

Medición de atributos foliares

Hojas. En agosto del 2013 se seleccionaron del dosel de cuatro árboles de las once especies tres hojas completamente expandidas y sin herbivoría. Las hojas se colocaron en bolsas de plástico, fueron selladas y se trasladaron al laboratorio donde se mantuvieron en refrigeración (aprox. 24 hrs) para su posterior cuantificación de peso fresco y área foliar (n=1118). En el caso de las hojas compuestas se seleccionaron tres folíolos en la misma posición relativa al raquis.

Área foliar. El área foliar se midió tomando en cuenta sólo la lámina foliar sin pecíolo. El área se midió en hojas frescas utilizando un medidor de área foliar (Ci -202, CID, Inc. Camas, WA, EE.UU.). El peso fresco de la hoja se determinó con una balanza analítica OHAUS modelo Adventure (Ohaus Corp. Parsippany, NJ, USA). Después de medir el área foliar en las hojas frescas, éstas se colocaron en bolsas de papel y se secaron en un horno durante 48 horas a una temperatura de 80°C para después obtener el peso seco. A partir de las medidas de área foliar, peso fresco y peso seco de la hoja se calcularon los siguientes atributos foliares para cada planta (Cornelissen *et al.*, 2003):

Área foliar específica (AFE). El AFE (cm^{-2}/g) se calculó con el valor de área de la hoja (AF) dividida entre el peso seco de la hoja (PS).

$$\text{AFE} = \text{AF} / \text{PS} \text{ (cm}^2/\text{g)}$$

Contenido de Masa Seca (CMS). El CMS (g g^{-1}) se calculó con el valor de peso seco de la hoja (PS) dividida entre el valor del peso fresco de las hojas (PF) (Cornelissen *et al.*, 2003).

$$\text{CMS}=\text{PS}/\text{PF} \text{ (g/g)}$$

Índice de disección. Para determinar el índice de disección de las hojas se midió el perímetro de la hoja seca con el medidor de área foliar (Ci -202, CID, Inc. Camas, WA, EE.UU.), y se aplicó la siguiente fórmula (Nicotra *et al.*, 2008).

$$D=\text{Perímetro}/[2\sqrt{(\text{área} * \pi)}]$$

Demografía foliar. Para evaluar la producción y longevidad foliar se eligió una rama de cada individuo cuyo meristemo apical estuviera vivo ($n= 396$). En la rama se marcaron las hojas completamente expandidas con anillos de distintos colores para cada registro (Kikuzawa y Lechowicz, 2011). Las hojas nuevas, vivas y muertas se censaron 7 veces entre julio del 2013 y mayo del 2014, con intervalos de 23 a 40 días entre cada censo. Los últimos dos censos se realizaron cada dos meses. La primera cohorte de hojas marcadas en el primer censo, se siguió durante seis muestreos durante una temporada de crecimiento (agosto 2013 a mayo del 2014). La longevidad foliar se refiere al número de días de vida de la hoja obtenida de curvas de sobrevivencia de las hojas. La producción foliar se estimó como la suma de hojas producidas en cada individuo durante la temporada de crecimiento.

Análisis estadísticos

La altura, diámetro, cobertura y volumen del tronco de las especies no pudieron ser normalizadas por lo que se evaluaron con análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis. Para estos análisis se utilizaron las plantas como réplicas (N=396 plantas), incluyendo la especie como factor de variación y las cuatro variables de tamaño como variables de respuesta. Posteriormente, para realizar pruebas paramétricas incluyendo a las especies, el manejo y los sitios, las especies fueron agrupadas en dos categorías de altura después de dos años de crecimiento: las especies que se incluyeron en la categoría de crecimiento rápido fueron *Leucaena*, *Gliricidia*, *Heliocarpus*, *Guazuma* y *C. pulcherrima* mientras que *C. platyloba*, *C. elaeagnoides*, *Apoplanesia*, *Lysiloma*, *C. alliodora* y *C. eriostachys* se incluyeron en la categoría de especies de crecimiento lento. Para evaluar si el tamaño de las plantas difirió entre las categorías de altura, los sitios y el manejo se utilizó un ANOVA de tres vías con cada una de las cuatro variables de tamaño (altura, diámetro a la base y cobertura) como variable de respuesta. Para cumplir los supuestos del ANOVA, la altura y el diámetro a la base del tronco fueron transformados con la raíz cuadrada mientras que la cobertura y el volumen del tronco fueron transformados con el Logaritmo base 10. Para el volumen del tronco las categorías de crecimiento se evaluaron por separado porque las varianzas no pudieron homogeneizarse. Cuando el factor de variación fue significativo, los niveles fueron comparados con la prueba post hoc de Tukey con una probabilidad de $P < 0.05$.

Para evaluar los atributos funcionales de las hojas (área foliar, masa foliar específica, índice de disección y contenido de masa seca) por especies, sitios y tratamientos se utilizaron ANOVAS de tres vías. Los atributos foliares fueron transformados con el Logaritmo base 10 para cumplir con los supuestos del ANOVA. Para evaluar la relación

entre atributos funcionales se usaron correlaciones de Pearson. Un análisis de componentes principales (ACP) se usó para describir la funcional múltiple (estrategia multivariada). Para predecir el tamaño de las especies se usaron regresiones simples entre los atributos funcionales individuales y la funcional múltiple (estrategia multivariada) representada por los dos primeros ejes del ACP. Algunas especies con comportamiento atípico fueron eliminadas de las regresiones cuando estaban fuera de los márgenes de confianza de las correlaciones; en los resultados se reportan las regresiones incluyendo a todas las especies y aquellas sin las especies atípicas.

La longevidad foliar se determinó para cada una de las especies por medio de curvas de sobrevivencia foliar por tratamiento. El método del límite del producto de Kaplan Meier se usó para reconstruir las curvas de sobrevivencia foliar. Las curvas de sobrevivencia foliar para las especies en cada tratamiento fueron comparadas a partir de la prueba de Logaritmo del rango (Logrank); esta prueba compara el rango Logarítmico en el número de eventos de muerte (Machin *et al.* 2006). A las hojas se les asignó en el tiempo 0 cuando fueron inicialmente marcadas y un número de días de sobrevivencia conforme a los meses muestreados. Para evaluar productividad se realizaron curvas de frecuencia acumulada y estas se compararon entre tratamiento con una prueba de suma de cuadrados F (GraphPad Software Inc., 2015). En la sección de resultados, se reportan promedios y desviaciones estándar transformadas a sus valores originales. Todos los análisis fueron hechos con el paquete estadístico Statistica 7 excepto los de demografía foliar que se realizaron en el paquete estadístico Graph Pad Prism 6. En los resultados y discusión se refiere a las especies por su género o a la abreviatura de la especie para las especies del mismo género.

RESULTADOS

VARIACIÓN INTERESPECIFICA EN CRECIMIENTO

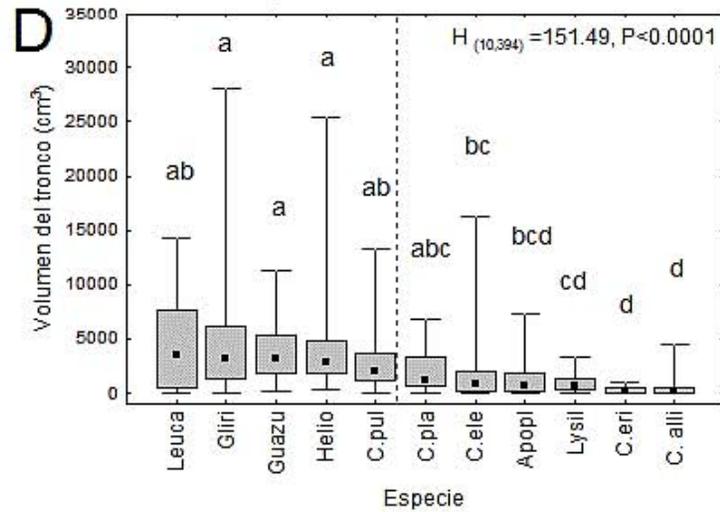
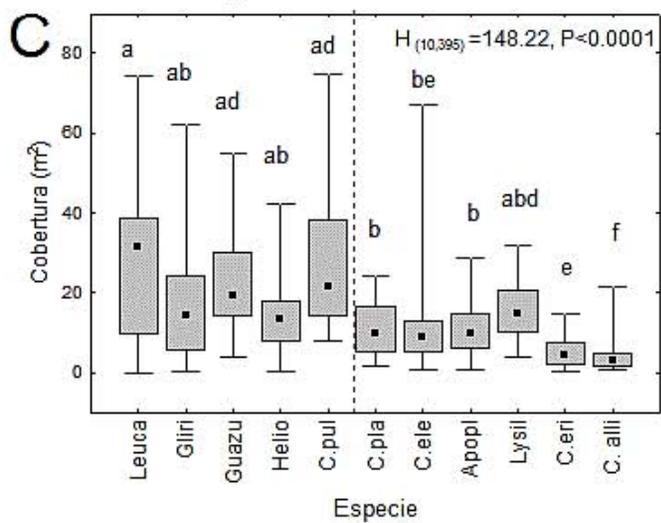
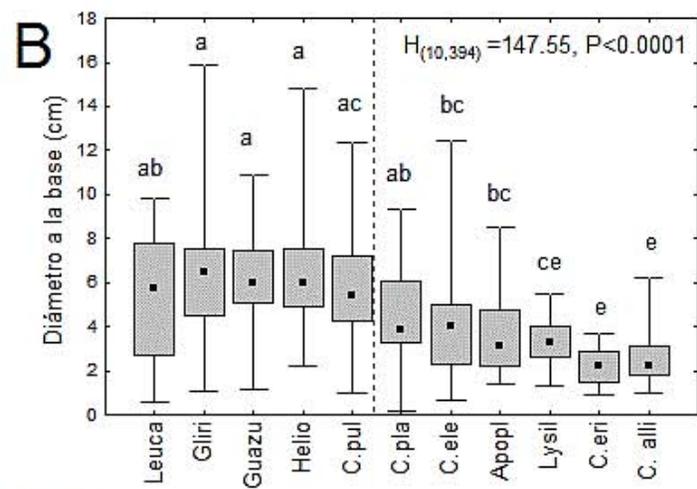
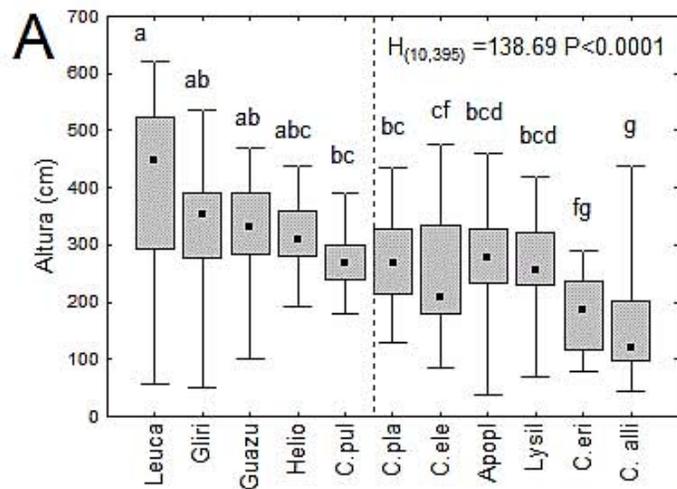
Altura. Después de dos años de la plantación, *Leucaena* fue la especie que presentó la mayor altura (390.50 ± 17.69 cm) mientras que *C. alliodora* mostró la menor altura (143.91 ± 8.66 cm; Fig. 2A). La prueba no paramétrica Kruskal-Wallis reveló que la altura fue significativamente diferente entre especies ($H_{(10, 395)} = 138.69$, $P < 0.0001$). La comparación múltiple mostró que *Gliricidia*, *Guazuma* y *Heliocarpus* tuvieron alturas estadísticamente similares a *Leucaena*, mientras que *C. eriostachys* mostró una altura estadísticamente similar a *C. alliodora*. El resto de la especies mostraron alturas intermedias (Fig. 3A).

Diámetro a la base. *Gliricidia* fue la especie con mayor diámetro a la base (6.11 ± 0.36 cm) mientras que *C. eriostachys* presentó el menor diámetro (2.15 ± 0.08 cm). La prueba estadística mostró que el diámetro de las plantas difirió significativamente entre especies ($H_{(10,394)} = 147.55$, $P < 0.0001$; Fig. 3B). La comparación múltiple indicó que *Heliocarpus*, *Guazuma*, *C. pulcherrima*, *Leucaena* y *C. platyloba* tuvieron diámetros similares a *Gliricidia* ($P > 0.05$, Fig. 3B). Por otro lado, *C. alliodora* y *Lysiloma* tuvieron diámetros similares al de *C. eriostachys*. El resto de las especies tuvieron diámetros intermedios y estadísticamente similares entre sí (Fig. 3B).

Cobertura. *C. pulcherrima* mostró la mayor cobertura (23.48 ± 1.85 m²) mientras que *C. alliodora* mostró la menor cobertura (3.35 ± 2.04 m²). El análisis estadístico mostró diferencias entre las especies ($H_{(10,395)} = 148.22$, $P < 0.0001$; Fig. 3C). La comparación múltiple entre especies señaló que *Leucaena*, *Gliricidia*, *Guazuma* y *Heliocarpus*

mostraron una cobertura similar a *C. pulcherrima* ($P > 0.05$). Por otro lado, *Lysiloma*, *Apoplanesia*, *C. platyloba* y *C. elaeagnoides* tuvieron una cobertura intermedia y estadísticamente similar entre ellas ($P > 0.05$; Fig. 3D).

Volumen del tronco. *Heliocarpus* mostró el mayor volumen ($2901.92 \pm 2.46\text{cm}^3$), mientras que *C. eriostachys* mostró el menor volumen ($188.85 \pm 3.11\text{cm}^3$). El análisis estadístico reveló que hubo diferencias significativas entre especies ($H_{(10,394)} = 151.49$, $P < 0.0001$). El volumen de *Leucaena*, *Gliricidia*, *Guazuma* y *C. pulcherrima* fue similar al de *Heliocarpus* ($P > 0.05$). *C. alliodora* mostró un volumen similar a *C. eriostachys*. Las especies con un volumen intermedio y estadísticamente similar entre ellas fueron *C. elaeagnoides*, *C. platyloba*, *Apoplanesia* y *Lysiloma* ($P > 0.05$; Fig. 3C).



■ Mediana □ 25%-75% ▭ Min-Max

Figura 3. Gráfica de cajas de (A) la altura, el (B) el diámetro a la base, (C) la cobertura y (V) el volumen del tronco de 11 especies de árboles nativos de Chamela, Jalisco con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración. Las letras sobre las barras de datos máximos indican diferencias significativas evaluadas con una prueba de comparación múltiple. La línea punteada indica la división de especies en dos categorías basadas en la altura: especies de crecimiento rápido a la izquierda y especies de crecimiento lento a la derecha.

EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE RESTAURACIÓN EN EL TAMAÑO DE LAS ESPECIES

Altura

Para poder realizar los análisis de las variables de tamaño por tratamiento de manejo en los tres sitios, las 11 especies fueron agrupadas en dos categorías de altura: especies de crecimiento rápido y especies de crecimiento lento (ver Análisis Estadísticos en Métodos). Las especies de la categoría de crecimiento rápido presentaron una altura promedio de 320.67 ± 9.12 cm mientras que las de la categoría de crecimiento lento mostraron en promedio una altura de 221.43 ± 10.69 cm. El ANOVA reveló diferencias significativas en la altura por categorías ($F_{(1,377)}=97.71$, $P < 0.0001$, Fig. 4A, Apéndice I). Las plantas en el tratamiento acolchado presentaron en promedio la mayor altura (305.29 ± 13.17 cm), en el tratamiento control la menor altura (239.04 ± 10.58 cm) y en el tratamiento remoción mostraron una altura intermedia (250.26 ± 10.81 cm). El ANOVA reveló diferencias en la altura por efecto del tratamiento de manejo ($F_{(2, 377)}=16.12$, $P < 0.0001$; Apéndice I). La prueba Post Hoc de Tukey reveló que la altura de las plantas en el acolchado plástico fue significativamente más alta que en las plantas en el tratamiento remoción y control (Fig. 5A).

Las plantas tuvieron en promedio una mayor altura en el sitio 2 (276.64 ± 11.80 cm), menor en el sitio 1 (247.62 ± 13.30 cm), mientras que la altura de las plantas en el sitio 3 mostró valores intermedios (268.43 ± 11.37 cm). La prueba estadística mostró que la altura de las plantas difirió por efecto del sitio ($F_{(2,377)}=3.19$, $P < 0.05$; Fig. 6A, Apéndice I). La prueba Post Hoc reveló que la altura fue significativamente diferente en el sitio 1 y 2 y la

altura de las plantas en el sitio 3 fue estadísticamente similar a ambos sitios (Fig.6A). Para la altura, las interacciones de primer y segundo grado no fueron significativas (Apéndice1)

Diámetro a la base

Las especies de la categoría de crecimiento rápido presentaron un diámetro promedio de 5.75 ± 0.29 cm mientras que las especies de la categoría de crecimiento lento presentaron un diámetro de 3.22 ± 0.23 cm. El ANOVA mostró diferencias significativas en el diámetro por categorías de altura ($F_{(1,376)}=165.5$, $P < 0.0001$, Fig. 4B, Apéndice II). Las plantas que crecieron en el tratamiento acolchado mostraron en promedio el mayor diámetro (5.38 ± 0.36 cm), mientras que las plantas en el control presentaron el menor diámetro (3.52 ± 0.27 cm); las plantas en el tratamiento remoción mostraron un diámetro intermedio (4.04 ± 0.31 cm). El análisis de varianza reveló diferencias en el diámetro por efecto del tratamiento de manejo ($F_{(2, 376)}= 31.59$, $P < 0.0001$, Apéndice II), donde el diámetro de las plantas en el acolchado plástico fue estadísticamente distinto del registrado en la plantas del tratamiento remoción y control (Fig. 5B).

En promedio, las plantas tuvieron un mayor diámetro en el sitio 2 (4.62 ± 0.34 cm) y menor en el sitio 3 (3.88 ± 0.30 cm), mientras que el diámetro de las plantas en el sitio 1 mostró valores intermedios (4.36 ± 0.39 cm). El ANOVA indicó que el diámetro fue significativamente diferente entre los sitios ($F_{(2,376)}= 5.40$, $P < 0.05$, Fig.6B, Apéndice II).La prueba Post Hoc reveló que el diámetro de las plantas en el sitio 2 fue significativamente diferente al registrado en el sitio 3, pero estadísticamente similar al del sitio 1(Fig.5B). La interacción sitio \times tratamiento fue significativa ($F_{(4,376)}=4.26$, $P < 0.005$, Fig.7A, Apéndice II). El Post Hoc reveló que el diámetro de las plantas en el control

del sitio 1 fue significativamente más bajo que lo registrado en los otros sitios para los tratamientos acolchado y remoción (Fig.7A).

Cobertura

Las especies de la categoría de crecimiento rápido presentaron el doble de cobertura ($15.90 \pm 2.73 \text{ m}^2$) que la de las especies de la categoría de crecimiento lento ($6.82 \pm 2.56 \text{ m}^2$). El ANOVA reveló diferencias significativas en la cobertura por efecto de la categoría de altura ($F_{(1,377)}=88.59$, $P < 0.0001$, Fig.4C, Apéndice III). Las plantas en el tratamiento acolchado mostraron la mayor cobertura ($15.90 \pm 2.51 \text{ m}^2$), las plantas en el tratamiento control tuvieron la menor cobertura ($7.46 \pm 2.95 \text{ m}^2$) y las plantas en el tratamiento remoción mostraron una cobertura intermedia ($8.44 \pm 2.74 \text{ m}^2$). El ANOVA reveló diferencias en la cobertura por efecto del tratamiento de manejo ($F_{(2, 377)}=27.23$, $P < 0.0001$, Fig.5C, Apéndice III). Análisis post Hoc indicaron que las plantas en el tratamiento acolchado mostraron una cobertura significativamente mayor que las plantas en los tratamientos remoción y control (Fig.5C).

La cobertura promedio más alta se observó en el sitio 2 ($10.68 \pm 2.96 \text{ m}^2$) y la menor cobertura se registró en el sitio 1 ($8.88 \pm 3.15 \text{ m}^2$); las plantas del sitio 3 mostraron una cobertura intermedia $10.57 \pm 2.51 \text{ m}^2$. El análisis estadístico indicó que la cobertura fue estadísticamente similar entre sitios. Sin embargo la interacción sitio \times tratamiento fue significativa ($F_{(4,377)}=5.95$, $P < 0.0001$, Fig. 7B, Apéndice III). El Post Hoc reveló que la cobertura de las plantas en el control del sitio 1 fue significativamente más baja que la registrada en los otros sitios para los tratamientos acolchado y remoción (Fig.7B).

Volumen del tronco

Las categorías de crecimiento fueron evaluadas por separado para analizar el volumen (ver Análisis Estadísticos en Métodos). Las especies de la categoría de crecimiento rápido presentaron un volumen de tronco promedio de $2387.93 \pm 3.45 \text{ cm}^3$ mientras que las especies de la categoría de crecimiento lento presentaron en promedio un volumen de $494.04 \pm 4.33 \text{ cm}^3$.

Especies de crecimiento rápido. Las plantas de la categoría de crecimiento rápido tuvieron el mayor volumen del tronco en el tratamiento acolchado ($3954.06 \pm 3.5 \text{ cm}^3$), intermedio en el tratamiento remoción ($2454.12 \pm 2.53 \text{ cm}^3$) y el más bajo en el control ($1403.86 \pm 3.63 \text{ cm}^3$). El ANOVA reveló diferencias en el volumen del tronco por efecto del tratamiento de manejo ($F_{(2, 170)}=12.42$, $P < 0.0001$, Fig. 5D1, Apéndice IV). Los análisis, Post Hoc mostraron que las plantas en el tratamiento acolchado tuvieron un volumen mayor y estadísticamente distinto del tratamiento control, pero similar al tratamiento remoción. La interacción sitio \times tratamiento fue significativa ($F_{(4,170)}=2.59$, $P < 0.05$, Fig. 7C1, Apéndice IV), la prueba Post Hoc reveló que el volumen de las plantas en el tratamiento control del sitio 1 fue significativamente más baja que en la observada en los otros sitios para los tratamientos acolchado y remoción (Fig.7C1).

Especies de crecimiento lento. Las plantas de la categoría de crecimiento lento tuvieron el mayor volumen del tronco en el tratamiento acolchado ($1028.69 \pm 3.73 \text{ cm}^3$), intermedio en el tratamiento de remoción ($371.41 \pm 3.82 \text{ cm}^3$) y más bajo en el control ($313.62 \pm 4.30 \text{ cm}^3$). El ANOVA mostró diferencias en el volumen por efecto del tratamiento de manejo ($F_{(2, 206)}=16.10$, $P < 0.0001$, Fig. 5D2, Apéndice V). El Post Hoc reveló que las

plantas en el tratamiento acolchado tuvieron un volumen mayor y estadísticamente distinto de las plantas en el tratamiento de remoción y el control. El volumen de las plantas fue estadísticamente similar en los tres sitios. La interacción sitio \times tratamiento fue significativa ($F_{(4,206)}=2.49$, $P < 0.04$, Fig.7C2, Apéndice V), sin embargo, el Post Hoc no reveló diferencias significativas en el volumen de las plantas entre los tratamientos de cada sitio.

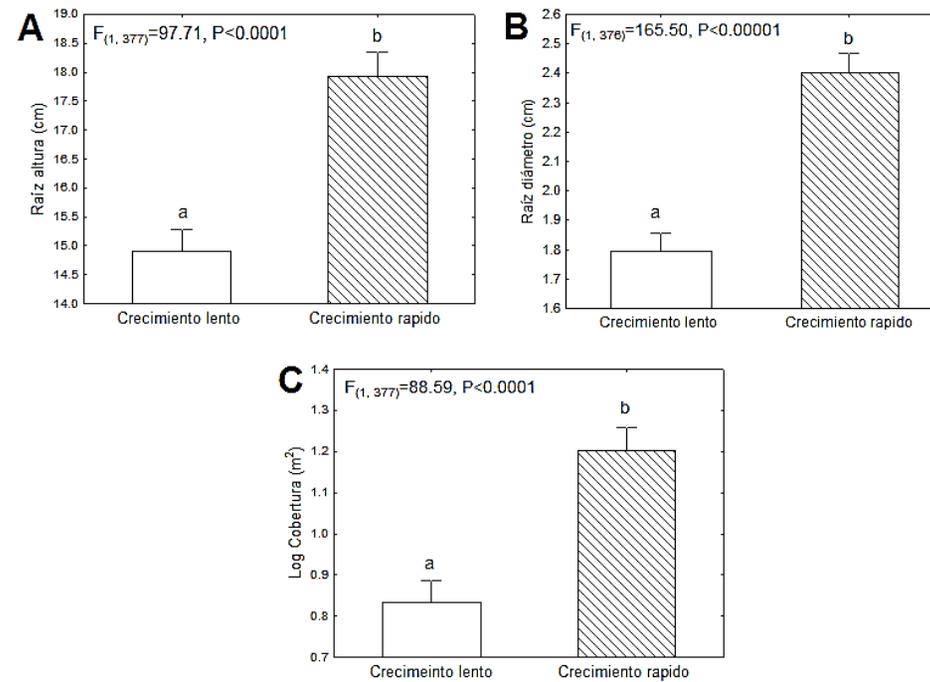


Figura 4. Diferencias en la categoría de tamaño de 11 especies de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco; promedio (\pm EE) de la (A) raíz cuadrada de la altura, (B) raíz cuadrada del diámetro a la base del tronco y (C) Log 10 de la cobertura. Para cada variable de tamaño las letras distintas entre categoría indican diferencias significativas evaluadas con la prueba de Tukey.

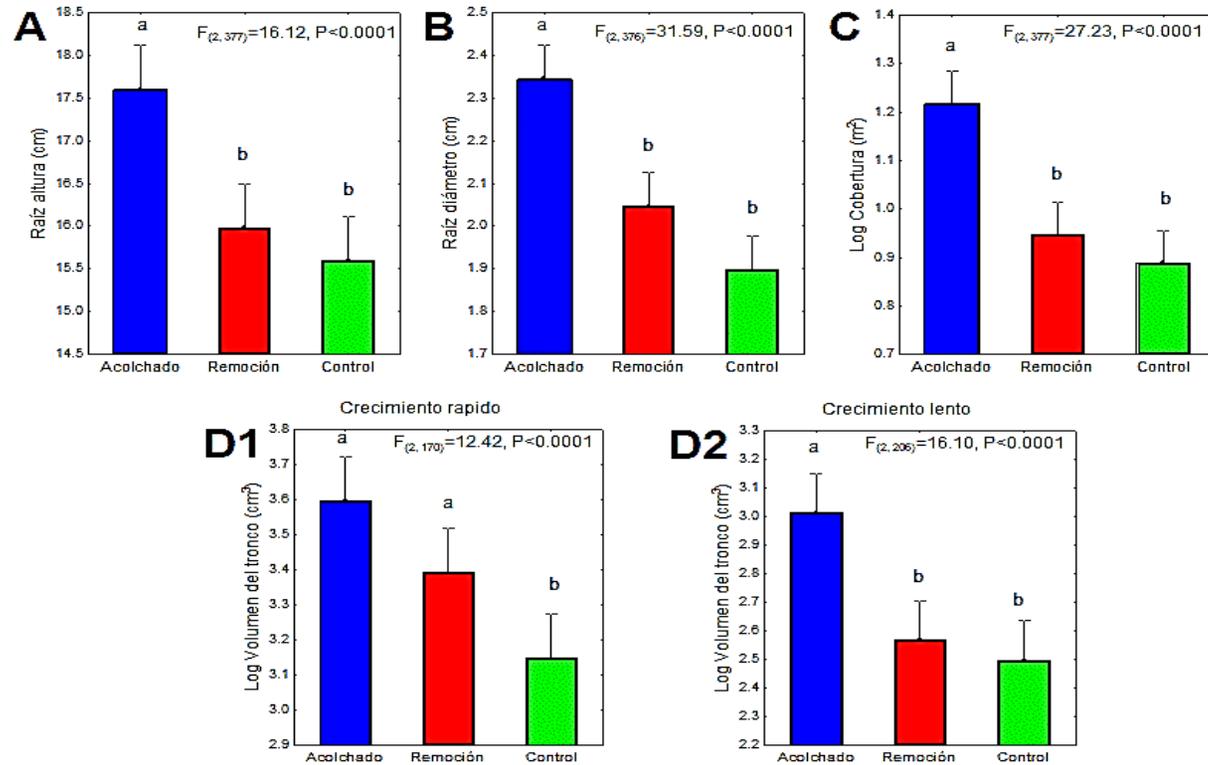


Figura 5. Efecto del tratamiento en el tamaño de individuos pertenecientes a 11 especies de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco; promedio (\pm EE) de la (A) raíz cuadrada de la altura, (B) raíz cuadrada del diámetro a la base del tronco, (C) Logaritmo 10 de la cobertura, (D1) logaritmo10 del volumen: categoría de crecimiento rápido y (D2) logaritmo base 10 del volumen: crecimiento lento. Los tratamientos acolchado plástico se indica en azul, remoción de pastos en rojo y el tratamiento control en verde. Las letras distintas entre tratamientos para cada variable indican diferencias significativas evaluadas con la prueba de Tukey.

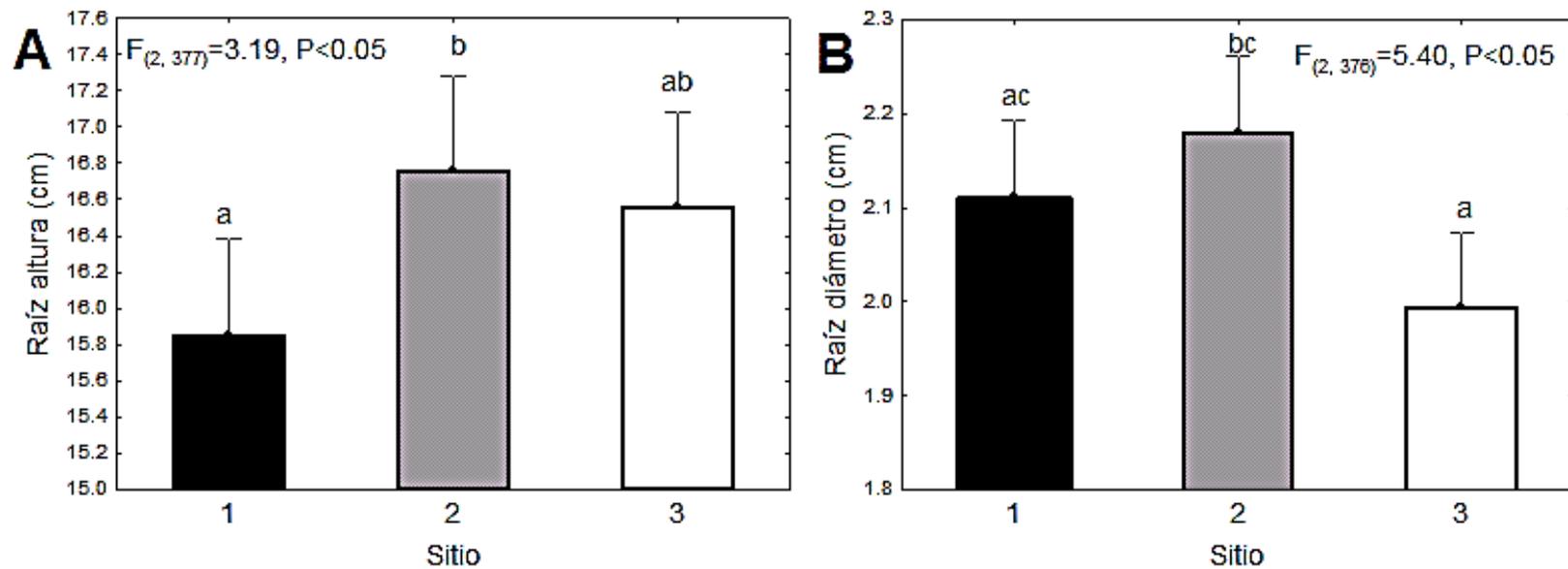


Figura 6. Efecto del sitio en el tamaño de individuos pertenecientes a 11 especies de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco; promedio (\pm EE) de la (A) raíz cuadrada de la altura y (B) raíz cuadrada del diámetro a la base del tronco. Las diferencias significativas de las variables entre sitios se indican con letras distintas evaluadas con la prueba de Tukey.

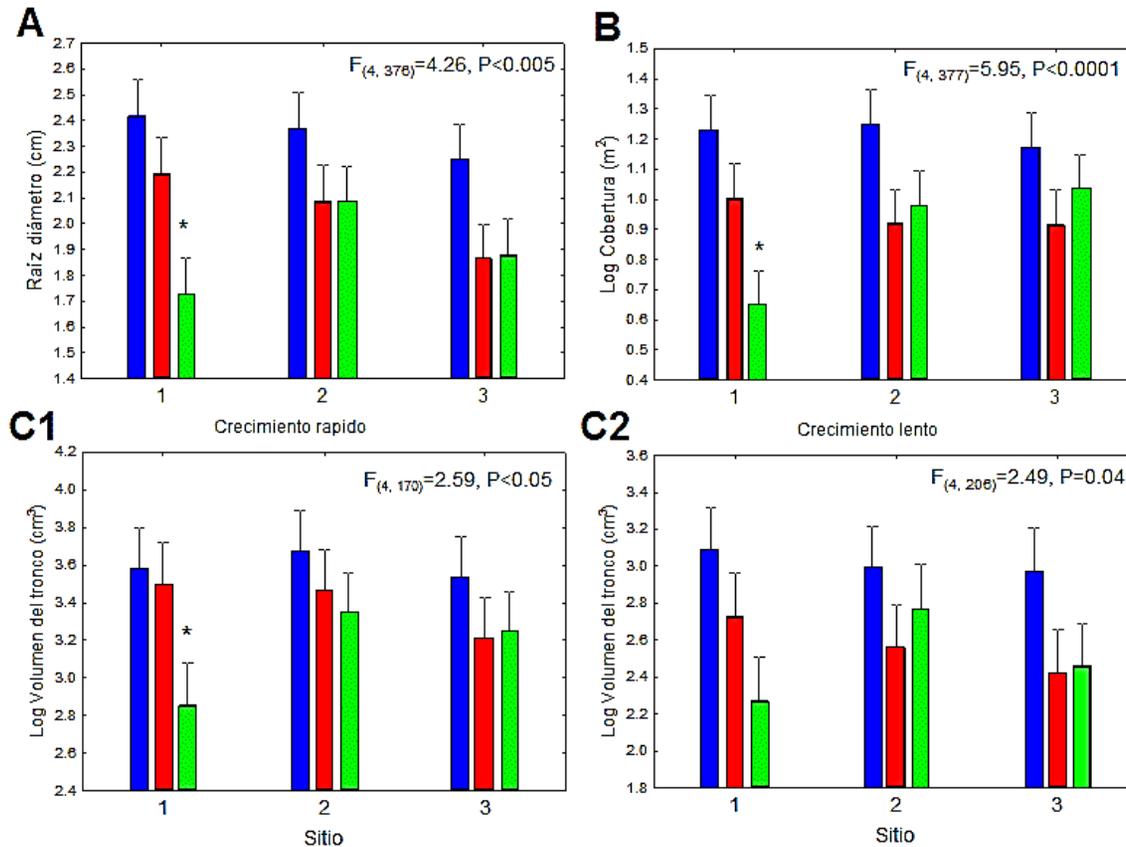


Figura 7. Efecto de la interacción sitio por tratamiento en el tamaño de dos categorías de 11 especies de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco; promedio (\pm EE) de la (A) raíz cuadrada de la altura, (C) raíz cuadrada de la cobertura, (C1) logaritmo 10 del volumen: especies de crecimiento rápido y (C2) logaritmo 10 del crecimiento lento. Los tratamientos acolchado plástico se indica en azul, remoción de pastos en rojo y el tratamiento control en verde. Las diferencias en la interacción evaluadas con la prueba de Tukey se indican con un asterisco.

ATRIBUTOS FOLIARES

Área foliar

C. elaeagnoides presentó el área foliar más grande ($56.43 \pm 1.09 \text{ cm}^2$) mientras que *C. eriostachys* presentó el área foliar más pequeña ($0.35 \pm 1.16 \text{ cm}^2$). El ANOVA reveló que el área foliar fue significativamente diferente entre especies ($F_{(10, 362)} = 632.79, P < 0.0001$; Apéndice VI). La prueba Post Hoc reveló que *C. elaeagnoides* presentó un área foliar similar a *Heliocarpus* mientras que *C. alliodora* y *Guazuma* mostraron valores de área foliar similares. *Gliricidia* y *C. platyloba* mostraron un área foliar intermedia y similar entre ellas. *Apoplanesia*, *Lysiloma*, *C. pulcherrima*, *Leucaena* y *C. eriostachys* presentaron áreas foliares menores y distintas entre sí (Fig. 8A).

La interacción tratamiento \times sitio no fue significativa (Fig. 9, Apéndice VI y VII). La interacción especie \times sitio fue significativa ($F_{(20,294)} = 1.71, P < 0.05$, Fig. 10A), sin embargo el Post Hoc no mostró diferencias en el área foliar de las especies dentro de cada sitio y entre los sitios. La interacción especie \times tratamiento también fue significativa ($F_{(20,294)} = 2.20, P < 0.01$, Fig.10B) pero la prueba Post Hoc no mostró diferencias en el área foliar de las especies por efecto del tratamiento.

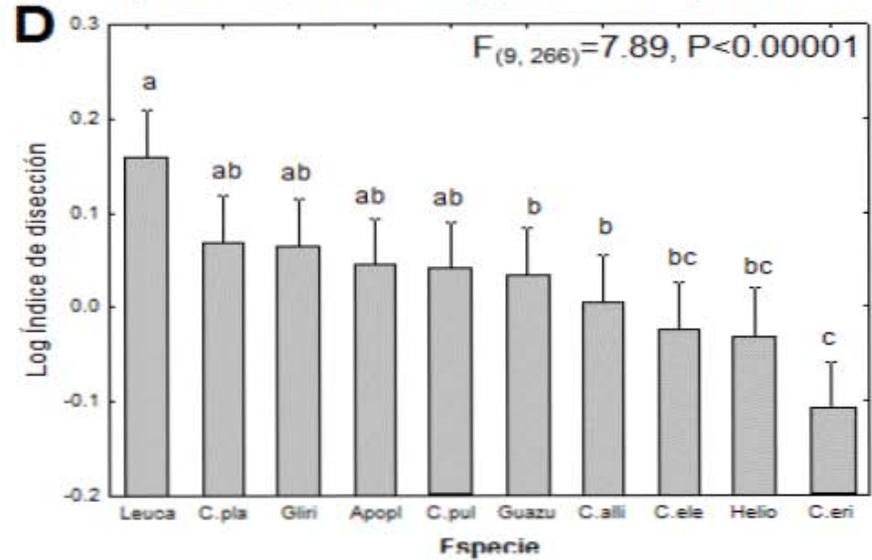
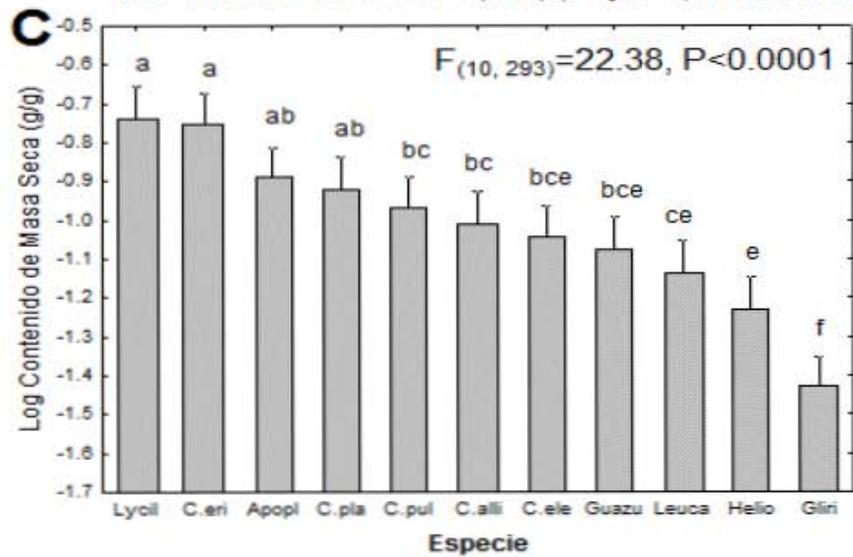
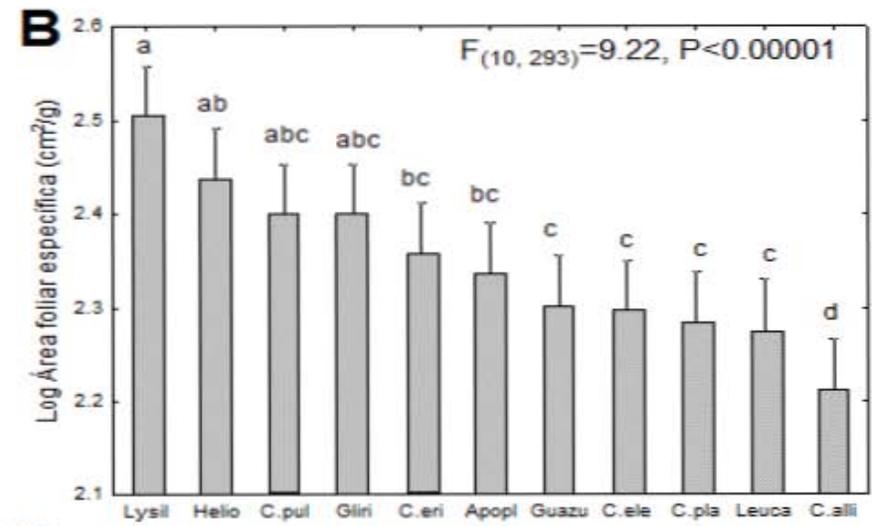
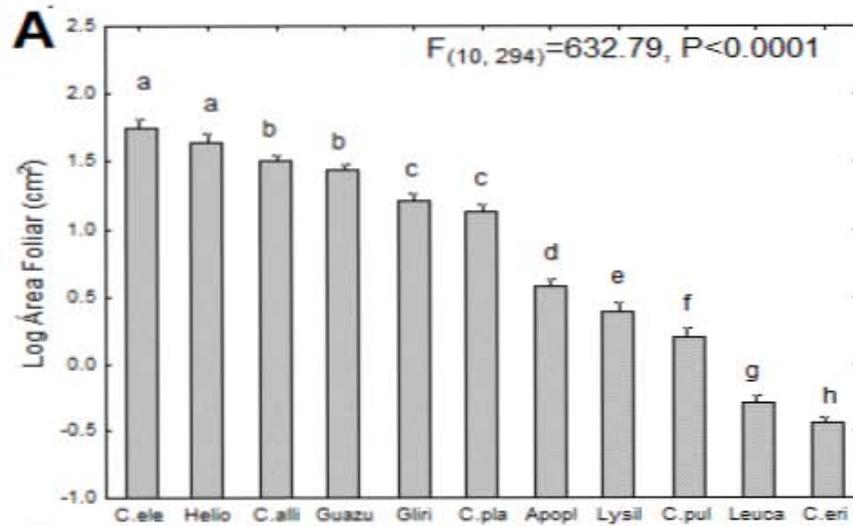


Figura 8. Promedio (\pm EE) del logaritmo en base 10 del (A) área foliar, (B) área foliar específica, (C) contenido de masa seca e (D) índice de disección de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Las diferencias significativas entre evaluadas con la prueba de Tukey se indican con letras distintas.

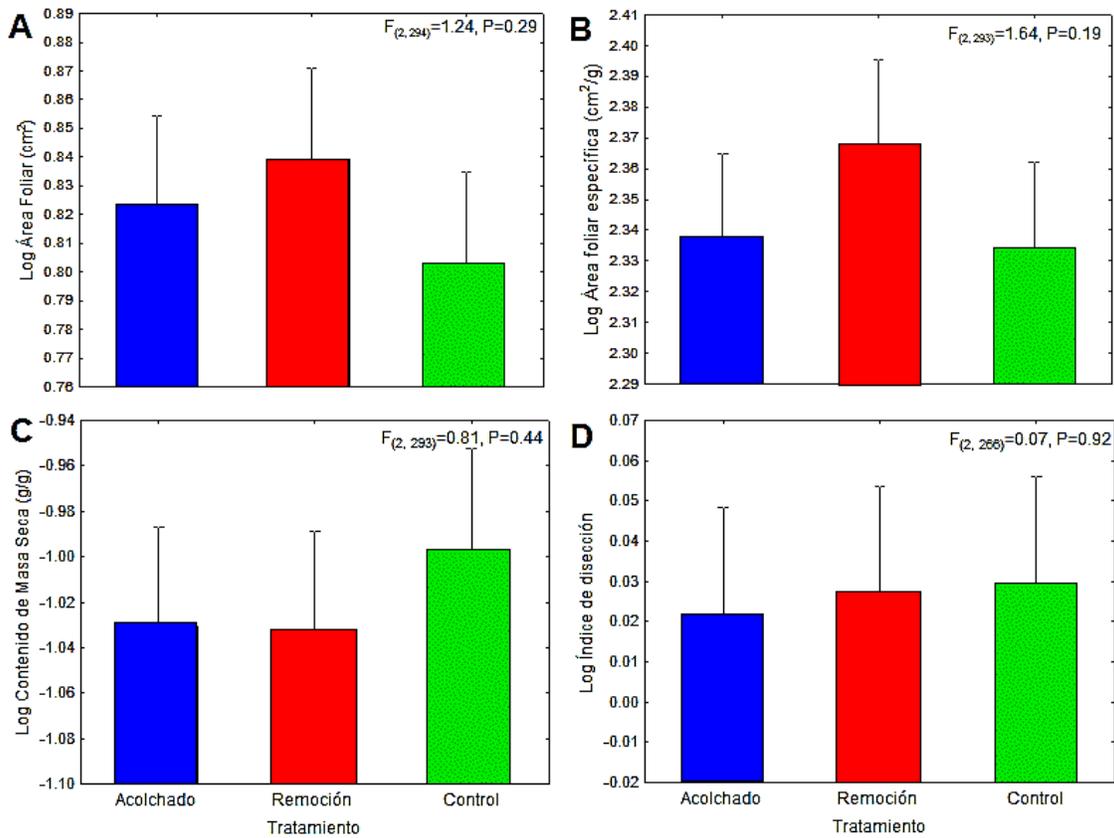


Figura 9. Efecto del tratamiento en el promedio (\pm EE) de los atributos foliares; logaritmo en base 10 del (A) área foliar, (B) área foliar específica, (C) contenido de masa seca e (D) índice de disección de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración bajo tratamientos de manejo en Chamela Jalisco. Los tratamientos se indican: azul=acolchado plástico, rojo=remoción de pastos y verde=control.

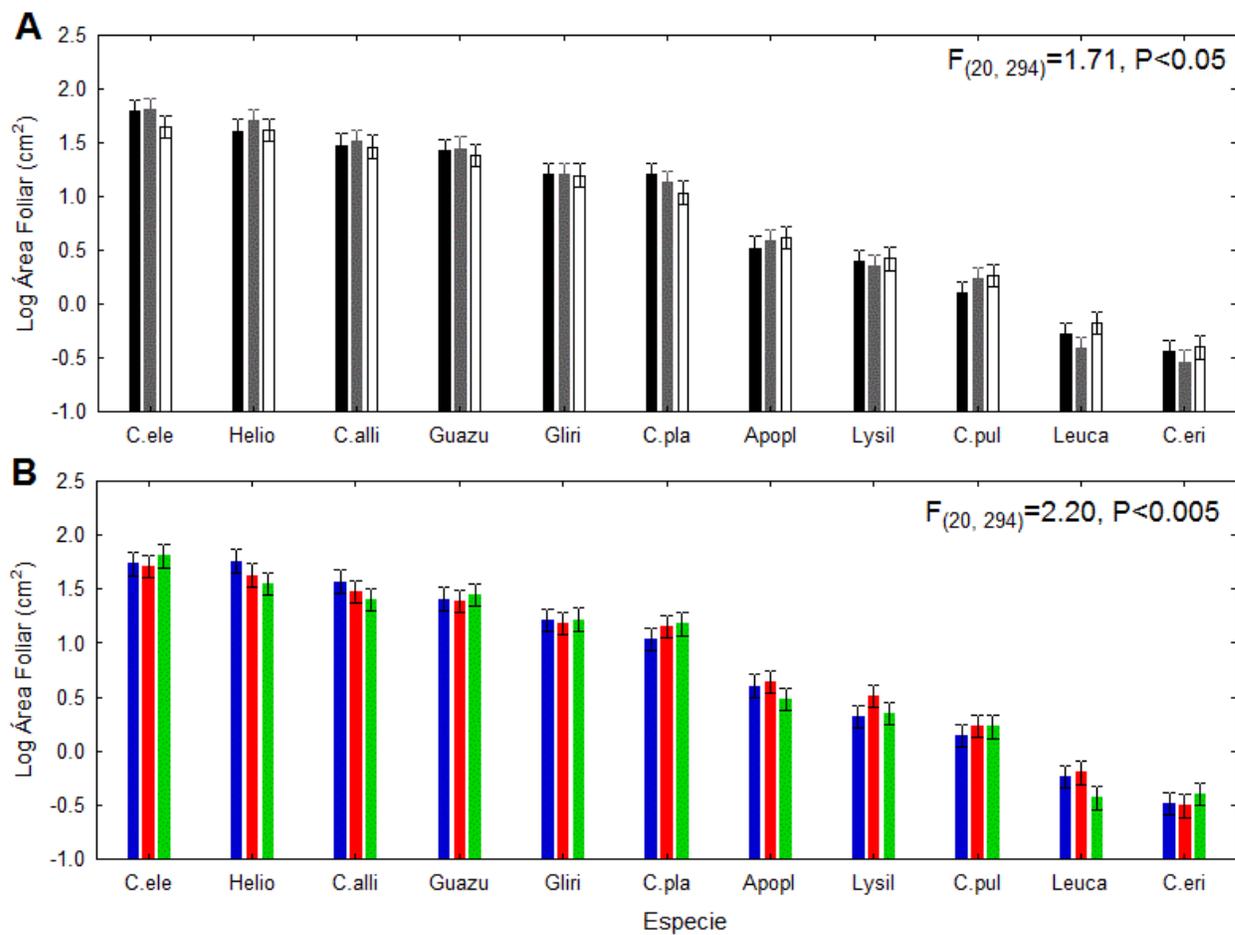


Figura 10. Efecto del sitio y el tratamiento en el promedio (\pm EE) del logaritmo₁₀ del área foliar de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Los (A) sitios se representan: negro= sitio 1, gris=sitio 2 y blanco= sitio 3. Los (B) tratamientos, se representan: azul= tratamiento acolchado plástico, rojo=tratamiento remoción de pastos y verde=tratamiento control.

Área foliar específica

Lysiloma presentó la mayor área foliar específica ($369.26 \pm 1.09 \text{ cm}^2/\text{g}$) mientras que *C. alliodora* mostró la menor área foliar específica ($163.24 \pm 1.04 \text{ cm}^2/\text{g}$). El ANOVA mostró que el área foliar específica fue significativamente distinta entre especies ($F_{(10,293)} = 9.22$, $P < 0.0001$; Apéndice VII). La prueba Post Hoc reveló que *Lysiloma* fue similar a *Heliocarpus*, *C. pulcherrima* y *Gliricidia*. Las especies *C. eriostachys*, *Apoplanesia*, *Guazuma*, *C. elaeagnoides*, *C. platyloba* y *Leucaena* tuvieron valores intermedios de área foliar específica estadísticamente similares entre ellas (Fig. 8B).

El área foliar específica fue mayor para las plantas del tratamiento remoción ($232.57 \pm 1.52 \text{ cm}^2/\text{g}$) y menor para las plantas en el control ($216.67 \pm 1.55 \text{ cm}^2/\text{g}$). El ANOVA reveló que el área foliar específica no mostró diferencias por efecto del tratamiento (Fig. 9B, Apéndice VI). El área foliar específica fue mayor en las plantas establecidas en el sitio 1 ($231.61 \pm 1.04 \text{ cm}^2/\text{g}$) y menor en las plantas establecidas en el sitio 2 ($205.10 \pm 1.04 \text{ cm}^2/\text{g}$), mientras que el área foliar específica de las plantas en el sitio 3 mostró valores intermedios ($229.98 \pm 1.03 \text{ cm}^2/\text{g}$). El ANOVA indicó que el área foliar específica de las plantas fue significativamente diferente por efecto del sitio ($F_{(2,293)} = 4.66$, $P < 0.05$, Fig.11A). El Post Hoc reveló que el área foliar específica de las plantas en el sitio 2 fue estadísticamente menor que el registrado en el sitio 1 y 3 (Fig.11A). La interacción sitio \times tratamiento fue significativa ($F_{(4,293)} = 6.74$, $P < 0.0001$, Fig.11B, Apéndice VII); el Post Hoc mostró que las plantas en el sitio 1 presentaron un área foliar específica más alta en el control pero estadísticamente similar al del acolchado mientras que las plantas en el tratamiento de remoción mostraron áreas foliares específicas menores pero estadísticamente similares al de las plantas en el acolchado (Fig.11B). En el sitio 2 el área foliar específica de las plantas mostró ser estadísticamente distinta del tratamiento remoción, pero similar al

tratamiento acolchado (Fig.11B). Por último en el sitio 3, las plantas de los dos tratamientos y el control mostraron valores de área foliar específica similares.

Contenido de Masa Seca

Leucaena tuvo el mayor contenido de masa seca (0.18 ± 1.10 g/g) y *Gliricidia* el menor (0.04 ± 1.09 g/g). La prueba de ANOVA indicó que las especies mostraron contenidos de masa seca distintos ($F_{(10, 293)} = 22.38$, $P < 0.0001$, Apéndice VIII). La prueba de Post Hoc indicó que *Lysiloma*, *C. eriostachys*, *Apoplanesia* y *C. platyloba* presentaron contenidos de masa seca similares. *C. pulcherrima*, *C. alliodora*, *C. elaeagnoides* y *Guazuma* tuvieron valores intermedios y similares entre sí. Las especies *Leucaena* y *Heliocarpus* mostraron valores menores de contenido de masa seca y fueron similares entre sí (Fig. 8C).

La interacción especie \times sitio fue significativa ($F_{(20,293)} = 2.61$, $P < 0.001$, Fig. 12A), sin embargo, el Post Hoc no mostró diferencias en el contenido de masa seca de las especies por sitio. La interacción sitio \times tratamiento también fue significativa ($F_{(4,293)} = 3.27$, $P < 0.05$, Fig.12B); sin embargo, la prueba Post Hoc no mostró diferencias en el contenido de masa seca del sitio por tratamiento. La interacción especie \times sitio \times tratamiento también fue significativa ($F_{(40,293)} = 1.77$, $P < 0.005$, Fig.11C), sin embargo, la prueba post Hoc no reflejó diferencias significativas dentro de las comparaciones de interés. El contenido de masa seca no mostró diferencias por efecto del tratamiento y el sitio (Fig. 9D, Apéndice VIII).

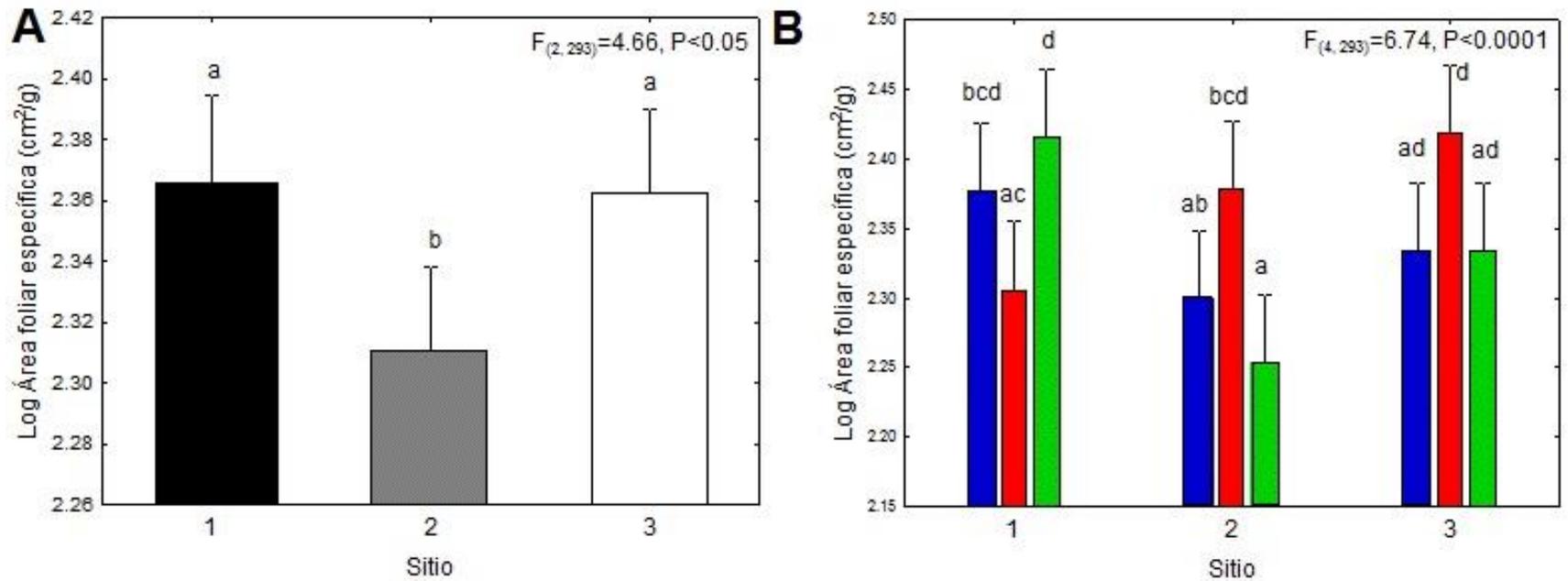


Figura 11. Efecto del sitio y la interacción sitio \times tratamiento en el promedio (\pm EE) del logaritmo 10 del área foliar específica de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Los sitios (A) se representan: negro=sitio 1, gris=sitio 2 y blanco= sitio 3. Los tratamientos (B), se representan: azul= tratamiento acolchado plástico, rojo=tratamiento remoción de pastos y verde=tratamiento control. Las diferencias encontradas con la prueba post hoc de Tukey se muestran con letras distintas.

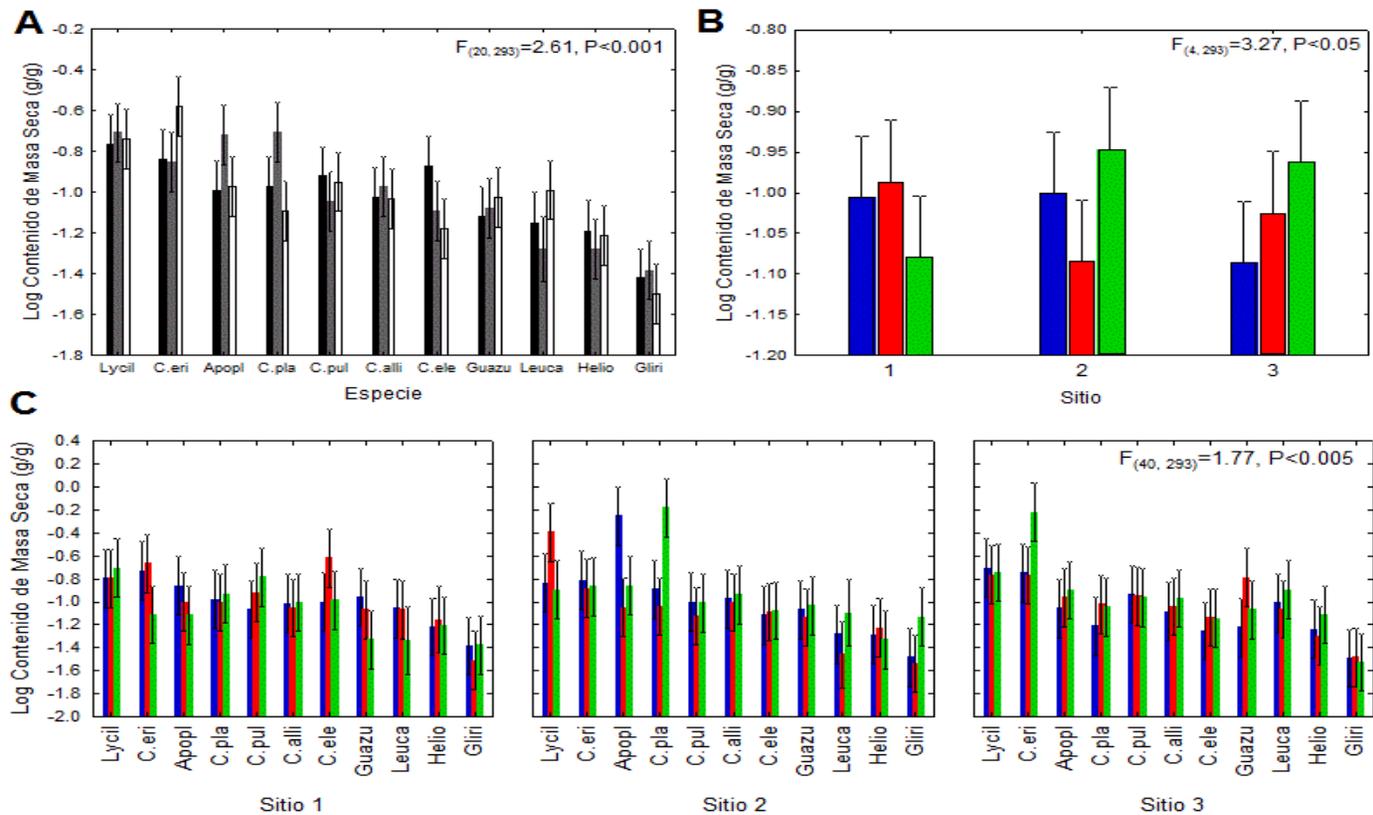


Figura 12. Efecto de la interacción especie \times sitio (A), sitio \times tratamiento (B) y especie \times sitio \times tratamiento en el promedio (\pm EE) del logaritmo₁₀ en el contenido de masa seca de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Los sitios (A) se representan: negro= sitio 1, gris=sitio 2 y blanco= sitio 3. Los tratamientos (B), se representan: azul= tratamiento acolchado plástico, rojo=tratamiento remoción de pastos y verde=tratamiento control. La prueba post hoc de Tukey no mostró diferencias en ninguno de los casos.

Índice de disección

Leucaena presentó los valores más altos del índice de disección (1.41 ± 1.13) y *C. eriostachys* tuvo el índice de disección más bajo (0.78 ± 1.09). La prueba de ANOVA mostró que el índice de disección fue distinto entre especies ($F_{(9, 347)} = 7.89, P < 0.001$; Apéndice IX). La prueba Post Hoc indicó que *Leucaena*, *C. platyloba*, *Gliricidia*, *Apoplanesia* y *C. pulcherrima* fueron similares entre sí. *Guazuma*, *C. alliodora*, *C. elaeagnoides* y *Heliocarpus* mostraron valores intermedios y similares entre sí (Fig.8D).

En promedio, el índice de disección fue mayor en el sitio 2 (1.16 ± 1.03) y menor en el sitio 1 (0.99 ± 1.03), mientras que el índice de disección del sitio 3 mostró valores intermedios (1.16 ± 1.04). El ANOVA indicó que el índice de disección fue estadísticamente distinto entre sitios ($F_{(2,266)} = 7.71, P < 0.001$, Fig.13A). El Post Hoc reveló que el índice de disección fue significativamente mayor en el sitio 2 con respecto al sitio 1 y 3 que mostraron un índice de disección menor y estadísticamente similar entre ellos (Fig.13A). La interacción especie \times sitio fue significativa ($F_{(18,266)} = 2.36, P < 0.001$, Fig. 13B); la prueba Post Hoc mostró diferencias significativas en el índice de disección por sitio sólo para *Leucaena*. Para esta especie, las plantas establecidas en el sitio 2 mostraron un índice de disección significativamente mayor al de las plantas del sitio 1 y 3 (Fig.13C). El índice de disección no mostró diferencias por efecto del tratamiento (Fig. 9C, Apéndice IX).

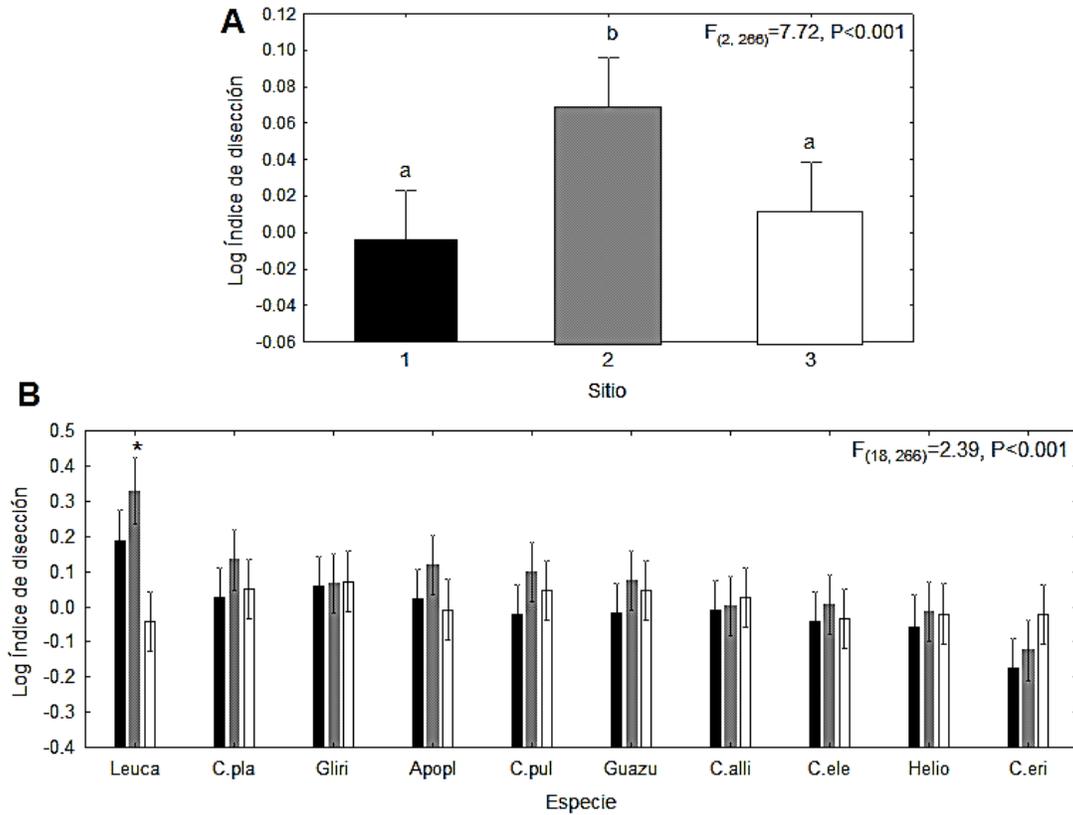
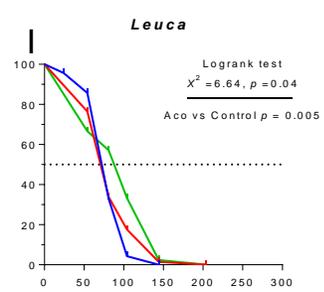
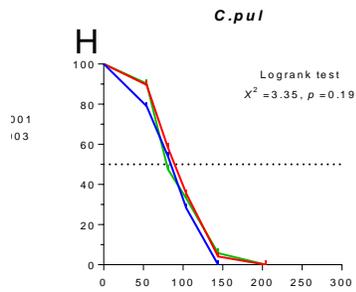
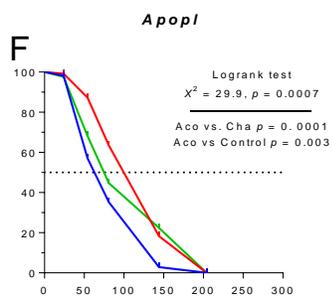
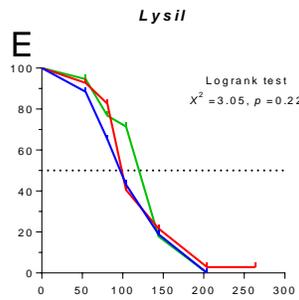
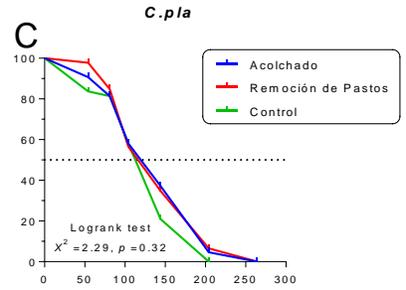
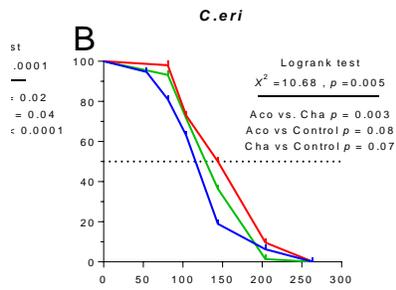


Figura 13. Efecto del sitio y la interacción especie × sitio en el promedio (\pm EE) del \log_{10} del índice de disección de 11 especies nativas con dos años de crecimiento en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. Los (A y B) sitios se representan: negro= sitio 1, gris=sitio 2 y blanco= sitio 3. Las diferencias encontradas con la prueba post hoc de Tukey se muestran con letras distintas o asterisco.

Demografía foliar

En total, 2,751 hojas de 395 árboles fueron marcadas para obtener la supervivencia; se marcaron en promedio 250 hojas por especie. Las plantas de *C. alliodora* presentaron la mayor longevidad foliar (164 días) mientras que las plantas de *Heliocarpus* tuvieron la menor longevidad foliar con 72 días. La longevidad foliar fue distinta por efecto de la especie (Logrank test, $P < 0.05$). Las comparaciones entre especies mostraron que *Gliricidia* tuvo una longevidad foliar similar a *Apoplanesia* (Logrank test, $\chi^2 = 0.68$, $P = 0.40$). *C. alliodora* mostró una longevidad foliar similar a *C. eriostachys* (Logrank test, $\chi^2 = 1.09$, $P = 0.29$). Por otra parte, *C. eriostachys* tuvo una longevidad foliar similar a *C. platyloba* (Logrank test, $\chi^2 = 1.82$, $P = 0.17$) y *C. elaeagnoides* presentó una longevidad foliar similar a *Leucaena* (Logrank test, $\chi^2 = 1.57$, $P = 0.21$). Finalmente, *Guazuma* tuvo una longevidad similar a *Lysiloma* (Logrank test, $\chi^2 = 0.06$, $P = 0.79$; Fig. 14).

La longevidad foliar fue afectada por los tratamientos para algunas especies. La longevidad foliar de las plantas de *Gliricidia* (Fig. 14G) y de *Heliocarpus* (Fig. 14K) fue significativamente mayor en el acolchado en comparación con el tratamiento de remoción y el control (Logrank test, $\chi^2 = 17.7$, $P < 0.001$ y $\chi^2 = 16.28$, $P < 0.001$, respectivamente) (Apéndice XI, XII, XIII). Por otro lado, las plantas de *C. alliodora* (Logrank test, $\chi^2 = 17.8$, $P < 0.001$; Fig. 14A), *C. eriostachys* (Logrank test, $\chi^2 = 10.68$, $P < 0.01$; Fig. 14B) y *Apoplanesia* (Logrank test, $\chi^2 = 29.9$, $P < 0.001$; Fig. 9F) mostraron una mayor longevidad foliar en el tratamiento remoción de pastos (Apéndice XI, XII, XIII). Finalmente, las plantas de *Leucaena* creciendo sin manejo mostraron mayor longevidad foliar (Logrank test, $\chi^2 = 6.64$, $P < 0.05$; Fig. 14) (Apéndice XI, XII, XIII).



C.ele

K

Helio

Figura 14. Curvas de longevidad foliar en porcentaje con respecto al tiempo en días para once especies nativas establecidas en plantaciones de restauración bajo tres tratamientos de manejo en Chamela-Jalisco. Los tratamientos se indican en colores: acolchado plástico=azul, remoción de pastos= rojo, control=verde. Dentro de cada grafico por especie se muestran los valores de significancia por tratamiento, así como las diferencias entre tratamientos. La línea punteada indica la media de longevidad de cada especie por tratamiento.

En total 5,871 hojas fueron producidas por las 396 plantas de las 11 especies. En promedio, *Gliricidia* produjo el mayor número de hojas (280 hojas) mientras que *C. platyloba* produjo el menor número (89 hojas). La productividad foliar estuvo afectada por los tratamientos para algunas especies: las plantas de *C. eriostachys*, *Guazuma*, *Gliricidia* y *Heliocarpus* establecidas en el tratamiento acolchado plástico mostraron una producción foliar cercana al 50% en el día 50 de la temporada húmeda. Por otra parte, *Apoplanesia* fue la única especie que produjo el 50% de sus hojas en el día 50 días de la temporada húmeda en el tratamiento remoción de pastos. Las especies que no mostraron diferencias en el porcentaje de productividad acumulada por efecto del tratamiento fueron, *C. alliodora*, *Lysiloma*, *C. pulcherrima*, *Leucaena* y *C. elaeagnoides* (Fig.15).

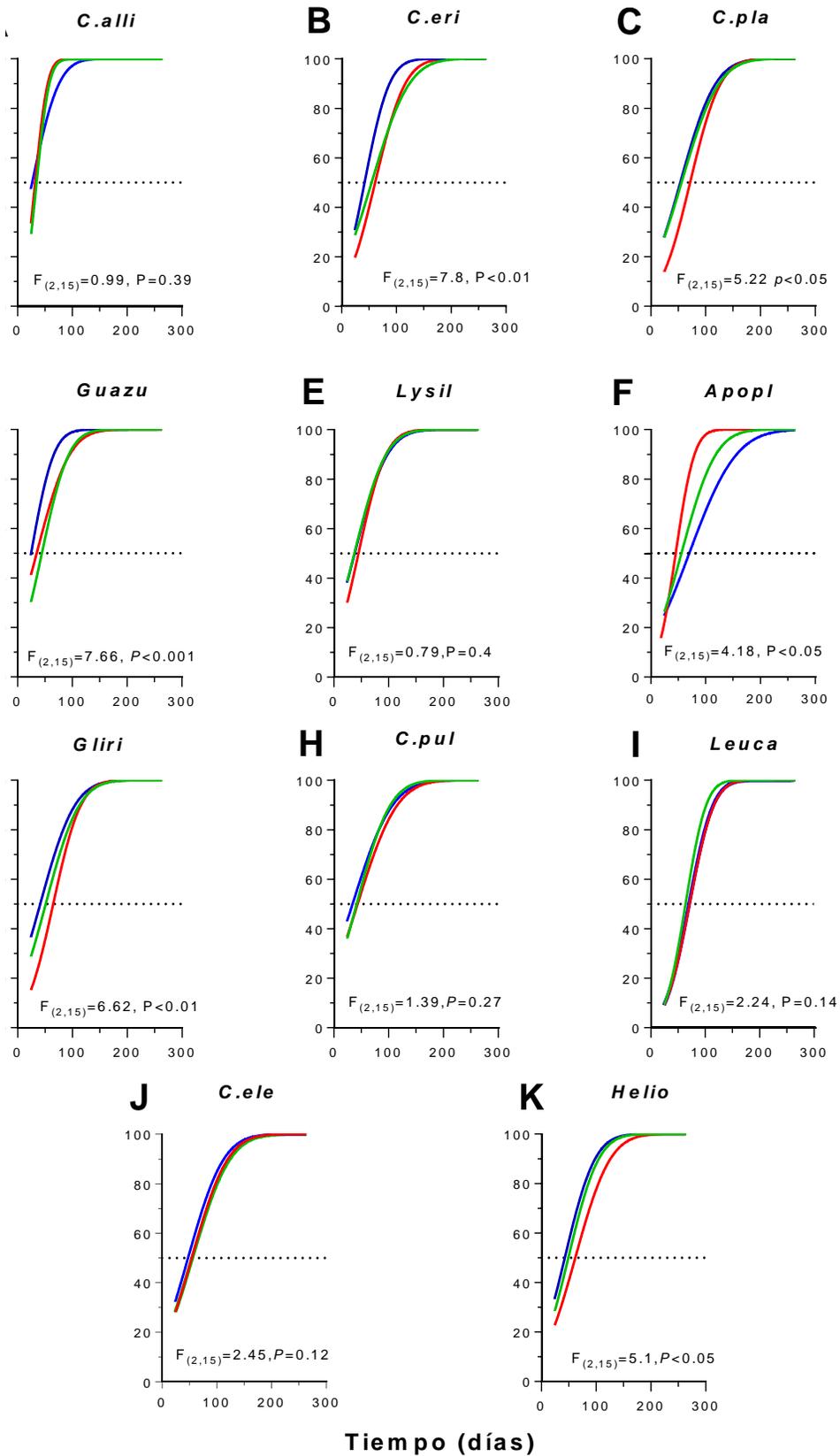


Figura 15. Frecuencia acumulada de la productividad foliar de 11 especies en tres tratamientos de manejo: acolchado plástico (línea azul), remoción de pastos (línea roja) y control (línea verde) en Chamela Jalisco.

ESTRATEGIA ECOLÓGICA MULTIVARIADA

Las correlaciones de Pearson entre los atributos foliares mostraron una relación negativa entre la productividad de hojas y su contenido de masa seca (CMS; $r=-0.66$, $P < 0.05$, $N=11$ especies) y entre la productividad y la longevidad ($r=-0.63$, $P < 0.05$, $N=11$ especies) cuando se incluyeron todas las especies (Tabla 3a). El área foliar específica (AFE) estuvo negativamente correlacionada con el CMS excluyendo a dos especies con comportamiento atípico, *Gliricidia* y *Leucaena* ($r=-0.69$, $P<0.05$, Tabla 3a, $N=9$ especies). El CMS estuvo positivamente correlacionado con la longevidad foliar excluyendo a una especie atípica *Cordia alliodora* ($r=0.65$, $P<0.05$, Tabla 3a) y negativamente a la productividad foliar excluyendo a *Leucaena* ($r=-0.71$, $P<0.05$). El coeficiente de correlación entre la productividad y la longevidad foliar aumentó cuando se excluyó a *Leucaena* ($r=-0.69$, $P<0.05$, Tabla 3a). El índice de disección estuvo negativamente correlacionado con el área foliar excluyendo a *C. eriostachys* ($r=-0.82$, $P<0.05$, Tabla 3a).

Los dos primeros ejes del ACP explicaron 74.76 % de la variación. El primer eje explicó el 48.1% de la variación y estuvo asociado al aumento en la productividad foliar y a la disminución en el CMS de las hojas. El segundo eje explicó 26.6% de la varianza total y estuvo asociado al incremento en el área foliar y a la disminución del área foliar específica (Fig. 16A). En el extremo derecho del espacio multivariado estuvieron las especies con mayor productividad foliar (*Heliocarpus*, *Gliricidia* y *Cordia eleagnoides*; Fig.16B) mientras que en el extremo inferior izquierdo estuvieron las especies con el menor CMS y la menor área foliar específica (*C. eriostachys* y *Lysiloma*). En el extremo superior izquierdo estuvieron las especies con un área foliar grande (*C. alliodora*, *C. platyloba* y *Guazuma*).

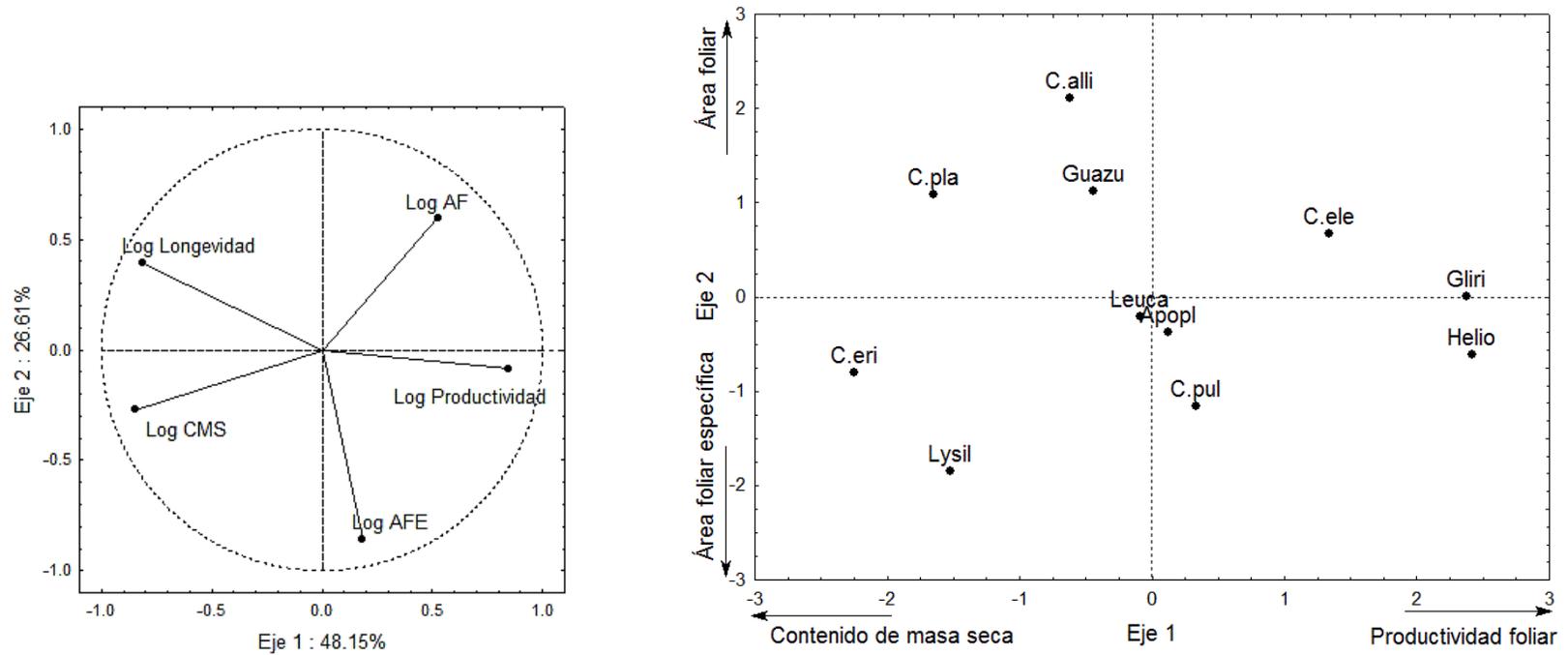


Figura 16. (A) Ordenación por medio de un análisis de componentes principales, que muestran la relación de cinco atributos foliares en dos ejes principales, así como la (B) posición de las especies en el espacio multivariado. Log Longevidad foliar, Log Área Foliar (AF), Log Productividad foliar, Log área foliar específica (AFE), Log contenido de masa seca (CMS).

Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre a) los atributos funcionales foliares y b) los atributos funcionales foliares individuales y multivariados (eje 1 y 2) y la altura, diámetro, cobertura y volumen de 11 especies nativas de árboles establecidos en plantaciones de restauración en Chamela, Jalisco. Todas las variables fueron transformadas con el Log 10. Los valores de r^2 para las predicciones de tamaño se encuentran en las figuras. Los valores de r entre paréntesis representan correlaciones significativas después de la exclusión de especies con comportamiento atípico (**P<0.05**).

a)

| Atributos funcionales | Log AF | Log AFE | Log CMS | Log Índice disección | Log Longevidad |
|-----------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Log AFE | -0.24 | | | | |
| Log CMS | 0.08 | -0.40 (-0.69) | | | |
| Log Índice disección | -0.26 (-0.82) | -0.06 | 0.22 | | |
| Log Longevidad | -0.40 | -0.17 | 0.54 (0.65) | -0.11 | |
| Log Productividad | 0.02 | 0.27 | -0.66 (-0.71) | -0.17 | -0.63 (-0.69) |

b)

| VARIABLES DE TAMAÑO | Log AF | Log AFE | Log CMS | Log I disección | Log Longevidad | Log Productividad | Eje 1 | Eje 2 |
|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Log Altura | -0.04 (0.66) | 0.29 (0.76) | -0.49 (-0.67) | 0.60 (0.91) | -0.65 (-0.75) | 0.09 | 0.44 | 0.40 |
| Log Diámetro | 0.32 (0.68) | 0.21 (0.80) | -0.73 (-0.82) | 0.39 | -0.66 (-0.72) | 0.34 | 0.68 (0.78) | 0.09 |
| Log Cob | -0.09 | 0.37 | -0.26 | 0.50 (0.75) | -0.50 (-0.63) | 0.01 | 0.26 | -0.47(-0.75) |
| Log Volumen | 0.23 (0.67) | 0.28 (0.80) | -0.67 (-0.79) | 0.59 (0.74) | -0.66 | 0.25 | 0.62 (0.73) | 0.11 |

PREDICCIONES DE TAMAÑO DE LAS ESPECIES

Incluyendo a todas las especies, el contenido de masa seca fue el mejor predictor de tamaño mientras que la longevidad foliar predijo el mayor número de variables de tamaño (Tabla 3b). El contenido de masa seca explicó el diámetro ($r=-0.73$) y el volumen del tronco ($r=-0.67$); las especies con menor contenido de masa seca mostraron el mayor diámetro y volumen del tronco después de dos años de crecimiento (Figura 17B1). La longevidad foliar explicó la altura ($r= -0.65$), el diámetro ($r= -0.66$) y el volumen del tronco ($r= -0.66$; Tabla 3b; Figura 17 y 18).

El área foliar explicó la altura, diámetro y el volumen del tronco cuando se excluyeron dos especies con comportamiento atípico (*Leucaena* y *C. alliodora*; Tabla 3b). El AFE explicó altura, diámetro y volumen del tronco cuando se excluyeron tres especies de comportamiento atípico (*Leucaena*, *Lysiloma* y *C. eriostachys*; Tabla 3b). El poder del CMS para predecir la altura, el diámetro y el volumen aumentó cuando se excluyó una especie atípica (*C. alliodora*; Tabla 3b). El índice de disección explicó la altura, la cobertura y el volumen excluyendo a dos especies con comportamiento atípico (*C. alliodora* y *Heliocarpus*; Tabla 3a). La longevidad foliar explicó la cobertura cuando se excluyó una especie atípica (*Guazuma*). El poder de la longevidad foliar para predecir la altura aumentó cuando se excluyó a *C. elaeagnoides* (Tabla 3b).

El eje 1 de la estrategia multivariada explicó el diámetro y el volumen incluyendo a todas las especies ($r= 0.68$); el poder de predicción del eje 1 aumentó cuando se excluyó a *C. alliodora* (Tabla 3b; Fig. 18C). El eje 2 no se correlacionó con ninguna variable de tamaño cuando se incluyó a todas las especies; el eje 2 explicó la cobertura cuando se excluyó a *Guazuma* y a *C. eriostachys* (Tabla 3b).

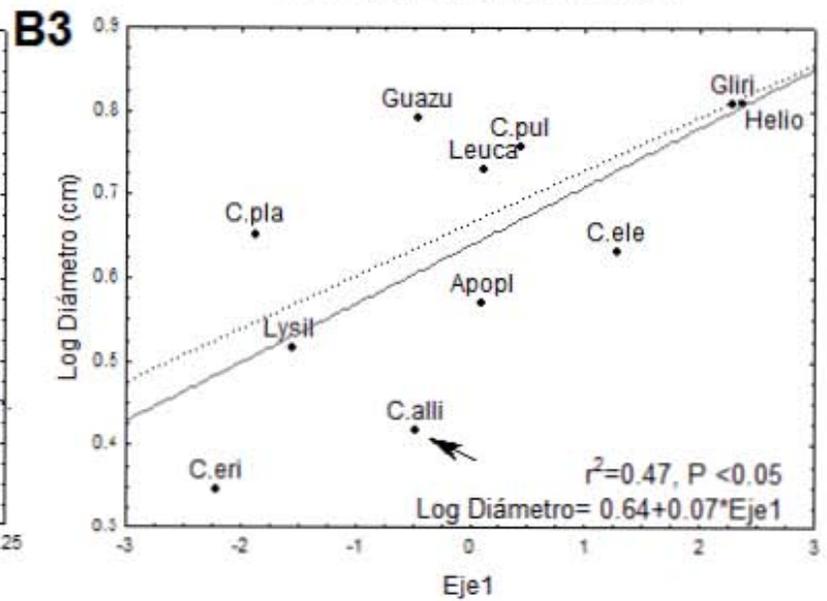
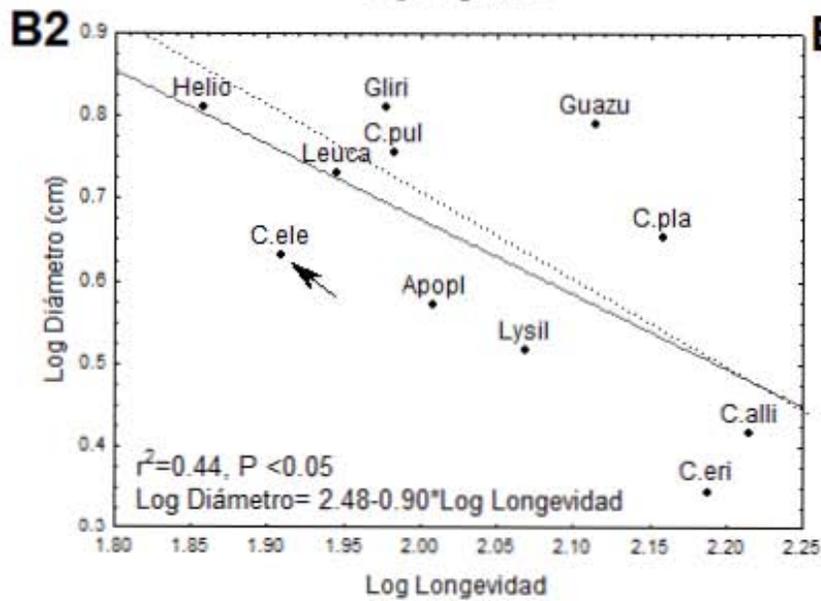
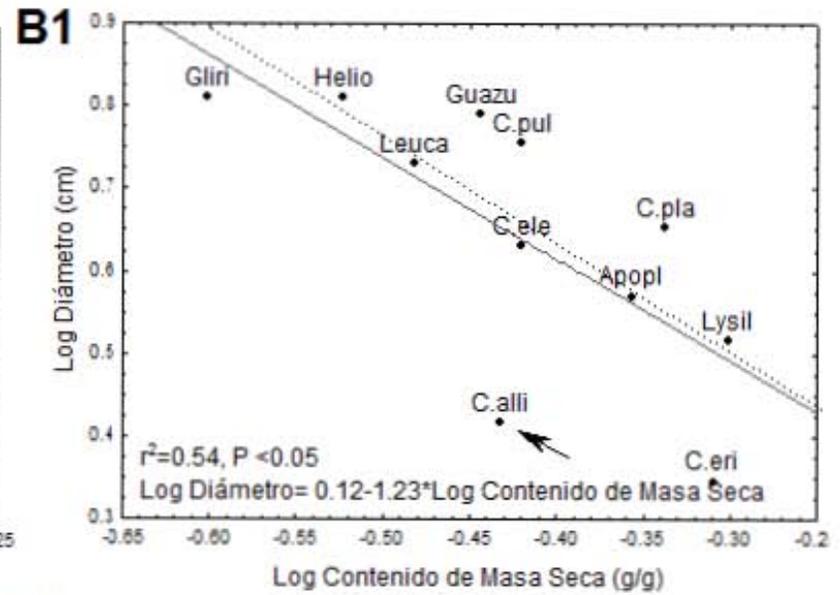
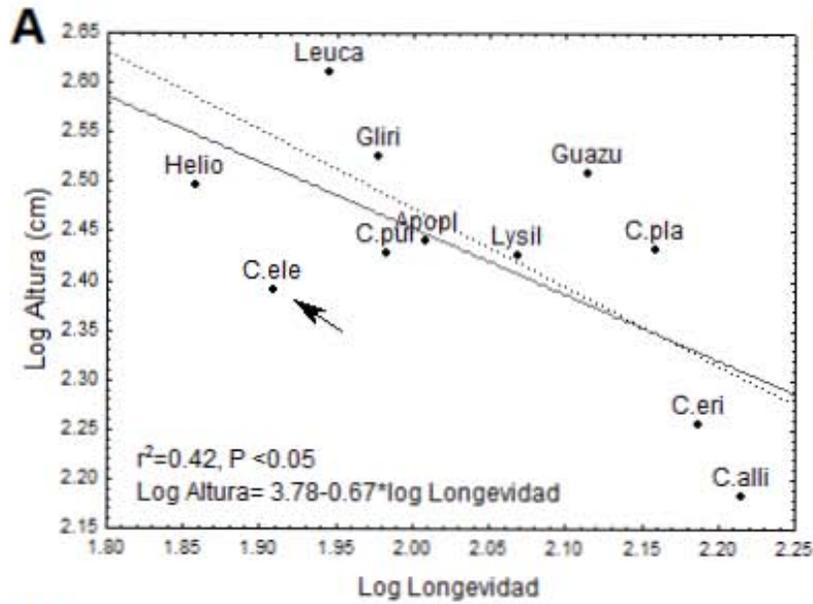


Figura 17. Regresión de las variables de tamaño de 11 especies nativas y los atributos funcionales foliares: (A) altura y longevidad foliar; excluyendo a *C. elaeagnoides* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción de la longevidad foliar (línea punteada, $r^2 = 0.56$); (B1) diámetro y contenido de masa seca; excluyendo a *C. alliodora* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción del contenido de masa seca (línea punteada, $r^2 = 0.67$); (B2) diámetro y longevidad foliar; excluyendo a *C. elaeagnoides* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción de la longevidad foliar (línea punteada, $r^2 = 0.52$); (B3) diámetro y Eje 1 del ACP; excluyendo a *C. alliodora* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción del Eje 1 (línea punteada, $r^2=0.61$) . Se muestra la r^2 así como la ecuación de predicción incluyendo a todas las especies.

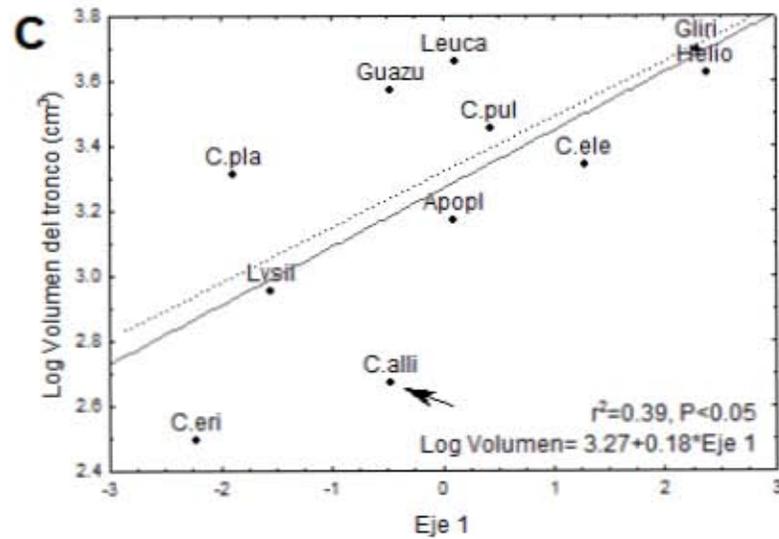
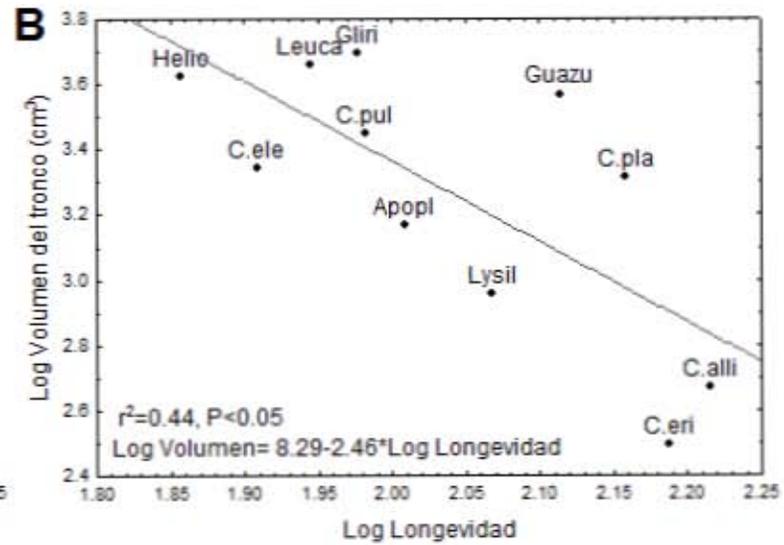
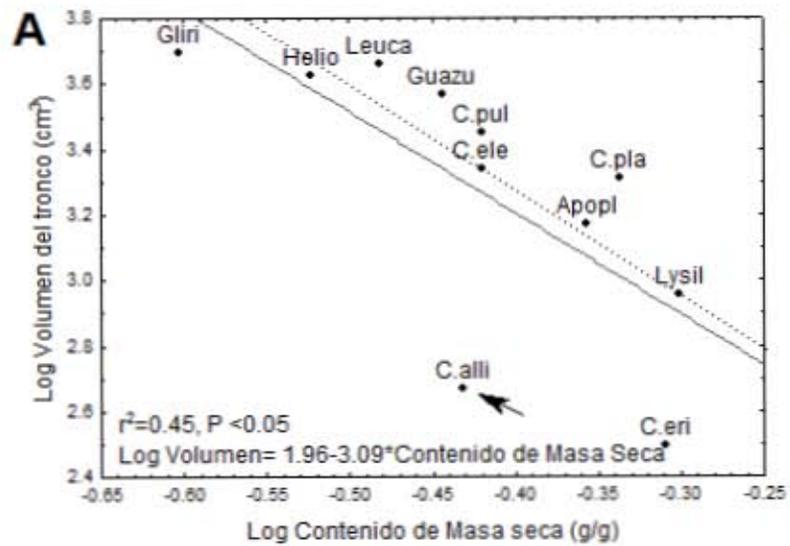


Figura 18. Regresión de las variables de tamaño de 11 especies nativas y los atributos funcionales foliares: (A) volumen del tronco y el contenido de masa seca; excluyendo a *C. alliodora* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción del contenido de masa seca (línea punteada, $r^2 = 0.62$), (B) volumen del tronco y longevidad foliar y (C) volumen del tronco y Eje 1 del ACP; excluyendo a *C. alliodora* (indicada con una flecha) aumenta el poder de predicción del Eje 1 (línea punteada, $r^2 = 0.53$). Se muestra la r^2 así como la ecuación de predicción incluyendo a todas las especies.

DISCUSIÓN

La ecología de la restauración es la ciencia que evalúa la manipulación de los procesos ecológicos para acelerar la recuperación de la función del ecosistema. El uso de plantaciones de restauración es una estrategia que aumenta la riqueza de árboles y acelera la acumulación de biomasa. El desempeño de los árboles en las plantaciones puede favorecerse mediante varios tipos de manejo. El uso de acolchados o la remoción de la competencia pueden ser una alternativa de manejo viable en estos casos. Sin embargo, la selección de especies idóneas para plantaciones de restauración, aún es un reto. En este estudio, la altura, el diámetro, la cobertura y el volumen del tronco de 11 especies de árboles nativos del BTC aumentó entre 3 a 10 veces, dependiendo de la especie y del tipo de manejo. El acolchado plástico favoreció el crecimiento de los árboles al aumentar la disponibilidad de humedad en el suelo mientras que la remoción de pastos favoreció un mayor volumen del tronco pero sólo de las especies con crecimiento rápido. El contenido de masa seca fue el atributo funcional con mayor poder de predicción del desempeño de los árboles en plantaciones de restauración.

Efectos del tratamiento en el tamaño de los árboles

Acorde a lo que esperábamos, las plantas establecidas en el acolchado plástico mostraron un mejor desempeño que aquellas creciendo bajo remoción de pastos o sin manejo. El acolchado plástico promueve mejores condiciones de humedad y temperatura al funcionar como una barrera que disminuye la evapotranspiración del suelo (Chalker-Scott, 2007; Barajas-Guzmán y Barradas 2011). La disponibilidad de agua en el suelo es clave en el crecimiento de las plantas ya que les permite fotosintetizar y tomar los nutrientes disponibles (Kozłowski, 1999). En este estudio, la humedad del suelo bajo el acolchado fue

13.5 % más alta que en áreas con remoción de pastos y aquellas sin manejo, es así que el acolchado permitió un crecimiento de 11 % más en altura y 17 % más en diámetro a la base (Tabla 4). De forma semejante a nuestros resultados, en plantaciones experimentales en un BTC de Jalisco, México, el acolchado plástico aumentó el crecimiento en altura un 65% para tres especies de árboles nativos (Barajas-Guzmán y Barradas, 2011; Tabla 4). Por otro lado, en el desierto de Israel, las plantas de *Acacia saligna* (Fabaceae) mostraron 44% más diámetro a la base del tronco cuando se encontraban creciendo en acolchados en comparación con sitios sin manejo (Zegada-Lizarazu y Berliner, 2011; Tabla 4). En este estudio, el acolchado plástico tuvo un efecto positivo en el tamaño de los árboles aunque en promedio menor en comparación con otros estudios en ecosistemas áridos, semiaridos y templados (Tabla 4). En octubre del 2011, el huracán Jova afectó el área, provocando en sólo dos días una precipitación de 366 mm, equivalente a la mitad de la media anual de precipitación reportada para el área. Esta humedad extraordinaria pudo haber tenido efectos positivos evidentes hasta el 2013, disminuyendo el contraste entre el acolchado y los otros tratamientos (Apéndice XVII).

Contrario a lo que esperábamos, las plantas establecidas en el tratamiento remoción de pastos no mostraron en todos los casos tamaños mayores con respecto a las plantas en los controles. Esperábamos que la remoción de pastos disminuyera la competencia por luz, agua y nutrientes. En los sitios de estudio, los pastos dominantes son especies exóticas introducidos para la alimentación del ganado (*Panicum maximum* y *Cenchrus ciliare*); estas especies, en ausencia del ganado, pueden llegar a alcanzar hasta 2 m de altura en la época de lluvias (*observación personal*). Los pastos exóticos de gran tamaño (por ejemplo *Saccharum spontaneum* en Panamá) pueden impedir el establecimiento y el crecimiento de árboles nativos (Hooper *et al.* 2002). En un bosque estacional de Hawái, la eliminación del

pasto exótico agresivo *Pennisetum setaceum* favoreció el aumento de biomasa de leñosas nativas (Cabin *et al.*, 2002; Thaxton *et al.* 2011). En este estudio, sólo las especies que alcanzaron los mayores tamaños se vieron favorecidas por la remoción del pasto y bajo ese tratamiento alcanzaron volúmenes de tronco tan altos como los registrados en las plantas creciendo con el acolchado.

La remoción del pasto provocó una disminución del 11 % en la humedad del suelo en comparación con el control mientras que la altura, el diámetro y la cobertura de los árboles plantados no se vieron afectados por esta disminución de humedad ni favorecidos por la eliminación de la competencia. Probablemente, la eliminación de pastos no afectó el desempeño debido a que los árboles muestran diferentes profundidades de enraizamiento en comparación con los pastos y podrían no estar compitiendo (Holl, 1998). Adicionalmente, aunque no registramos diferencias en la humedad del suelo entre sitios, las plantas respondieron a esta variación. Además, el efecto positivo de la remoción de pastos fue más visible en el sitio con la menor disponibilidad de humedad en el suelo (sitio 1), donde remover los pastos fue tan efectivo como el acolchado para favorecer mayor diámetro y volumen del tronco. Es importante señalar que la disponibilidad de nutrientes en los diferentes sitios pudo influir en el tamaño de las plantas sujetas o no a la remoción de pastos. Suponiendo que los nutrientes en el suelo no fuera un recurso limitante esto nos daría luz sobre el por qué no se observa un efecto negativo de los pastos en el crecimiento de los árboles introducidos. Otros estudios han demostrado que los efectos de la competencia a nivel del suelo aumenta con la disminución de fertilidad y humedad (Holl, 1998). También es posible que una vez que los árboles lograron establecerse y superar la cobertura de los pastos, estos ya no influyeron de manera directa en la capacidad de crecimiento de los árboles (Sholes y Archer, 1997). Así mismo se ha sugerido que los

patrones de enraizamiento entre árboles y pastos están regulados por la cantidad de lluvia, la estacionalidad, la textura del suelo y la cubierta vegetal asociada (Sholes y Archer, 1997).

Las especies leñosas del BTC pueden dividirse en dos grupos dependiendo de sus tasas de crecimiento y plasticidad para responder al ambiente. El primero de estos grupos incluye a las especies que crecen rápido y asignan mayores recursos al crecimiento aéreo en condiciones óptimas de luz, agua y nutrientes (Huante y Rincón, 1998). Estas especies se denominan oportunistas porque tienen gran capacidad para explotar recursos durante periodos favorables (Grime, 2001; Pineda-García *et.al.* 2011). En ambientes restrictivos, estas especies pueden asignar recursos a tejidos de captura como las raíces, por lo que pueden tolerar el estrés hídrico (Huante y Rincón, 1998). En contraste, las especies de crecimiento lento, denominadas conservadoras o tolerantes, emplean estrategias que disminuyen su capacidad de adquisición y uso de recursos (Pineda-García *et.al.* 2011). En este sentido, estas especies tienden a mostrar las mismas tasas de crecimiento en condiciones óptimas y limitantes, es decir, son poco plásticas ante cambios ambientales (Huante *et al.* 2002). Para este estudio, dividimos a las 11 especies evaluadas en grupos basados en su tamaño después de dos años de crecimiento. Las especies de los dos grupos de crecimiento mostraron la misma respuesta a los tratamientos de manejo evaluados: las plantas establecidas en el acolchado presentaron mayor altura, diámetro a la base del tronco y cobertura en comparación con las plantas establecidas sin manejo. Sólo para el volumen del tronco, los dos grupos mostraron diferencias en su desempeño.

Tabla 4. Uso de acolchado plástico en plantaciones experimentales en ecosistemas estacionales y templados. Se muestran el porcentaje de incremento en altura, diámetro o cobertura tamaño que favoreció el tratamiento acolchado en comparación con el control (sin manejo), el lugar donde se llevó a cabo el estudio así como una especie que se comparten entre estudios.

| Referencia | Ecosistema | Especies evaluadas/ compartidas | Incremento en altura (%) | Incremento en diámetro (%) |
|-------------------------------------|------------------|--|--------------------------|----------------------------|
| Barajas-Guzmán <i>et al.</i> , 2006 | BTC- México | N=3 especies (<i>Ipomea</i> , <i>Cesalpinia</i> , <i>Lonchocarpus</i>) | | |
| | | Promedio- 3 especies | 65 | - |
| | | <i>Caesalpinia eriostachys</i> | 66 | - |
| Zegada-Lizarazu y Berliner, 2010 | Desierto- Israel | <i>Acacia saligna</i> (Fabaceae) | - | 44 |
| Walker y Mc laughlin 1989 | Bosque templado | N=2 especies (<i>Pinnus</i> , <i>Liriodendron</i>) Promedio - 2 especies | 22 | 29 |
| Este estudio | BTC- México | N= 11 especies | | |
| | | Promedio- 11 especies <i>Caesalpinia eriostachys</i> | 11 33 | 17 26 |

Las 11 especies de árboles plantados presentaron una gran variación en su altura, diámetro a la base, cobertura y volumen del tronco. La altura y el diámetro de la especie más grande (*Leucaena*) fueron tres veces más altos que los de la especie más pequeña (*C. alliodora*) mientras que la cobertura 7 veces y el volumen del tronco 15 veces entre estas especies (Apéndice X). *Leucaena* que se adapta a ambientes con altas temperaturas y condiciones de sequía, tiene crecimiento rápido y se han reportado incrementos de 2.8 a 4 m de altura al año (Mac Dicken, 1988). En este estudio, *Gliricidia*, *Guazuma* y *Heliocarpus* crecieron tanto como *Leucaena*. Para *Gliricidia* se reportan tasas de crecimiento en altura cuatro veces menores a las de *Leucaena* (0.7 a 3.3 m por año) mientras que mantiene altas tasas de crecimiento en condiciones semiáridas (Vázquez-Yanes et al. 1999). Para *Guazuma* se han reportado tasas de crecimiento menores a *Leucaena* en áreas totalmente expuestas al sol (en pastizales, 2.4 a 2.9 m por año) (Vázquez-Yanes et al. 1999; Alvarez-Aquino y Williams-Linera, 2012). Finalmente, *Heliocarpus* es una especie asociada a sitios perturbados, tiene alta dependencia a la radiación solar y crecimiento relativo alto ($0.131 \text{ mg mg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ a $0.146 \text{ mg mg}^{-1} \text{ día}^{-1}$); se considera que esta especie tiene una gran eficiencia en el uso y captura de nutrientes (Rincón y Huante 1993). En el otro extremo del gradiente de tamaños esta *Cordia alliodora*, la especie más pequeña. Esta especie también ha sido considerada de rápido crecimiento (1.3 a 3 m por año) en áreas con alta disponibilidad de humedad (Vázquez-Yanes et al. 1999), por lo que probablemente, las condiciones de baja disponibilidad de agua de áreas sucesionales tempranas de la selva estacional afectaron negativamente su crecimiento.

En este estudio, las 11 especies evaluadas mostraron una gran variación en su tamaño en respuesta al manejo. Tres especies, *Guazuma*, *C. erisotachys* y *Cordia*

eleagnoides mostraron mayores alturas con el acolchado en comparación con los sitios sin manejo (Apéndice XIV). En contraste, en el caso del diámetro a la base y cobertura, ocho de las 11 especies se vieron favorecidas por el acolchado plástico (Apéndice XV y XVI). Dada la gran variación de las especies en su respuesta a los tratamientos, la selección de especies exitosas para plantaciones de restauración sigue siendo un reto en ecosistemas con alta riqueza. Por ejemplo, la selva estacional de Chamela tiene 277 especies de árboles (Lott y Atkinson, 2002), muchas de las cuales podrían ser buenas candidatas para proyectos de restauración. Por otra parte, aunque siempre se sugiere el uso del mayor número de especies posible para las plantaciones, la selección de las especies con el mejor desempeño permite el uso eficiente de recursos y asegura el éxito de los proyectos de restauración. (Tucker y Murphy, 1997). Los caracteres funcionales pueden ser usados para predecir el desempeño de los árboles y así disminuir el tiempo y los costos de evaluar un gran número de especies de árboles en plantaciones.

Efectos del tratamiento en las características funcionales de las hojas

Contrario a lo que se esperaba, las plantas que crecieron bajo diferentes técnicas de manejo mostraron atributos foliares similares. Los atributos funcionales foliares cambian con la disponibilidad de agua y luz (Lambers *et al.* 1998). Así mismo, los atributos foliares pueden reflejar estrategias de respuesta a largo plazo o adaptativas a las condiciones ambientales en las que se desarrolla la planta (Martinez-Garza y Howe, 2005). Como ya se mencionó anteriormente, el acolchado plástico retiene la humedad al evitar la evapotranspiración, mientras que la remoción de pastos disminuye la competencia por luz y agua, aunque puede aumentar la evapotranspiración en el suelo desnudo (Chalker-Scott, 2007). Para este experimento esperábamos que las plantas creciendo en el acolchado

plástico, debido principalmente a una mayor disponibilidad de agua, presentaran hojas más grandes, con menor inversión de biomasa por unidad de área, una mayor producción foliar y una longevidad foliar más alta (Witkowski y Lamont 1991), con respecto a las plantas creciendo con remoción de pastos y a las que estaban creciendo sin manejo. Las 11 especies evaluadas en este estudio mostraron atributos foliares similares entre ambientes que variaron 13.5 % en su contenido de humedad en el suelo. Los atributos foliares intervienen en la adquisición, procesamiento y conservación de recursos, la eficiencia en el uso y conservación de los recursos influye en la capacidad de sobrevivencia y crecimiento de las plantas. En este sentido, el espectro económico de las hojas se encuentra asociado con las estrategias rápido-lento, en donde las plantas pueden contar con atributos característicos de adquisición rápida de recursos, es decir, con capacidad de procesar rápidamente, carbono, agua y nutrientes (Reich et al. 2014). Algunas variables ambientales que no evaluamos como la topografía y otras características de suelo pudieron afectar los caracteres funcionales de las hojas a través de su influencia en la disponibilidad de agua, que afecta la evapotranspiración de las hojas. Finalmente, estos caracteres funcionales foliares son también fuertemente afectados por la disponibilidad de luz (Huante y Rincón 1998) y la luz no fue diferente entre los sitios ni modificada por nuestros tratamientos. Sin embargo, los acochados pueden modificar la luz desde el suelo hacia arriba, algo que nosotros no evaluamos.

Para este estudio esperábamos que la longevidad y la producción de las hojas fuera mayor en las plantas creciendo en el acolchado plástico debido a la mayor disponibilidad de agua. La demografía foliar refleja un compromiso entre la capacidad de producción de hojas y su mantenimiento, donde hojas de vida larga tienen mayores costos para su mantenimiento y defensa y menores beneficios (fotosintatos) comparados con las hojas de

vida corta (Reich *et al.*, 1995). La abscisión de las hojas en condiciones de sequía evita que las plantas sufran embolismos mientras que al desarrollar más sus raíces pueden mantener los procesos fisiológicos por más tiempo al captar y almacenar agua (Poorter, 2009). Un estudio realizado con 18 especies de árboles nativos de Chamela, Jalisco reveló dos estrategias de uso de agua y demografía foliar: las especies “deciduas tempranas” desarrollan una estrategia *adquisitiva* debido a que pierden el 50% de sus hojas en menos de 60 días después de la última lluvia de la temporada; estas especies fueron consideradas como menos tolerantes a la sequía y tienen madera de menor densidad, las paredes de sus vasos del xilema son más delgadas y tienen un mayor potencial hídrico (*readily deciduous*; Méndez-Alonzo *et al.*, 2013). Por otra parte, las especies llamadas “deciduas tardías” tienen una estrategia *conservadora* en la explotación de sus recursos, ya que retienen el 50 % de sus hojas más de 60 días después del último evento de lluvia, tienen madera de alta densidad, vasos con paredes gruesas y bajo potencial hídrico (*tardily deciduous*; Méndez-Alonzo *et al.* 2013). En este estudio, sólo los individuos de dos especies de rápido crecimiento, *Gliricidia* y *Heliocarpus* mostraron una mayor longevidad y productividad foliar con el acolchado, como se esperaba y ambas ya fueron asignadas a la categoría de “deciduas tempranas” por Méndez-Alonzo y colaboradores (2013). Por otra parte, la plantas de tres especies de crecimiento lento asignadas ya a la categoría de tardíamente deciduas (*Apoplanesia*, *C. eriostacys* y *C. alliodora*; Méndez-Alonzo *et al.* 2013) retuvieron más tiempo sus hojas en el tratamiento de remoción que en el acolchado. En este estudio, las especies que asignamos a la categoría de crecimiento rápido corresponden a las llamadas “deciduas tempranas” por Méndez-Alonzo y colaboradores (2013) con estrategia *adquisitiva* (Hulshof *et al.* 2013); estas especies respondieron a la mayor disponibilidad de agua en el acolchado reteniendo sus hojas por más tiempo y mostrando una alta producción

foliar (Tabla 5). Por otra parte, las especies que asignamos a la categoría de crecimiento lento corresponden a las llamadas “deciduas tardías” por Méndez-Alonzo y colaboradores (2013) con estrategia *conservadora* (Hulshof *et al.* 2013); estas especies no respondieron a una mayor disponibilidad de agua en el acolchado porque no usan una alta cantidad de recursos aunque estén disponibles; estas plantas se beneficiaron de la remoción de pastos reteniendo por más tiempo sus hojas en ese tratamiento (Tabla 5).

Para una gran parte de las especies, la longevidad foliar fue similar para las plantas creciendo en los diferentes tratamientos de manejo o no mostraron el patrón esperado mientras que para la mitad de las especies, la productividad foliar no fue afectada por los tratamientos de manejo. La demografía foliar en el BTC está asociada a la marcada estacionalidad en la disponibilidad de agua (Méndez-Alonzo *et al.*, 2013). En este estudio, la evaluación de la demografía foliar se comenzó en la temporada de lluvias del 2013 (agosto), el periodo de lluvias usualmente termina en noviembre, pero durante el estudio hubo lluvias atípicas a fin de año que aportaron 291.33 mm de agua en noviembre y 121.15 mm en diciembre; 11 veces más que los promedios registrados para los últimos 30 años para los mismos meses en Chamela (1977-2006; Apéndice XVII). Esta humedad adicional pudo haber provocado que se extendiera el periodo de producción de hojas y la longevidad; por esta razón, extendimos la evaluación hasta abril del 2014 cuando muchas plantas aún tenían hojas. Estas lluvias atípicas pudieron eliminar el efecto positivo del acolchado en la longevidad foliar para una parte de las especies. Además, la demografía foliar también se ve afectada por la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Méndez-Alonzo *et al.*, 2013) y estos pudieron diferir entre tratamientos y sitios; la evaluación de las concentraciones de nutrientes podría ayudar a explicar mejor los patrones de demografía foliar de las especies evaluadas en este estudio.

Tabla 5. Estrategia de explotación de 11 especies de árboles nativos del BTC basado en sus características cualitativas de área foliar, área foliar específica (AFE), Contenido de Masa Seca (CMS), Índice de disección (ID), Supervivencia foliar (número de días promedio de vida de la hoja) y Productividad foliar (promedio total de hojas producidas). Las especies están ordenadas por su altura después de 3 años de crecimiento.

| | Área Foliar | AFE | CMS | ID | Supervivencia | Productividad | Estrategia de explotación § |
|---------|-------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| Leuca | Muy pequeña | Baja | Intermedio | Alto | 88 | 433 | Adquisitiva |
| Gliri | Intermedia | Alta | Muy bajo | Alto | 95 | 840 | Adquisitiva |
| Guazu | Grande | Baja | Intermedio | Intermedio | 130 | 364 | Adquisitiva |
| Helio | Grande | Alta | Bajo | Intermedio | 72 | 736 | Adquisitiva |
| C.pul | Pequeña | Alta | Intermedio | Alto | 96 | 664 | Adquisitiva |
| C.pla | Intermedia | Baja | Alto | Alto | 144 | 267 | Conservadora |
| C.ele | Grande | Baja | Intermedio | Intermedio | 81 | 642 | Adquisitiva |
| Apopl | Pequeña | Intermedia | Alto | Alto | 102 | 683 | Conservadora |
| Lysil | Pequeña | Alta | Alto | - | 117 | 315 | Conservadora |
| C.eri | Muy pequeña | Intermedia | Alto | Bajo | 154 | 397 | Conservadora |
| C. alli | Grande | Muy baja | Intermedio | Intermedio | 164 | 530 | Conservadora |

§ Basado en Méndez-Alonzo y colaboradores (2013)

Los atributos funcionales foliares como predictores del tamaño

Para las 11 especies de árboles evaluadas esperábamos que aquellas con hojas grandes, altos valores de área foliar específica, productividad foliar, así como un bajo contenido de masa seca y baja longevidad foliar, alcanzaran los mayores tamaños. Acorde a lo esperado, especies con bajo contenido de masa seca foliar y baja longevidad foliar presentaron los tamaños más grandes incluyendo a las 11 especies evaluadas.

El contenido de masa foliar explicó el diámetro a la base ($r^2=0.54$) y el volumen ($R^2=0.45$) de las 11 especies evaluadas, acorde con nuestras predicciones. El contenido de masa está muy relacionado con el contenido de agua y densidad de tejidos, así como con la tolerancia al estrés hídrico (Garnier *et al.*, 2001). Para 40 especies de árboles del BTC de Chamela, Jalisco, el contenido de masa seca tuvo una correlación negativa con el área foliar y el contenido de agua en tallos y raíces (Pinzón, 2013). En este estudio, el contenido de masa seca no estuvo correlacionado con área foliar pero si con el AFE y la demografía foliar (ver arriba); nuestros resultados concuerdan con los estudios que revelan que altos contenidos de masa seca reflejan una mayor inversión de tejido, una menor producción foliar y una mayor vida útil de la hoja (mayor longevidad foliar) lo que resulta en bajas tasas de crecimiento (Cornelissen *et al.*, 2003). El poder de predicción del contenido de masa seca aumenta si se excluye a una especie de comportamiento atípico (*C. alliodora*; $R^2=0.67$, ver abajo); al excluir a esta especie, el contenido de masa seca también explicó la altura de las 10 especies restantes. El contenido de masa seca fue el atributo con el mayor poder de predicción del tamaño de árboles nativos creciendo en sitios sucesionales tempranos durante dos años.

La longevidad foliar explicó la altura, el diámetro y el volumen del tronco de las 11 especies evaluadas, acorde a lo esperado. La longevidad foliar está relacionado con la

capacidad de crecimiento, conservación eficiente de nutrientes y el potencial de crecimiento (Reich *et al.* 2004). La longevidad foliar también se correlaciona con el tamaño de la planta, el área foliar específica (Navas, 2003). Una baja longevidad foliar se relaciona con una área foliar específica alta y un crecimiento rápido con altas tasas de respiración que suponen rápidos retornos de la inversión; esto permite a las plantas competir por recursos (Villar *et al.*, 2004). En este estudio, la longevidad foliar no estuvo correlacionado con el área foliar y el área foliar específica, pero al eliminar una especie atípica *Cordia alliodora* la longevidad foliar si se relacionó positivamente con el contenido de masa.

Otros atributos foliares explicaron el tamaño de los árboles cuando se excluyeron algunas especies con comportamiento atípico. Por ejemplo, cuando se excluyó a *Cordia alliodora* y a *Leucaena*, el área foliar explicó la altura, el diámetro y el volumen del tronco. El área foliar se define como la superficie de captación de luz y está asociada a la capacidad fotosintética, el equilibrio térmico y el crecimiento de las plantas (Westoby y Wright, 2006). Un área foliar grande ha sido asociada con altas tasas de crecimiento, alta productividad foliar y bajo contenido de masa seca (Cornelissen *et al.*, 2003). Para las 11 especies evaluadas, el área foliar no se correlacionó con la productividad foliar ni con el contenido de masa seca; sin embargo, el área foliar si explicó la altura, el diámetro y el volumen de 9 de las 11 especies evaluadas. Dos especies con hojas grandes, *Heliocarpus* (48.11 cm²) y *Guazuma* (28.17 cm²) alcanzaron grandes valores de altura, diámetro a la base y volumen del tronco. Una de las especies con comportamiento atípico, *C. alliodora* tuvo un área foliar muy grande (33.15 cm²), pero fue la especie que alcanzó la menor altura, probablemente porque ha sido registrada como sensible a la sequía (Vazquez-Yañez *et al.* 1999). Por otra parte, *Leucaena* fue la especie que mostró los valores más altos de altura y cobertura de la copa pero el área foliar considerada para las predicciones fue la de

un foliólulo (0.63 cm^2); esta especie tiene aproximadamente 392 foliólulos por hoja (de Freitas *et al.* 1995). Tomando en cuenta el área total de una hoja, sumando todos los foliólulos, *Leucaena* es la especie con la hoja más grande (246.96 cm^2) y, acorde con las predicciones, alcanzó el mayor tamaño, lo que sugiere que la unidad funcional foliar para *Leucaena* es la hoja completa.

El área foliar específica explicó la altura, el diámetro y el volumen del tronco cuando se excluyeron tres especies con comportamiento atípico: *Leucaena*, *Lysiloma* y *C. eriostachys*. El área foliar específica se ha correlacionado con la capacidad fotosintética neta, la demografía foliar, las tasas de crecimiento y la capacidad de explotación de recursos (Reich *et al.* 1997; Hulshof *et al.* 2013). Aquellas especies con hojas grandes, gruesas y densas con baja área foliar específica son usualmente tolerantes a la sombra y tienen crecimiento lento (Poorter y Bongers 2006, Wright *et al.* 2004). *Leucaena* tuvo un comportamiento atípico porque a pesar de su baja AFE en comparación con las demás especies, alcanzó altos valores de altura, diámetro a la base y volumen del tronco; probablemente debido a que tiene adaptaciones para crecer en condiciones de muy baja disponibilidad de agua (hasta 350 mm/año ; Vázquez-Yañes *et al.* 1999). Las especies con área foliar específica alta son muy productivas, presentan un crecimiento rápido y tienen hojas grandes y delgadas con altas tasas fotosintéticas (Poorter y Bongers 2006, Wright *et al.* 2004; Villar *et al.*, 2004). *Lysiloma* tuvo un comportamiento atípico porque a pesar de registrar los valores más altos de AFE su crecimiento fue muy bajo mientras que *C. eriostachys* con valores intermedios de AFE, presentó los menores diámetros. Estas dos especies han sido registradas como sucesionales tardías, es decir, se establecen en sitios con un dosel desarrollado (Lott y Atkinson, 2002; León de la Luz *et al.* 2012). Sus valores altos de AFE pueden estar asociados no a altas tasas de crecimiento, sino al despliegue de

mayores superficies de captación de luz (Witkowski y Lamont, 1991) durante su establecimiento (Poorter, 2006). En este estudio, el área foliar específica no se correlacionó con la demografía foliar como se ha sugerido en la literatura pero sí explicó el tamaño de 8 de las 11 especies evaluadas.

El índice de disección explicó la altura, la cobertura y el volumen de árboles nativos del BTC cuando se excluyeron a dos especies con comportamiento atípico (*C. alliodora* y *Heliocarpus*). El Índice de disección ha sido relacionado con la capacidad fotosintética y la regulación térmica de las hojas (Nicotra *et al.* 2008; Damián, 2013). Además, en este estudio, el índice de disección estuvo negativamente correlacionado al área foliar: las hojas pequeñas tuvieron altos índices de disección; nuestros resultados concuerdan con la literatura que menciona que hojas con mayores índices de disección son mejores regulando la temperatura y el intercambio de calor con el ambiente (Nicotra *et al.*, 2008). Así, las especies con altos índices de disección fueron más exitosas en ambientes con baja disponibilidad de humedad, como son los ambientes sucesionales tempranos del BTC. El comportamiento de *C. alliodora*, como ya se ha mencionado, es atípico dado que alcanzó tallas muy pequeñas en relación con sus características foliares mientras que *Heliocarpus* fue de las especies con mayores tallas y su desempeño sí fue explicado por los demás caracteres funcionales mientras que presentó un índice de disección muy bajo, es decir, sus hojas son muy pocas aserradas. Nuestros resultados muestran que el éxito de *Heliocarpus* se basa en producir hojas baratas en gran número al inicio de la temporada y que tira muy pronto (longevidad foliar promedio 72 días).

La producción foliar es dependiente de la luz que incide en la lámina foliar y esta a su vez determina la capacidad fotosintética y el crecimiento de las plantas (Kikuzawa y

Ackerly, 1999). Una productividad foliar alta está relacionada con hojas de poca inversión de tejidos, es decir, hojas con bajo contenido de masa seca que viven poco (Kikuzawa y Lechowicz, 2011). En este estudio, acorde con la literatura (Kikuzawa y Lechowicz, 2011, Reich *et al.* 2004), la productividad foliar mostró una relación negativa con el contenido de masa seca y con la longevidad foliar. Además, el coeficiente de correlación de la productividad foliar con el contenido de masa seca y la longevidad foliar aumentó al eliminar a *Leucaena*, una especie que mostró un comportamiento atípico (ver arriba).

En condiciones de alta luminosidad se espera que las plantas pierdan y produzcan hojas rápidamente mostrando con ello altas tasas de crecimiento (Reich *et al.*, 2004). Sin embargo, en este estudio, a pesar de que las plantas estuvieron expuestas a altos niveles de luminosidad, la productividad foliar no explicó ninguna variable de tamaño. La productividad foliar fue afectada por una época de lluvias que se extendió hasta diciembre debido a un evento meteorológico (ver arriba; Apéndice XVII). Para seis de las 11 especies evaluadas (*Leucaena*, *Lysiloma*, *Apoplanesia*, *C. elaeagnoides*, *Gliricidia*, *C. pulcherrima*), aún registramos producción de hojas en mayo del 2014, a finales de la época seca, mientras que el tamaño se evaluó en diciembre del 2013. Las plantas pudieron estar produciendo más hojas pero si esto afectó su crecimiento, se tendría que evaluar para su tamaño, en el 2014. La productividad foliar, como atributo individual no explicó el tamaño de las plantas pero si lo hizo como parte de la estrategia multivariada (ver abajo). Las estrategias ecológicas multivariadas representan un grupo de atributos funcionales que permiten que las especies enfrenten los retos ambientales asociados a su establecimiento y persistencia (Weiher *et al.*, 1999; Violle *et al.*, 2007). Las especies con altos valores en el eje 1 (*Gliricidia* y *Heliocarpus*) alcanzaron los más altos valores en diámetro y volumen del tronco mediante una alta producción de hojas con alto contenido de masa seca.

Implicaciones para el manejo y la restauración ecológica del bosque tropical caducifolio

Las especies que tuvieron las mayores alturas y coberturas sin importar el tratamiento fueron *Leucaena*, *Gliricidia*, *Guazuma*, *Heliocarpus* y *C.pulcherrima* por lo que se sugiere el uso de estas especies en plantaciones de restauración. Dado que el acolchado plástico disminuye el estrés hídrico de las plantas y éstas desarrollan mayores alturas, diámetros a la base y coberturas; el efecto positivo del acolchado es mayor en sitios con menor disponibilidad de agua y cuando se plantan especies de rápido crecimiento.

El contenido de masa seca fue el atributo funcional con el mayor poder para predecir el diámetro a la base. Hay dos bases de datos mundiales con atributos funcionales, la base TRY (Global Plant Trait Database) y la GLOPNET (Global Plant Trait Network). Los atributos foliares para un gran número de especies están disponibles en estas bases de datos lo que facilita su uso como criterio de selección de especies exitosas para proyectos de restauración. Por ejemplo, Chamela tiene registradas 277 especies de árboles; sólo el 4% fue evaluado en este trabajo, es decir que quedan 96 % de leñosas que podrían ser más exitosas en proyectos de restauración del BTC pero que nunca se han evaluado.

Otros criterios de selección de especies para plantaciones se refieren a su uso por las comunidades humanas. Estas especies son llamadas multipropósito, es decir, cumplen una función en el ecosistema y son útiles para el hombre (Meli *et al.* 2014). En este caso están las leguminosas que incorporan nitrógeno al sistema y son especies útiles para la población local (Maldonado *et al.* 2013). Las plantaciones de restauración deben incluir un gran número de especies a fin de contar con una estructura arbórea atractiva para agentes de

dispersión que aceleren aún más la sucesión al promover la inmigración de especies provenientes del bosque maduro (Martínez-Garza *et al.* 2009). Realizar proyectos experimentales en ecología de la restauración es fundamental para encontrar técnicas que aceleren la recuperación del ecosistema.

El conocimiento integral del éxito del manejo en sitios de restauración ecológica en Chamela Jalisco requiere realizar estudios sobre las condiciones del ciclo de nutrientes, biota microbiana, fertilidad y estado del suelo para de esta manera conocer como se ha recuperado el ecosistema posterior a la interrupción de las practicas ganaderas. Consideramos que la presencia del acolchado plástico de forma permanente puede tener un efecto negativo al evitar el reclutamiento de plántulas, así como la reincorporación de nutrientes a partir de la hojarasca e influir en la biota microbiana. Finalmente, es necesario conocer cuál es la influencia de las especies estudiadas en la disponibilidad, captura, flujo y retención de nutrientes en las plantaciones a fin de saber que especies pueden aportar mayores nutrientes en sitios cuya perturbación ha sido severa.

CONCLUSIONES

1. Las especies que mostraron un mayor tamaño después de dos años de crecimiento fueron *Leucaena*, *Gliricidia*, *Guazuma*, *Heliocarpus* y *C.pulcherrima* por lo que se sugiere su uso en plantaciones de restauración.
2. Las plantas establecidas en el acolchado plástico mostraron un mejor desempeño que aquellas creciendo bajo remoción de pastos o sin manejo. Para las 11 especies, el acolchado plástico represento tamaños 11 % más en altura, 17 % más en diámetro a la base y, 25 % más en cobertura en comparación con las plantas creciendo sin manejo
3. El efecto positivo del acolchado es mayor en sitios con menor disponibilidad de agua y para las especies de rápido crecimiento.
4. Las especies no mostraron diferencias en sus atributos foliares por efecto del tratamiento.
5. El contenido de masa seca fue el atributo funcional con mayor poder de predicción del desempeño de los árboles en plantaciones de restauración.

LITERATURA CITADA

- Allen B.E., M.F. Allen, A. Perez-Jimenez & P. Huante. Disturbance and Seasonal Dynamics of Mycorrhizae in Tropical Deciduous Forest in Mexico. *Biotropica* **2**, 261-274 (1998)
- Alvarez-Aquino C. & G. Williams-Linera. Seedling survival and growth of tree species: site condition and seasonality in tropical dry forest restoration. *Botanical Sciences* **90**, 341-351 (2012)
- Anthelme F. & R. Michalet. Grass-to-tree facilitation in an arid grazed environment (Air Mountains, Sahara). *Basic and Applied Ecology* **10**, 437–446 (2009)
- Bainbridge D.A., M. Fidelibus & R. MacAller. Techniques for Plant Establishment in Arid Ecosystems. *Ecological Restoration* **13**, 190-197 (1995)
- Barajas-Guzmán M.G. & Barradas, V.L. Microclimate and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a tropical dry deciduous forest. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **88**, 27-34 (2011).
- Barajas-Guzmán M.G., J. Campo & V.L. Barradas. Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant and Soil* **287**, 347-357 (2006)
- Begon, M., C.R. Townsend, & J.L. Harper. *Ecology: from individuals to ecosystems*. 4th ed. Blackwell Pub. Malden 738 pp (2006)
- Blanco C.A. & A.C. Vegetti. *La hoja, morfología externa y anatomía*. (Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba; 2004)
- Borst, H.L. & R. Woodburn. The effect of mulching and methods of cultivation on runoff and erosion from Muskingham silt loam. *Journal of Agricultural Engineering Research*. **23**, 19-22 (1942)
- Bradshaw D. in Handbook of Ecological Restoration, Vol. 1. (ed. W.R.y.A.J. Davy) 2-9 (Cambridge University Press, Cambridge; 2002)
- Brooks S., S. Cordell & L. Perry. Broadcast seeding as a potential tool to reestablish native species in degraded dry forest ecosystems in Hawaii. *Ecological Restoration* **27**, 300-305 (2009)
- Bullock S.H. *Cordia eleagnoides* DC. (Boraginaceae). *Barcino*. En: Noguera, F.A., J.H. Vega Rivera, A. N.Garcia Aldrete y M.Quesada (Eds). Historia Natural de Chamela. Instituto de Ecología. UNAM. México. pp.151-153 (2002)
- Bullock S.H., A. Harold, Mooney, & E. Medina, eds. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press, (1995)
- Burgos, A. & J. M. Maass, Vegetation change associated with land-use in tropical dry forest areas of Western Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **104**, 475-481 (2004)
- Cabin R.J., S.G. Weller, D.H. Lorence, S. Cordell, L.J. Hadway, R. Montgomery, Don Goo & A. Urakami. Effects of light, alien grass, and native species additions on hawaiian dry forest restoration, *Ecological Applications* **12**: 1595–1610 (2002)
- Ceccon E., I. Sánchez & J. Powers. Biological potential of four indigenous tree species from seasonally dry tropical forest for soil restoration, *Agroforest Systems* **89**: 455-467 (2014)
- Chalker-Scott L. Viewpoint Impact of Mulches on Landscape, *Plants and the Environment -A Review* **1**: 25: 239–249 (2007)

- Chapin III S.F., P.A. Matson & H.A. Mooney, Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology, Springer, New York 392 pp.(2002)
- Chapman S.B. *Methods in Ecology*. Blackwell Scie Pub, USA (1976)
- Chaturvedi R., Raghubanshi, A. & J. Singh, Leaf attributes and tree growth in a tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science*. **22**, 917-931 (2011)
- Cornelissen J.H.C., B. Cerabolini, P. Castro-Díez, P. Villar-Salvador, G. Montserrat-Martí, J. P. Puyravaud, M. Maestro, M.J.A. Werger & R. Aerts . Functional traits of woody plants: Correspondence of species rankings between field adults and laboratory-grown seedlings? *Journal of Vegetation Science*. **14**, 311-322 (2003)
- Damián D.X. *Integración fenotípica foliar de Turnera velutina en dos estadios ontogenéticos*. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Ecología UNAM pp. 15-16 (2013)
- De Freitas L.H.C., N.R. Paim & M.T. Schifino-Wittmann. Morphological Characterization of *Leucaena leucocephala* and *Leucaena diversifolia* hybrids. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. **30**, 61-68 (1995)
- De la O-Toriz, J., B. Maldonado & C. Martínez-Garza. Efecto de la perturbación en la comunidad de herbáceas nativas y ruderales de una Selva estacional Mexicana. *Botanical Sciences* **90**,469-480 (2012)
- Devine W.D., A.H. Constance, & P.L. Lathrop. Post-Planting Treatments Increase Growth of Oregon White Oak (*Quercus garryana* Dougl. ex Hook.) Seedlings. *Restoration Ecology* **15**: 2: 212–222 (2007)
- Díaz S., M. Cabido, F. Casanoves, Weiher, E. & P. Keddy. Functional implications of trait-environment linkages in plant communities. *Ecological assembly rules: Perspectives, advances, retreats*, 338-362 (1999)
- Durán E. Balvanera, E. Lott, G. Segura, A. Pérez-Jiménez, A. Islas & M. Franco. en *Historia natural de Chamela*. (eds. F.A. Noguera, J.H. Vega Rivera, A.N. García Aldrete & M. Quesada) 443-472 (Instituto de Biología, UNAM, México; 2002)
- García-Oliva F. & V.J. Jaramillo. Impact of anthropogenic transformation of seasonally dry tropical forests on ecosystem biogeochemical processes. in: *Seasonally dry tropical forests*. Dirzo, R, Mooney, H and Ceballos, G (Eds). Island Press. pp. 159-172 (2011)
- García-Oliva F., A. Camou & J.M. Maass, in *Historia natural de Chamela*, Vol. 3. (eds. F.A. Noguera, J.H. Vega Rivera, A.N. Garcia Aldrete & M. Quesada) 4-10 (Instituto de Biología, UNAM, México; 2002)
- Garnier E., B. Shipley, C. Roumet. & G. Laurent. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology*. **15**, 688-695 (2001)
- Gentry A.H. *Diversity and floristic composition of neotropical dry forests*. In *Seasonally dry tropical forests*, S. H. Bullock, H. A. Mooney y E. Medina (eds.) Cambridge University Press, Cambridge. p. 146-190 (1995)
- GraphPad Prism version 6 para Windows, Comparing fits of nonlinear models, Consultado: Septiembre,2015,http://www.graphpad.com/guides/prism/6/curve-fitting/index.htm?reg_questions_that_can_be_answered.htm
- Grime J. (2001) *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK.

- Griscom H.P. & M.S. Ashton, Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of pattern and process. *Forest Ecology and Management*. **261**, 1564-1579 (2011)
- Haggar J., K. Wightman, & R. Fisher. The potential of plantations to foster woody regeneration within a deforested landscape in lowland Costa Rica. *Forest Ecology and Management* **99**, 55-64 (1997)
- Higg E. What is good ecological restoration?, *Conservation Biology* **11**,2,338-348 (2007)
- Holl K. D. Effects of above- and below-ground competition of shrubs and grass on *Calophyllum brasiliense* (Camb.) seedling growth in abandoned tropical pasture, *Forest Ecology and Management* **109**:187-195 (1998)
- Holl K.D. Restoring Tropical Forest, *Nature Education Knowledge* **4**,4,4 (2013)
- Hooper E., R. Condit & R. Legendre. Responses of native tree species to reforestation strategies for abandoned farmland in Panama. *Ecological Applications* **12**,6, 1626-1641 (2002)
- Huante P. & E. Rincón. Responses to light changes in tropical deciduous woody seedlings with contrasting growth rates *Oecologia* **113**, 53-66 (1998)
- Huante P., V.L. Barradas & E. Rincón. *Ecofisiología vegetal*. pp 473-489 En: F.A. Noguera, J.H. Vega Rivera, A.N. Garcia Aldrete & M. Quesada. Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología, UNAM, México (2002)
- Hulshof C.M., M.-Y.A., Burquez A., Boyle B., Enquist B.J. Plant Functional Trait Variation in tropical Dry forest: a review and synthesis. En: *Tropical dry forests in the Americas: ecology, conservation, and management*. (ed. P.J. Sanchez-Azofeifa A., Fernandes G.W., Quesada M.) 129-140 (CRC Press, Boca Ratón; 2013)
- Instituto para el Federalismo y el desarrollo Municipal (INAFED). Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México. Estado de Jalisco. Municipio la Huerta (2010) <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/index.html> consulta: 30-nov-2015
- Janzen D. Tropical dry forests, the most endangered major tropical ecosystem. In Wilson EO and Peter FM, eds. *Biodiversity*. Washington, DC: National Academy Press. 130-37(1988).
- Janzen D.H. in Handbook of Ecological Restoration, Vol. 2. (ed. A.J. M. Perrow and Davy) 559-583 (Cambridge University Press,, Cambridge; 2002)
- Keddy P.A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*. **3**, 157-164 (1992)
- Kikuzawa K. & D. Ackerly, Significance of leaf longevity in plants. *Plant Species Biology*. **14**, 39-45 (1999)
- Kikuzawa K. & M.J. Lechowicz. *Ecology of leaf longevity*. (Springer Science & Business Media, 2011)
- Lamb D., P.D. Erskine & J. A. Parrotta. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes, *Science*, **310**,1628-1632 (2005)
- Lambers H., F. Stuart Chapin III, T.L. Pons. *Plant Physiological Ecology*. Spronger. New York pp. 540 (1998)
- Lebrija-Trejos, E., F. Bongers, E.A. Pérez-García, & J.A. Meave. Successional Change and Resilience of Very Dry Tropical Decisuous Forest Following Shifting Agriculture. *Biotropica* **40**,422-431 (2008)

- León de la Luz, J. L., R. Domínguez C. & M. Domínguez L. Florística de la Selva Baja Caducifolia de la Península de Baja California, México. *Botanical Sciences* **90**,2, 143-162 (2012)
- Lott E & T.H. Atkinson. Biodiversidad y filogeografía de Chamela-Cuixmala, Jalisco. En: Noguera, F.A., J.H. Vega Rivera, A. N. Garcia Aldrete y M. Quesada (Eds). *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Ecología. UNAM. México. pp.151-153 (2002)
- MacDicken. Growth rates of five tropical leguminous fuel wood species. *Journal of Tropical Forest Science* **1**, 85- 93. (1988)
- Machin D., Y.B. Cheung & M.K.B. Parmar, *Survival Analysis a Practical Approach*, John Wiley & Sons, Ltd. Inglaterra pp. 278 (2006)
- Maldonado B., J. Caballero, A. Delgado-Salinas & R. Lira. Relationship between Use Value and Ecological Importance of Floristic Resources of Seasonally Dry Tropical Forest in the Balsas River Basin, México. *Economic Botany* **67**,17-29 (2013)
- Maluf de Souza F. & J.L. Ferreira. Restoration of seasonal semideciduous forest in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. *Forest Ecology and Management* **191**, 185-200 (2004)
- Martin P.J. & R. Poultney. Survival and growth of clove seedlings in Zanzibar. 1. Effects of mulching and shade crops. *Tropical Agriculture*. **69**, 365-373 (1992)
- Martínez-Garza C. & H.F. Howe. Developmental strategy or immediate responses in leaf trait of Tropical tree species? *International Journal of Plant Sciences* **166**, 41-48 (2005)
- Martínez-Garza C., & H.F. Howe. Restoring tropical diversity: beating the time tax on species loss. *Journal of Applied Ecology* **40**,423-429 (2003)
- Martínez-Garza C., A. Flores-Palacios, M. De La Peña-Domene & H.F. Howe. Seed rain in a tropical agricultural landscape. *Journal of Tropical Ecology* **25**, 541-550 (2009)
- Meli P., M. Martínez-Ramos, J.M. Rey-Benayas & J. Carabias. Combining ecological, social and technical criteria to select species for forest restoration. *Applied Vegetation Science* **17**, 744-753 (2014)
- Méndez-Alonzo R., F. Pineda-García, H. Paz, J.A. Rosell & M.E. Olson. Leaf phenology is associated with soil water availability and xylem traits in a Tropical Dry Forest. *Trees* **27**, 745-754 (2013)
- Miles L., A.C. Newton, R.S. DeFries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos, & J.E. Gordon. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* **33**, 491-505 (2006)
- Miller P.M. Effects of deforestation on seed banks in a tropical deciduous forest of western Mexico. *Journal of Tropical Ecology* **15**, 179-188 (1999)
- Murphy P.G. & A.E. Lugo. Ecology of tropical dry forest. *Annual review of ecology and systematics*. **17**, 67-88 (1986)
- Navas M.L., B. Ducout, C. Roumet, J. Richarte, J. Garnier & E. Garnier. Leaf life span, dynamics and construction cost of species from Mediterranean old-fields differing in successional status. *The New Phytologist*. **159**, 213-228 (2003)
- Nicotra A.B., M.J. Cosgrove, A. Cowling, C.D. Schlichting & C.S. Jones. Leaf shape linked to photosynthetic rates and temperature optima in South African Pelargonium species. *Oecologia* **154**, 625-635 (2008)

- Noguera, F.A., J.H. Vega Rivera, A. N.Garcia Aldrete y M.Quesada (Eds). Historia Natural de Chamela. Instituto de Ecología. UNAM. México (2002)
- Pickering J.S. & A. Shepherd. Evaluation of organic landscape mulches: composition and nutrient release characteristics. *Arboricultural J.* **23**,175-187 (2000)
- Pineda-García F., H. Paz, & C. Tinoco-Ojanguren, Morphological and physiological differentiation of seedlings between dry and wet habitats in a Tropical Dry Forest *Plant, Cell and Environment* **34**,1536-1547 (2011)
- Pinzón L.F.P. *Análisis morfo-funcional de plántulas para la selección de especies útiles en la restauración de Bosques Secos Tropicales Secundarios*. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México pp.71 (2013)
- Poorter H. & E. Garnier. Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. *Handbook of Functional Plant ecology* (eds F.I.Pugnaire & F.Valladares), pp. 81-a120. Marcel Dekker, Inc., New York. (1999)
- Poorter H., U. Niinemets, L. Poorter, I. J. Wright & R. Villar. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): A meta-analysis. *New Phytologist* **182**, 565-588 (2009a)
- Poorter L. & F. Bongers. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology* **87**, 1733-1743 (2006)
- Poorter L. Leaf traits show different relationships with shade tolerance in moist versus Dry Tropical Forests. *New Phytologist* **181**, 890-900 (2009)
- Portillo-Quintero C.A. & G.A.Sánchez-Azofeifa. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143:144-155 (2010)
- Quesada M.G., A. Sanchez-Azofeifa, M. Alvarez-Añorve, K.E. Stoner, L. Avila-Cabadilla, J.Calvo-Alvarado, A. Castillo, M.M. Espírito-Santo, M. Fagundes, G.W. Fernandes, J. Gamonb, M. Lopezaraiza-Mikel, D. Lawrence, L. P.M. Cerdeira, J. S. Powers, F. S. Neves, V. Rosas-Guerrero, R. Sayago & G. Sanchez-Montoya. Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives, *Forest Ecology and Management* **258**: 1014–1024 (2009)
- Reich P.B., M.B. Walters,D.S. Ellsworth, J.M. Vose, John C. Volin, C. Gresham & W.D. Bowman. Relationships of leaf dark respiration to leaf nitrogen, specific leaf area and leaf life-span: a test across biomes and functional groups. *Oecologia* **114**: 471-482 (1998)
- Reich PB, T. Koike, S.T. Gower & A.W. Schoettle. Causes and consequences of variation in conifer leaf life-span. In: Smith WK, Hinckley TM, eds. Ecophysiology of coniferous forests. New York: Academic Press, 225–254 (1995)
- Reich P.B., C. Uhl, M.B.Walters, L. Prugh, & D.S. Ellsworth, Leaf demography and phenology in Amazonian rain forest: a census of 40 000 leaves of 23 tree species. *Ecological Monographs* **74**, 3-23 (2004)
- Rincón E. & P. Huante. Growth responses of tropical deciduous tree seedlings to contrasting light conditions *Trees* **7**,202-207 (1993)
- Russell J.C. The effect of surface cover on soil moisture losses by evaporation. *Soil Science Society of America* **4**,65-70 (1939)
- Rzedowski J. in Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. (ed. R.B. T.P. Ramamoorthy, A. Lot y J. Fa) 129-145 (Instituto de Biología, UNAM, México; 1998)

- Sampaio A.B., K.D. Holl, & A. Scariot. Does Restoration Enhance Regeneration of Seasonal Deciduous Forests in Pastures in Central Brazil?. *Restoration Ecology* **15**: 462-471 (2007)
- Sánchez-Azofeifa M. Quesada, P. Cuevas, A. Castillo. Land cover and conservation in the área of influence of the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Mexico. *Forest Ecology and Management* 907-912 (2005)
- Sandel B., Corbin, J.D. & Krupa, M. Using plant functional traits to guide restoration: A case study in California coastal grassland. *Ecosphere* **2** (2011)
- Scholes R.J. & S.R. Archer. Tree-grass interactions in Savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics* **28**: 517-544 (1997)
- Shaw J.D. Models for estimation and simulation of crown and canopy cover. In: Proceedings of the fifth annual forest inventory and analysis symposium; 2003 November 18–20; New Orleans, LA. General Technical Report. WO-69. Washington, Department of Agriculture Forest Service. 222 p. Disponible en: <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/14293>, (2005)
- Society for Ecological Restoration (SER) International, G.d.t.s. & políticas.,c.y.(www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International., (2004)
- Thaxton J.M., S. Cordell, R.J. Cabin & D.R. Sandquist. Non-Native Grass Removal and Shade Increase Soil Moisture and Seedling Performance during Hawaiian Dry Forest Restoration *Restoration Ecology* **20**, 475-482 (2011)
- Trejo I. & R. Dirzo. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forest. *Biodiversity and Conservation* **11**, 2063-2084 (2002)
- Trejo I.A. & R. Dirzo. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* **94**:133-142. (2000)
- Tucker N.I.J. & T.M. Murphy. The effects of ecological rehabilitation on vegetation recruitment: some observations from the wet tropics of North Queensland. *Forest Ecology and Management* **99**,133-152 (1997)
- Vaieretti M.V., S. Díaz, D. Vile, & E. Garnier. Two measurement methods of leaf dry matter content produce similar results in a broad range of species. *Annals of botany* **99**, 955-958 (2007)
- Vázquez-Yanes C., A.I. Batis Muñoz, M.I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz & C. Sánchez Dirzo. *Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM (1999)
- Villar, R.J.R, J.L. Quero & H. Poorter, F. Valladares, T. Marañón. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio del Medio Ambiente. (ed. Valladares) (2004)
- Violle C., M.L. Navas, D. Vile, E. Kazakou, C. Fortunel, I. Hummel & E. Garnier. Let the concept of trait be functional! *Oikos* **116**, 882-892 (2007)
- Walker R.F. & S.B. McLaughling. Black polyethylene mulch improves growth of plantation-grown loblolly pine and yellow-polar. *New Forest* **3**,265-274(1989)
- Weier E., A. van der Werf, K. Thompson, M. Roderick, E. Garnier & O. Eriksson. Challenging Theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science* **10**:609-620 (1999)
- Westoby M. & Wright I.J. The leaf size-twign size spectrum and its relationship to other important spectra of variation among species. *Oecologia* **135**, 621–628 (2003)

- Westoby M. & Wright, I.J. Land-plant ecology on the basis of functional traits. *Trends in Ecology & Evolution* **21**, 261-268 (2006)
- Westoby M., Falster, D.S., Moles, A.T., Vesk, P.A. & Wright, I.J. Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **33**, 125-159 (2002)
- Wilén C.A., U.K. Schuch, & C.L. Elmore. Mulches and subirrigation control weeds in container production. *Journal of Environmental Horticulture* **17**, 174– 180 (1999)
- Wilson P.J., K.Thompson & J.G. Hodgson, Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies *New Phytologist* **143**, 155-162(1999)
- Witkowski, E.T.F. & Lamont, B.B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia* **88**, 486-493 (1991)
- Wright I.J. et al. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* **428**, 821-827 (2004)
- Zahawi R.A. & C.K. Augspurger. Tropical forest restoration: tree islands as recruitment foci in degraded lands of Honduras. *Ecological Applications* **16**: 466-378 (2006)
- Zegada-Lizarazu W. & P.R. Berliner. The effects of the degree of soil cover with an impervious sheet on the establishment of tree seedlings in an arid environment *New Forests* **42**, 1-17 (2011)
- Zimmerman J.K., J.B. Pascarella & T. Mitchell. Barriers to Forest Regeneration in an Abandoned Pasture in Puerto Rico *Restoration Ecology* **8**, 350-360 (2000)

Apéndices

Apéndice I. Análisis de varianza de tres vías de la altura, diferencias entre categorías (especies de rápido y lento crecimiento), tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | <i>gl</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|-------------------------|-----------|----------|-----------------|
| Tratamiento | 2 | 16.13 | < 0.0001 |
| Categoría | 1 | 97.72 | < 0.0001 |
| Sitio | 2 | 3.19 | < 0.05 |
| Tratamiento*Grupo | 2 | 0.2 | 0.84 |
| Tratamiento*Sitio | 4 | 1.45 | 0.21 |
| Grupo*Sitio | 2 | 1.84 | 0.16 |
| Tratamiento*Grupo*Sitio | 4 | 0.6 | 0.67 |

Apéndice II. Análisis de varianza de tres vías del diámetro a la base, diferencias entre categorías (especies de rápido y lento crecimiento), tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | <i>gl</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|-------------------------|-----------|----------|-----------------|
| Tratamiento | 2 | 31.59 | < 0.0001 |
| Grupo | 1 | 165.5 | < 0.0001 |
| Sitio | 2 | 5.4 | < 0.005 |
| Tratamiento*Grupo | 2 | 1.66 | 0.19 |
| Tratamiento*Sitio | 4 | 4.26 | < 0.005 |
| Grupo*Sitio | 2 | 0.58 | 0.56 |
| Tratamiento*Grupo*Sitio | 4 | 0.32 | 0.86 |

Apéndice III. Análisis de varianza de tres vías de la cobertura, diferencias entre categorías (especies de rápido y lento crecimiento), tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | <i>gl</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|-------------------------|-----------|----------|-----------------|
| Tratamiento | 2 | 27.22 | < 0.0001 |
| Grupo | 1 | 88.58 | < 0.0001 |
| Sitio | 2 | 2.15 | 0.11 |
| Tratamiento*Grupo | 2 | 0.25 | 0.77 |
| Tratamiento*Sitio | 4 | 5.96 | 0.001 |
| Grupo*Sitio | 2 | 3.23 | 0.05 |
| Tratamiento*Grupo*Sitio | 4 | 0.68 | 0.60 |

Apéndice IV. Análisis de varianza de las dos vías de volumen del tronco para la categoría rápido crecimiento, diferencias en tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | <i>gl</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|---------------------|-----------|----------|-----------------|
| Tratamiento | 2 | 12.42 | < 0.0001 |
| Sitio | 2 | 2.44 | 0.11 |
| Tratamiento*Sitio | 4 | 2.58 | < 0.05 |

Apéndice V. Análisis de varianza de las dos vías del volumen del tronco para la categoría de lento crecimiento, diferencias en tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | <i>gl</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|---------------------|-----------|----------|-----------------|
| Tratamiento | 2 | 16.10 | < 0.0001 |
| Sitio | 2 | 1.23 | 0.29 |
| Tratamiento*Sitio | 4 | 2.49 | < 0.05 |

Apéndice VI. Análisis de varianza tres vías del área foliar, diferencias de 11 especies, tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | | <i>F</i> | <i>P</i> |
|---------------------------|----|----------|-------------------|
| Especie | 10 | 632.79 | <0.0001 |
| Sitio | 2 | 0.041 | 0.96 |
| Tratamiento | 2 | 1.25 | 0.28 |
| Especie*Sitio | 20 | 1.71 | 0.03 |
| Especie*Tratamiento | 20 | 2.20 | 0.003 |
| Sitio*Tratamiento | 4 | 1.64 | 0.16 |
| Especie*Sitio*Tratamiento | 40 | 1.28 | 0.13 |

Apéndice VII. Análisis de varianza tres vías del área foliar específica, diferencias de 11 especies, tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | <i>gl</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|---------------------------|-----------|----------|--------------------|
| Especie | 10 | 9.22 | <0.00001 |
| Sitio | 2 | 4.66 | 0.01 |
| Tratamiento | 2 | 1.64 | 0.19 |
| Especie*Sitio | 20 | 1.13 | 0.32 |
| Especie*Tratamiento | 20 | 1.42 | 0.11 |
| Sitio*Tratamiento | 4 | 6.74 | 0.00003 |
| Especie*Sitio*Tratamiento | 40 | 1.22 | 0.18 |

Apéndice VIII. Análisis de varianza tres vías de la masa foliar específica, diferencias de 11 especies, tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | <i>gl</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|---------------------------|-----------|----------|-------------------|
| Especie | 10 | 22.38 | <0.0001 |
| Sitio | 2 | 0.12 | 0.88 |
| Tratamiento | 2 | 0.82 | 0.44 |
| Especie*Sitio | 20 | 2.62 | 0.0002 |
| Especie*Tratamiento | 20 | 1.48 | 0.09 |
| Sitio*Tratamiento | 4 | 3.27 | 0.01 |
| Especie*Sitio*Tratamiento | 40 | 1.77 | 0.004 |

Apéndice IX. Análisis de varianza de tres vías del índice de disección, diferencias de 11 especies, tres sitios y tres tratamientos de manejo (acolchado plástico, remoción de pastos y control).

| Factor de variación | <i>gl</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|---------------------------|-----------|----------|--------------------|
| Especie | 9 | 7.89 | <0.00001 |
| Sitio | 2 | 7.72 | 0.0005 |
| Tratamiento | 2 | 0.07 | 0.93 |
| Especie*Sitio | 18 | 2.39 | 0.001 |
| Especie*Tratamiento | 18 | 0.58 | 0.92 |
| Sitio*Tratamiento | 4 | 0.86 | 0.48 |
| Especie*Sitio*Tratamiento | 36 | 0.53 | 0.98 |

Apéndice X. Valores promedio (sin transformar) por especie de las variables de tamaño (altura, DBT=diámetro a la base del tronco, volumen y cobertura) y los atributos foliares (AF=área foliar, AFE=área foliar específica, ID=índice de disección, CMS=contenido de masa seca, longevidad foliar promedio en días y productividad foliar acumulada).

| Especie | Altura (cm) | DBT (cm) | Volumen (cm ³) | Cobertura (m) | AF (cm ²) | AFE (cm ² /g) | ID | CMS (g/g) | Sobrevivencia (días) | Productividad (No. hojas) |
|---------|----------------|-------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|------|--------------|-------------------------|------------------------------|
| Apopl | 276.11 | 3.72 | 1478.84 | 11.46 | 4.04 | 236.95 | 1.06 | 0.44 | 102 | 683 |
| C. alli | 152.33 | 2.62 | 469.39 | 4.38 | 33.15 | 168.07 | 1.01 | 0.37 | 164 | 530 |
| C.ele | 246.06 | 4.29 | 2196.28 | 11.34 | 63.02 | 205.23 | 0.98 | 0.38 | 81 | 642 |
| C.eri | 180.64 | 2.22 | 311.60 | 5.15 | 0.37 | 220.95 | 0.92 | 0.49 | 154 | 397 |
| C.pla | 270.31 | 4.50 | 2053.14 | 11.22 | 14.31 | 204.54 | 1.08 | 0.46 | 144 | 267 |
| C.pul | 268.61 | 5.71 | 2823.50 | 28.22 | 1.70 | 256.76 | 1.05 | 0.38 | 96 | 664 |
| Gliri | 334.86 | 6.46 | 4988.27 | 17.22 | 16.43 | 252.17 | 1.07 | 0.25 | 95 | 840 |
| Guazu | 322.75 | 6.18 | 3709.34 | 22.36 | 28.17 | 209.53 | 1.04 | 0.36 | 130 | 364 |
| Helio | 314.37 | 6.46 | 4234.81 | 14.78 | 48.11 | 278.21 | 0.94 | 0.30 | 72 | 736 |
| Leuca | 407.69 | 5.38 | 4577.07 | 28.25 | 0.63 | 221.05 | 1.21 | 0.33 | 88 | 433 |
| Lysil | 266.97 | 3.29 | 901.69 | 15.45 | 2.81 | 367.87 | | 0.50 | 117 | 315 |

Apéndice XI. Valores promedio (sin transformar) por especie de las variables de tamaño (altura, DBT=diámetro a la base del tronco, volumen y cobertura) y los atributos foliares (AF=área foliar, AFE=área foliar específica, ID=índice de disección, CMS=contenido de masa seca, longevidad foliar promedio en días y productividad foliar acumulada en el tratamiento acolchado plástico.

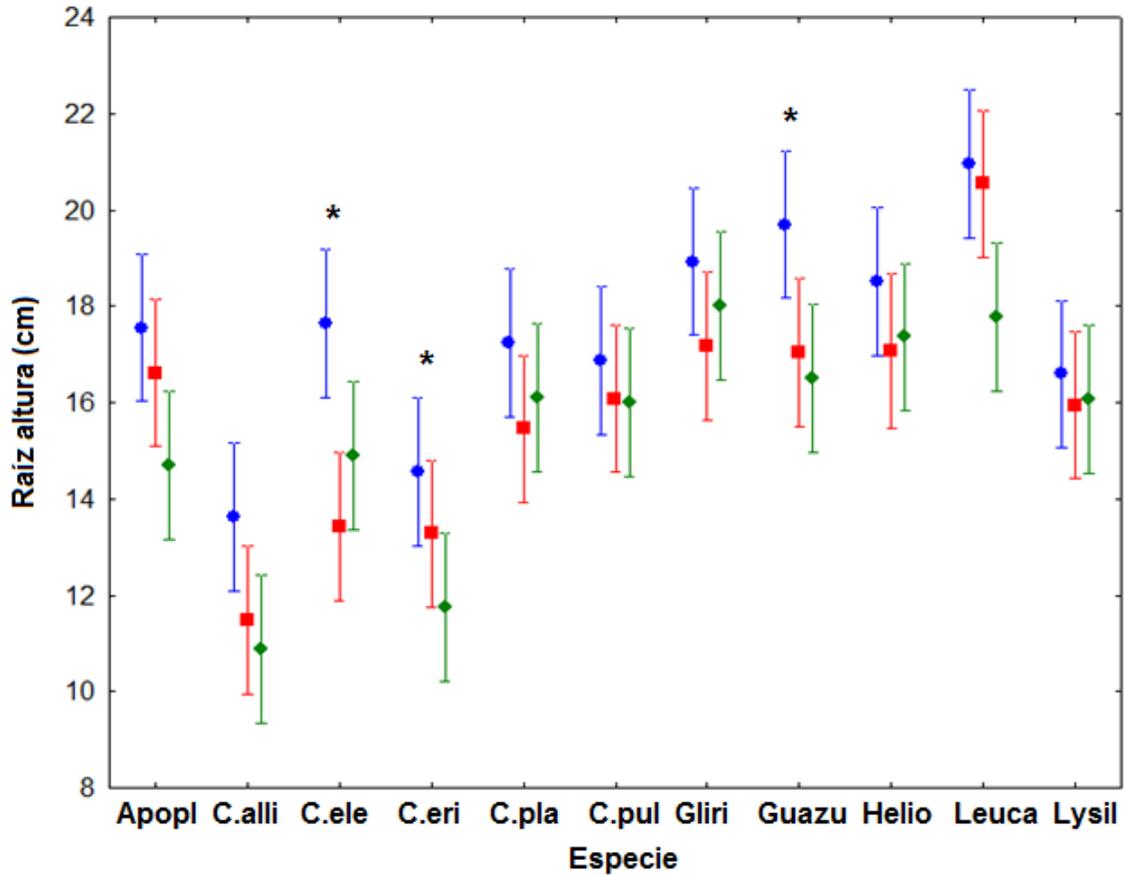
| Especie | Altura (cm) | DBT (cm) | Volumen (cm ³) | Cobertura (m) | AF (cm ²) | AFE (cm ² /g) | ID | CMS (g/g) | Sobrevivencia (días) | Productividad (No. hojas) |
|---------|----------------|-------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|------|--------------|-------------------------|------------------------------|
| Apopl | 325.25 | 4.80 | 2498.15 | 17.11 | 4.14 | 206.47 | 1.02 | 0.57 | 81 | 257 |
| C. alli | 195.33 | 3.43 | 886.93 | 6.88 | 38.70 | 157.41 | 1.03 | 0.36 | 144 | 156 |
| C.ele | 322.25 | 6.42 | 4887.15 | 19.47 | 63.40 | 213.06 | 0.96 | 0.33 | 81 | 208 |
| C.eri | 214.67 | 2.68 | 441.24 | 7.78 | 0.35 | 191.14 | 0.91 | 0.47 | 144 | 150 |
| C.pla | 301.67 | 5.89 | 3288.67 | 15.85 | 12.08 | 235.57 | 1.07 | 0.37 | 144 | 82 |
| C.pul | 287.92 | 7.11 | 4443.58 | 39.90 | 1.55 | 238.91 | 1.09 | 0.37 | 104 | 224 |
| Gliri | 376.08 | 7.58 | 8433.58 | 23.74 | 16.69 | 253.73 | 1.04 | 0.24 | 104 | 165 |
| Guazu | 389.42 | 6.41 | 4525.47 | 27.31 | 27.87 | 211.16 | 1.06 | 0.34 | 144 | 107 |
| Helio | 344.67 | 8.46 | 7394.29 | 24.48 | 61.17 | 279.19 | 0.96 | 0.29 | 81 | 188 |
| Leuca | 460.83 | 6.84 | 6423.71 | 42.31 | 0.68 | 205.08 | 1.19 | 0.34 | 81 | 138 |
| Lysil | 283.83 | 3.51 | 1120.26 | 17.10 | 2.28 | 253.09 | | 0.46 | 104 | 111 |

Apéndice XII. Valores promedio por especie (sin transformar) de las variables de tamaño (altura, DBT=diámetro a la base del tronco, volumen y cobertura) y los atributos foliares (AF=área foliar, AFE=área foliar específica, ID=índice de disección, CMS=contenido de masa seca, longevidad foliar promedio en días y productividad foliar acumulada en el tratamiento de remoción de pastos.

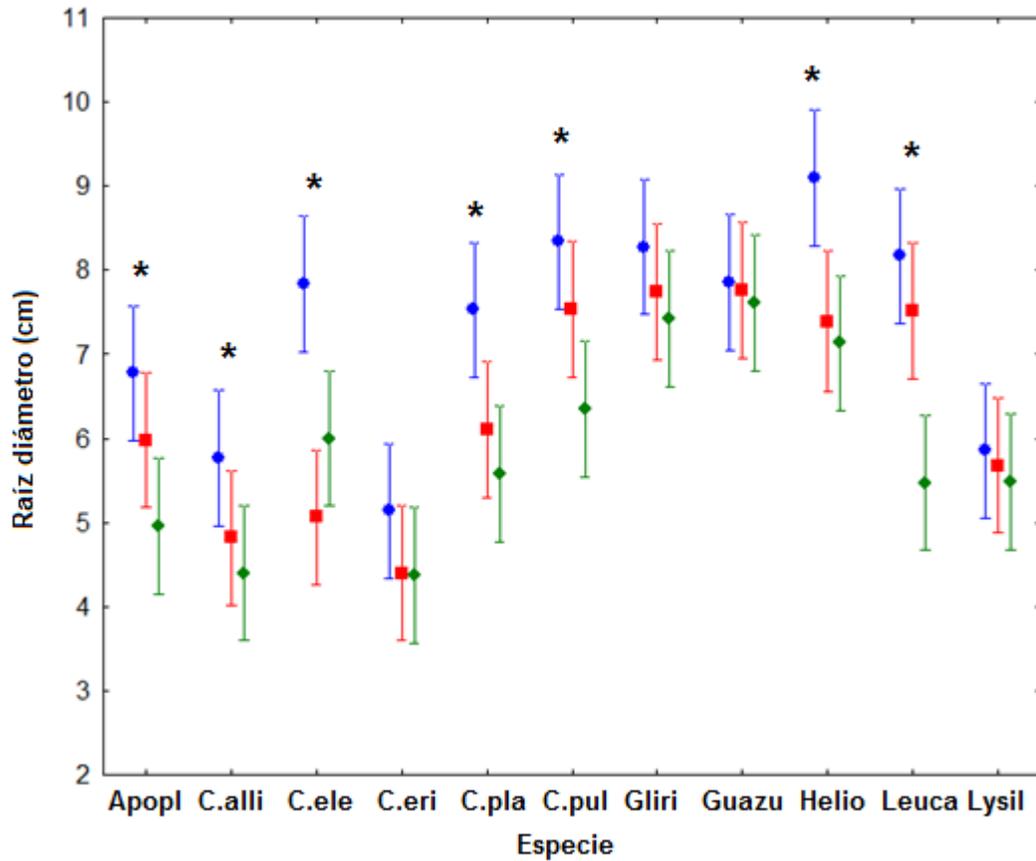
| Especie | Altura (cm) | DBT (cm) | Volumen (cm ³) | Cobertura (m) | AF (cm ²) | AFE (cm ² /g) | ID | CMS (g/g) | Sobrevivencia (días) | Productividad (No. hojas) |
|---------|----------------|-------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|------|--------------|-------------------------|------------------------------|
| Apopl | 279.08 | 3.81 | 1439.48 | 9.37 | 4.56 | 295.04 | 1.06 | 0.37 | 144 | 211 |
| C. alli | 136.92 | 2.43 | 326.32 | 3.53 | 32.50 | 164.15 | 0.98 | 0.36 | 204 | 150 |
| C.ele | 185.33 | 2.72 | 495.42 | 6.21 | 56.09 | 202.65 | 0.95 | 0.46 | 81 | 239 |
| C.eri | 183.67 | 2.01 | 271.45 | 4.27 | 0.35 | 214.72 | 0.93 | 0.48 | 174 | 114 |
| C.pla | 247.00 | 3.94 | 1574.92 | 8.41 | 14.97 | 208.39 | 1.09 | 0.36 | 144 | 103 |
| C.pul | 260.08 | 5.77 | 2506.11 | 25.34 | 1.82 | 268.34 | 1.05 | 0.38 | 104 | 195 |
| Gliri | 301.75 | 6.15 | 3485.15 | 12.65 | 15.44 | 253.19 | 1.08 | 0.22 | 90 | 344 |
| Guazu | 298.83 | 6.17 | 3590.24 | 20.62 | 26.97 | 206.63 | 1.04 | 0.40 | 104 | 83 |
| Helio | 294.18 | 5.62 | 2788.08 | 9.22 | 45.11 | 272.81 | 1.00 | 0.29 | 54 | 268 |
| Leuca | 430.17 | 6.02 | 5675.04 | 28.58 | 0.63 | 230.66 | 1.24 | 0.32 | 81 | 150 |
| Lysil | 256.58 | 3.29 | 839.58 | 15.46 | 3.65 | 483.30 | | 0.57 | 104 | 106 |

Apéndice XIII. Valores promedio (sin transformar) por especie de las variables de tamaño (altura, DBT=diámetro a la base del tronco, volumen y cobertura) y los atributos foliares (AF=área foliar, AFE=área foliar específica, ID=índice de disección, CMS=contenido de masa seca, longevidad foliar promedio en días y productividad foliar acumulada en el tratamiento control.

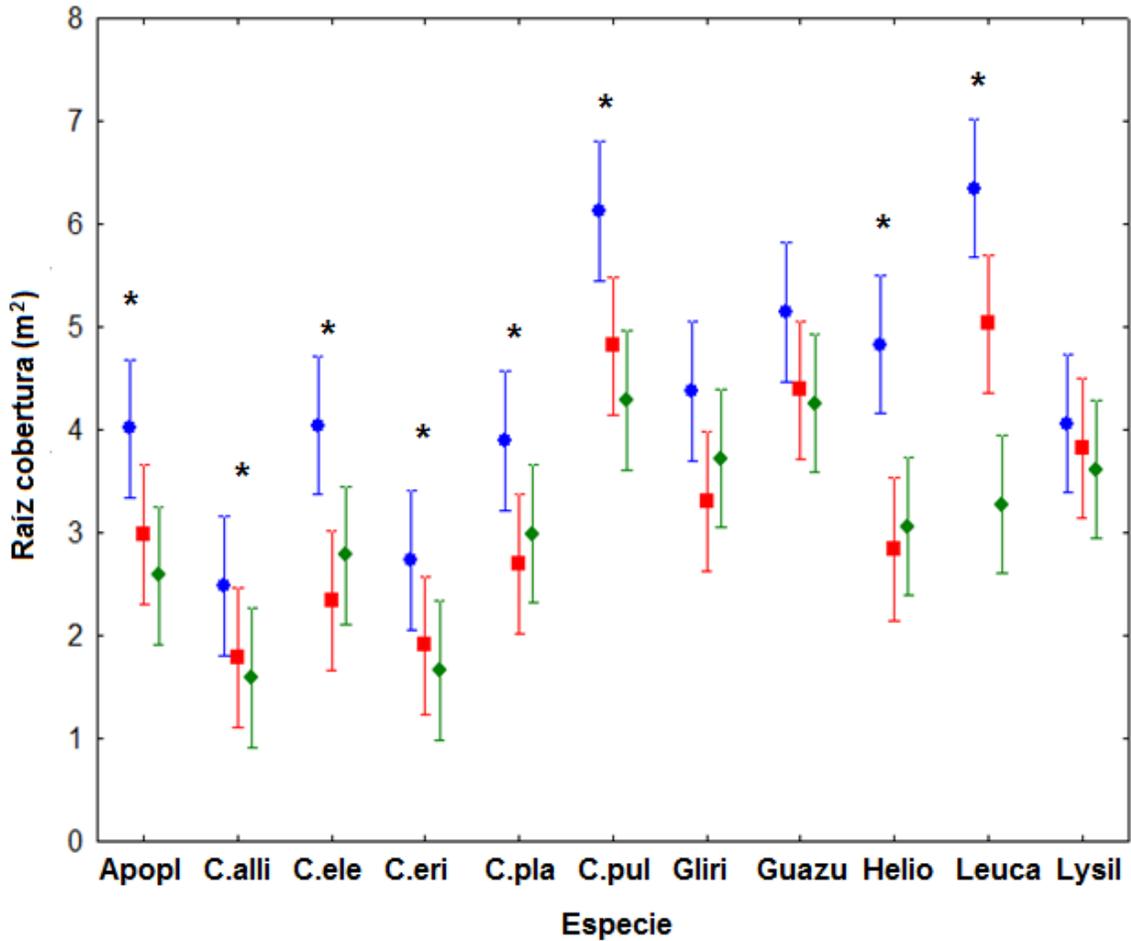
| Especie | Altura (cm) | DBT (cm) | Volumen (cm ³) | Cobertura (m) | AF (cm ²) | AFE (cm ² /g) | ID | CMS (g/g) | Sobrevivencia (días) | Productividad (No. hojas) |
|---------|----------------|-------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|------|--------------|-------------------------|------------------------------|
| Apopl | 224.00 | 2.55 | 498.87 | 7.90 | 3.43 | 209.33 | 1.11 | 0.40 | 81 | 215 |
| C. alli | 124.75 | 2.00 | 194.94 | 2.73 | 28.24 | 182.65 | 1.03 | 0.38 | 144 | 224 |
| C.ele | 230.58 | 3.73 | 1206.27 | 8.34 | 69.58 | 199.98 | 1.03 | 0.35 | 81 | 195 |
| C.eri | 143.58 | 1.98 | 222.12 | 3.41 | 0.42 | 254.50 | 0.92 | 0.53 | 144 | 133 |
| C.pla | 262.25 | 3.66 | 1295.82 | 9.40 | 15.89 | 169.67 | 1.08 | 0.65 | 144 | 82 |
| C.pul | 257.83 | 4.26 | 1520.81 | 19.43 | 1.73 | 263.04 | 1.01 | 0.40 | 81 | 245 |
| Gliri | 326.75 | 5.66 | 3046.09 | 15.26 | 17.17 | 249.58 | 1.08 | 0.28 | 90 | 331 |
| Guazu | 280.00 | 5.97 | 3012.31 | 19.14 | 29.68 | 210.80 | 1.01 | 0.33 | 144 | 174 |
| Helio | 302.58 | 5.24 | 2401.49 | 10.18 | 37.79 | 282.18 | 0.88 | 0.30 | 81 | 280 |
| Leuca | 332.08 | 3.28 | 1632.46 | 13.87 | 0.57 | 229.52 | 1.20 | 0.31 | 104 | 145 |
| Lysil | 260.50 | 3.08 | 745.22 | 13.80 | 2.51 | 367.22 | | 0.46 | 144 | 98 |



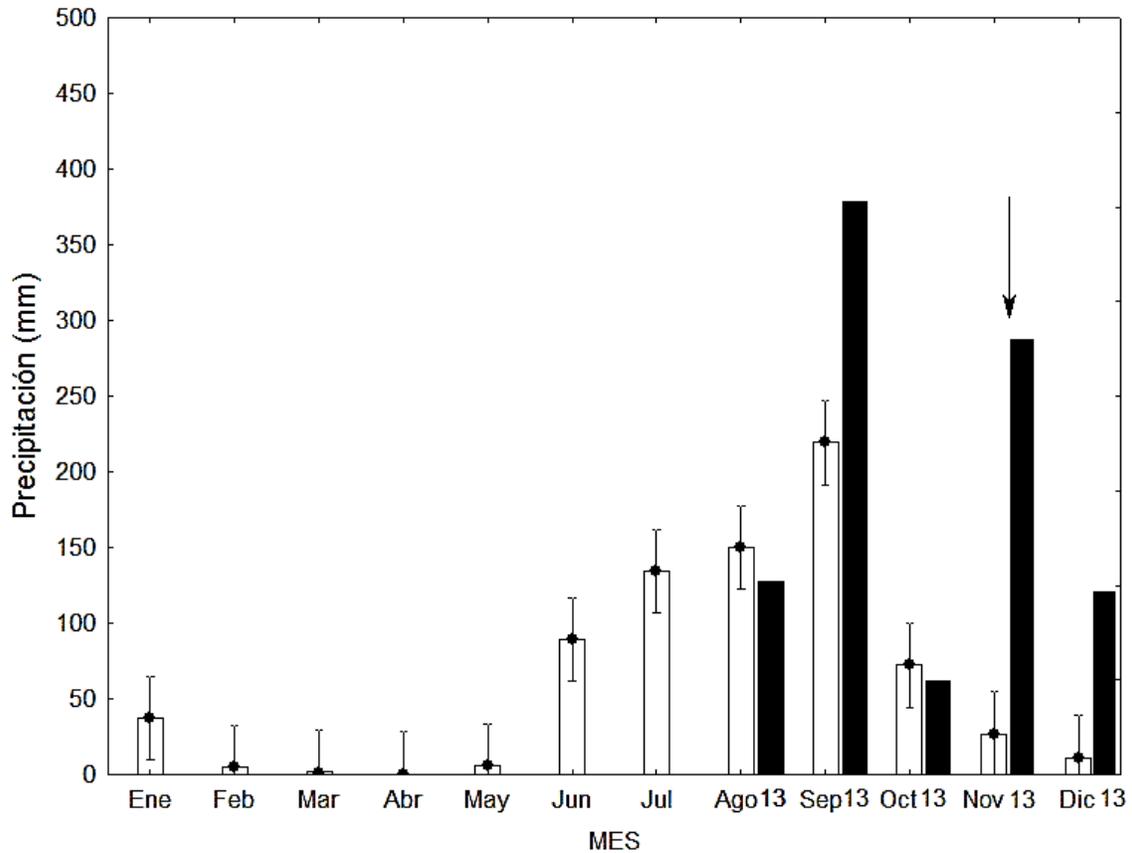
Apéndice XIV. Efecto del tratamiento de manejo en la altura de 11 especies nativas, creciendo en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. El tratamiento acolchado plástico se denota en azul, la remoción de pastos en rojo y el control en verde. En asterisco se muestran las especies que tuvieron diferencias significativas entre tratamientos mediante un modelo lineal general.



Apéndice XV. Efecto del tratamiento de manejo en el diámetro a la base del tronco de 11 especies nativas, creciendo en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. El tratamiento acolchado plástico se denota en azul, la remoción de pastos en rojo y el control en verde. En asterisco se muestran las especies que tuvieron diferencias significativas entre tratamientos mediante un modelo lineal general.



Apéndice XVI. Efecto del tratamiento de manejo en la cobertura de 11 especies nativas, creciendo en plantaciones de restauración en Chamela Jalisco. El tratamiento acolchado plástico se denota en azul, la remoción de pastos en rojo y el control en verde. En asterisco se muestran las especies que tuvieron diferencias significativas entre tratamientos mediante un modelo lineal general.



Apéndice XVII. Precipitación promedio (\pm error estándar) de 30 años (1977-2006, barras blancas) y precipitación total registrada para los meses de muestreo (agosto- diciembre, 2013; barras negras) en Chamela, Jalisco. La flecha indica lluvias atípicas en noviembre y diciembre.