



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA FORESTAL

TESIS DE MAESTRÍA

**Crecimiento de clones de *Pinus patula* en el huerto
semillero de Ingenio del Rosario, Municipio de Xico,
Veracruz**

QUE PRESENTA:

Biol. Alejandro Quirino Villarreal

Director:

Dr. Armando Aparicio Rentería

Asesores:

Dr. Héctor Viveros Viveros

Dra. Virginia Rebolledo Camacho

Dr. Sergio F. Juárez Cerrillo

LGAC

Conservación Genética de Recursos Forestales

Xalapa, Ver.








Febrero, 2018.



**UNIVERSIDAD VERACRUZANA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES
MAESTRIA EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA FORESTAL**

Aprobación del documento final de tesis de grado:

Realizada por el alumno Alejandro Quirino Villarreal, bajo la dirección del Comité particular de tesis y aprobada por el Comité Revisor. Ha sido aceptada como requisito parcial para obtener el grado de: **Maestro en Ciencias en Ecología Forestal.**

Nombre	Firma
Director de Tesis	
Dr. Armando Aparicio Rentería	 _____
Comité tutorial	
Dr. Héctor Viveros Viveros	 _____
Dra. Virginia Rebolledo Camacho	 _____
Dr. Sergio F. Juárez Cerrillo	 _____
Comisión revisora:	
Dra. Celia Cecilia Acosta Hernández	 _____
Dra. Rosa Amelia Pedraza Pérez	 _____
Dr. Nahum M. Sánchez Vargas	 _____

Xalapa, Ver., Febrero de 2018.

DECLARACIÓN

Excepto cuando es explícitamente indicado en el texto, el trabajo de investigación contenido en esta tesis fue efectuado por Alejandro Quirino Villarreal como estudiante de la carrera de Maestría en Ciencias en Ecología Forestal entre agosto de 2015 y julio de 2017, bajo la supervisión del Dr. Armando Aparicio Rentería.

Las investigaciones reportadas en esta tesis no han sido utilizadas anteriormente para obtener otros grados académicos, ni serán utilizadas para tales fines en el futuro.

Candidato: Alejandro Quirino Villarreal



Director de tesis: Dr. Armando Aparicio Rentería



Resumen

La disminución de las áreas de distribución natural de las especies forestales y la demanda de productos forestales por la sociedad, impulsan al desarrollo de estrategias de conservación y manejo sustentable de los recursos genéticos forestales. Ante este planteamiento surge como estrategia de mejoramiento genético forestal el establecimiento de un huerto semillero clonal con una especie económicamente importante como lo es *Pinus patula*, con la finalidad de producir semilla de mejor calidad genética en comparación con otras áreas semilleras, para su uso en los programas de reforestación. El objetivo principal del presente trabajo fue conocer el crecimiento inicial de 31 clones a los 21, 33, 39, 42, 45, 51 y 54 meses de edad. Las variables evaluadas fueron altura total, diámetro del tallo, número de verticilos y diámetro de la copa. Se realizaron análisis descriptivos y de varianza. Para la altura se encontraron diferencias significativas entre los clones a las edades 21 y 33 meses y a nivel de bloques en todas las edades. Para el diámetro a nivel de bloques a los 33, 39, 42 y 45 meses de edad, y a nivel de clon a los 21, 33, 39, 42, 51 y 54 meses de edad; en el diámetro de la copa, a nivel de clon en todas las edades, y en bloques solo a los 39, 42, 45 y 51 meses de edad. En la aportación a la varianza total por parte de los clones fue mayor para el diámetro de copa con aproximadamente un 32 %. Las correlaciones de Pearson fueron altas y significativas entre altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa ($r \geq 0.72$). Los clones fueron agrupados como de mayor, intermedio y menor crecimiento de cada variable evaluada. El diámetro del tallo y el de la copa presentaron mayor efecto genético que ambiental, mientras que para altura fue mayor el efecto ambiental que genético. El número de verticilos fue una característica independiente del crecimiento de la altura y del diámetro del tallo. El modelo ajustado describió la variación entre rametos dentro de clones y entre clones.

Palabras clave: Crecimiento, componentes de varianza, clones, rametos, *Pinus patula*.

Abstract

The decrease in natural ranges of forest species and the demand of forest products by the society, boost the development of strategies of conservation and sustainable management of genetic forest resources. In light of this approach, as a forest genetic strategy of improvement emerges the establishment of a clonal seed orchard with an economically important specie such as *Pinus patula*, to produce better genetic quality seed compared to other areas of propagules, to use in reforestation programs. The main objective of this work was getting to know the initial growth of 31 clones to the 21, 33, 39, 42, 45, 51 and 54 months of age. The evaluated items were: total height, stem diameter, number of verticilos and diameter of the treetop. Descriptive and variance studies were carried out. Meaningful height differences were found between the clones at the ages of 21 and 33 months and at the block level at all ages; For the diameter at block levels at 33, 39, 42 and 45 months of age, and at the level of clone at the ages of 21, 33, 39, 42, 51 and 54 months, the diameter of the treetop, at the level of clone in all ages, and in blocks only to 39, 42, 45 and 51 months of age. The contribution of the total variance from the clones was greater for the diameter of the treetop with approximately a 32 %. Pearson correlations were high and meaningful between total height, stem diameter and treetop diameter cup ($r \geq 0.72$). The clones were grouped as higher, intermediate and lower growth of each evaluated variable. The diameter of the stem and the cup presented a higher genetic effect than an environmental, while in the height was greater the environmental effect than the genetic. The number of verticilos was an independent characteristic of the growth of the height and diameter of the stem. The adjusted model described the variation between rametos within clones and between clones.

Key words: growth, variance components, clones, rametos, *Pinus patula*.

Dedicatoria

A mi familia:

A mis padres: Teófila Villarreal Ochoa, y Reynaldo Quirino Bazna, por darme la vida y ayudarme a seguir un camino recto y de trabajo duro.

A mis hermanos: María, Petra, Emilio, Alicia, Alfonso, Silvano, Noemí, por apoyarme y alentarme a seguir adelante.

Agradecimientos

En una primera instancia a mi señor Dios, que me dio la fortaleza y el valor para seguir adelante a pesar de todos los obstáculos en el camino. A mis padres y hermanos por apoyarme en esta aventura, gracias por las palabras que me han brindado y por las acciones que han llenado de conocimiento y alegría mi vida.

A mis amig@s: Dulce, Nancy, Gloria, y a todos aquellos que me brindaron su amistad durante esta nueva etapa de mi formación, que gracias a ustedes ha sido amena, gracias.

Al grupo de la Maestría en Ciencias en Ecología Forestal, del cual he aprendido nuevas cosas en este camino de ciencia, gracias por compartir sus conocimientos.

Al Instituto de Investigaciones Forestales y a la Maestría en Ciencias en Ecología Forestal, por brindarme la oportunidad de cursar y formarme en sus instalaciones, así como el apoyo para realizar diversas actividades y la obtención de nuevo conocimiento.

A mi comité tutorial: Dr. Armando Aparicio Rentería, Dr. Sergio F. Juárez Cerrillo, Dr. Héctor Viveros Viveros y Dra. Virginia Rebolledo Camacho por su apoyo y paciencia durante la elaboración de este trabajo.

Al CONACYT por la beca otorgada durante la realización de este trabajo de investigación.

A mi comité revisor: Dra. Celia C. Acosta Hernández, Dra. Rosa Amelia Pedraza Pérez y al Dr. Nahum M. Sánchez Vargas, por sus aportaciones para el fortalecimiento de este trabajo de investigación.

Índice

.....	1
Introducción	1
1.1 Evaluación de clones en el género Pinus.....	4
1.1.1 Modelos multinivel	6
1.2 Descripción de la especie	7
2. Justificación	8
3. Objetivos	10
3.1 Objetivo general	10
3.2 Objetivos particulares.....	10
4. Pregunta de investigación	10
5. Materiales y métodos	10
5.1 Sitio de estudio.....	10
5.2 Metodología	12
5.3 Análisis de datos	14
6. Resultados.....	16
Análisis de varianza	18
Agrupación de clones	20
Número de verticilos	24
Componentes de varianza	26
Modelo multinivel para curvas de crecimiento	27
Prospección de suelo en el huerto semillero asexual.....	31
7. Discusión.....	31
8. Conclusiones.....	35
9. Referencias.....	36
10. Anexos.....	43

Índice de cuadros

Cuadro 1. Edad y fecha de medición de los rametos por clon del huerto semillero de <i>Pinus patula</i>	13
Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para las variables de crecimiento del huerto semillero asexual de <i>Pinus patula</i> en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.....	17
Cuadro 3. Análisis de varianza para altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa del huerto semillero asexual de <i>Pinus patula</i> del ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.....	18
Cuadro 4. Correlaciones de Pearson entre variables a distintas edades del huerto semillero asexual de <i>Pinus patula</i> en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.....	19

Índice de figuras

Figura 1.- Ejemplar de árbol plus de <i>Pinus patula</i> en Ejido Ingenio del Rosario Municipio de Xico, Veracruz.....	7
Figura 2. Localización del huerto semillero clonal de <i>P. patula</i> y del ejido Ingenio del Rosario Municipio de Xico, Veracruz	11
Figura 3. Diseño del huerto semillero asexual de <i>P. patula</i> en el ejido ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.....	12
Figura 4. Toma de datos de altura total, diámetro del tallo, diámetro de copa, conteo de verticilos y prospección de suelo en el huerto semillero asexual de <i>Pinus patula</i>	14
Figura 5.- Clones del huerto semillero de <i>Pinus patula</i> del Ejido Ingenio del Rosario.....	16
Figura 6. Clúster de K-medias de los 31 clones evaluados en el huerto semillero de <i>Pinus patula</i> en ejido Ingenio del Rosario, Xico Veracruz.	20
Figura 7. Clones con a) mayor, b) intermedio y c) menor desarrollo en altura total del huerto semillero de <i>Pinus patula</i> en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.	21
Figura 8. Clones con a) mayor, b) intermedio y c) menor desarrollo en diámetro del tallo del huerto semillero de <i>Pinus patula</i>	22
Figura 9. Clones con a) mayor, b) intermedio y c) menor desarrollo en diámetro de copa del huerto semillero de <i>Pinus patula</i>	23
Figura 10. Componentes de varianza para a) altura total, b) diámetro del tallo, c) Núm. de verticilos y d) diámetro de copa, de los clones del huerto semillero de <i>P. patula</i> en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.	27
Figura 11. Curvas de crecimiento de altura total por rametos del huerto semillero asexual de <i>Pinus patula</i> en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.....	29
Figura 12. Curvas de crecimiento para diámetro del tallo por rametos del huerto semillero asexual de <i>Pinus patula</i> en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.....	30
Figura 13. Curvas de crecimiento para diámetro de copa por rametos del huerto semillero asexual de <i>Pinus patula</i> en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.....	30

Introducción

Ante la problemática de deforestación que está ocurriendo en México e indiscutiblemente en Veracruz, y al crecimiento de la población rural en forma significativa en las áreas forestales, se están desarrollando estrategias de mejoramiento genético forestal (MGF) para la obtención de semilla de buena calidad para cumplir con la demanda de los programas de reforestación y restauración (Abarca *et al.*, 1998). El MGF se define como una herramienta adicional de la silvicultura, que estudia el tipo y la constitución genética de los árboles utilizados en las operaciones forestales, por medio de la cual se da la manipulación de la variación natural que existe (Zobel y Talbert, 1988; Gradual, 1993).

Los principales objetivos del MGF es aumentar la productividad y mejorar la calidad de los árboles que integran una plantación o reforestación. Para ello se emplean programas de mejoramiento que se basan principalmente en metas (producto que se desea obtener). Las metas adoptadas dependen de factores como la importancia de la especie, sus características, recursos disponibles, entre otros. Con ello se pretenden mejorar rasgos de importancia como la resistencia a plagas, mayores diámetros en corto tiempo o alguna otra característica que se desee (Zobel y Talbert, 1988).

Para el abasto oportuno y seguro de semilla se logra con el establecimiento y manejo adecuado de huertos semilleros, que son la última etapa de cada ciclo de MGF. El valor superior del mismo se demuestra con pruebas de progenie, que son esenciales, así mismo al aplicar algún tipo de selección, con la expectativa de obtener ganancias genéticas (Zobel y Talbert, 1988; Valencia, 1992; Wellendorf y Ditlevsen, 1992).

Un huerto semillero es una plantación de clones o progenies obtenidos a partir de árboles seleccionados, que se aísla para evitar o reducir la polinización a partir de fuentes externas y que se maneja para producir frecuentes y abundantes cosechas de semilla. Los huertos han permitido obtener ganancias significativas en los aspectos de crecimiento, propiedades de la madera, adaptabilidad, forma del árbol y resistencia a enfermedades (Zobel y Talbert, 1988).

Existen dos tipos de huertos semilleros: sexuales y asexuales. Los huertos semilleros sexuales (HSS) se establecen con progenie derivada por semilla de árboles plus (fenotípicamente superiores). Conforme se dispone de información sobre el desempeño en campo de la progenie, las peores familias e individuos dentro de familias se eliminan del huerto, dejando únicamente las mejores para su reproducción (Jaquish, 1997).

Los huertos semilleros asexuales (HSA) son plantaciones establecidas con material vegetativo derivado de árboles seleccionados con características fenotípicas superiores. Con la finalidad de reducir los riesgos de polinización con polen de árboles genéticamente inferiores, los huertos deben ser establecidos en un lugar aislado de árboles de la misma especie o de aquellas con que puedan formar híbridos. Se manejan en forma intensiva para producir cosechas abundantes de semilla, de fácil recolección y calidad genética superior (Hopkins y Hutchert, 1994; Zobel y Talbert, 1988).

Los HSA se establecen por medio de técnicas de propagación vegetativa que puede ser por injerto, enraizado de estacas y cultivo de tejidos (Jaquish, 1997; Zobel y Talbert 1985). Es importante mencionar que al realizar propagación vegetativa se manejan términos como orteto, rameto y clon, entendiendo por orteto al árbol madre seleccionado para la obtención del material vegetativo, al rameto como cada una de las plantas obtenidas y el clon al conjunto de rametos obtenidos del orteto.

Algunas de las ventajas de los HSA, es la reducción del tiempo para iniciar la producción de semillas con respecto a un huerto establecido de manera sexual. Otras de las ventajas que ofrece es que se tiene una menor dificultad de recolección del germoplasma que pudiera ser una opción al suministro de la demanda de semilla para programas de reforestación y de mejora genética, además de la obtención de material genéticamente mejorado al menor costo posible (Pardos y Gil, 1986; Zobel y Talbert, 1985; Badilla y Murillo, 1999).

Ante la importancia de contar con un programa de mejoramiento para una de las especies más empleadas en los programas de reforestación, en ejido Ingenio del Rosario municipio de Xico, Veracruz se estableció un huerto semillero asexual (HSA) con *Pinus patula* Schiede ex Schlect. et Cham, con el objetivo de producir a mediano plazo semillas

de buena calidad genética. El HSA fue establecido en septiembre de 2012 en una superficie de 4.5 ha, conforme a un diseño experimental de 18 bloques completos. Se utilizaron 873 injertos de 98 clones y siete meses después de su establecimiento, se evaluó la supervivencia la cual fue de 70 % (Aparicio-Rentería *et al.*, 2013).

Por lo que evaluar el crecimiento de los clones que conforman el huerto semillero establecido en el ejido Ingenio del Rosario dará evidencia del efecto de las características de los árboles seleccionados de *P. patula* en la zona del ejido, así como del desarrollo en etapa temprana de los individuos, lo que dará indicios de los clones con mejor desarrollo.

1. Antecedentes

Nienstaedt (1990) establece que en los HSA se hace uso de dos estrategias de mejora: selección y cruzamiento, en el desarrollo de un programa de Mejoramiento Genético Forestal (MGF), estas estrategias se deben realizar en forma simultánea a corto y a largo plazo. Otro de los aspectos que se debe tomar en cuenta es la composición genética del huerto semillero, ya que influye en gran medida sobre el nivel de ganancia y diversidad genética lograda en la semilla (Giertych, 1975).

Una de las características que se pueden evaluar en el desarrollo de los HSC es el crecimiento de rametos, el cual se define como un fenómeno biológico de aumento de tamaño en el tiempo, involucrando formación, diferenciación y expansión de nuevas células, tejidos u órganos, tomando para el caso de todos los seres vivos, una forma sigmoidea (Cabezas, 1997). El crecimiento en el caso de los árboles puede estar influenciado por la especie (características genéticas), condiciones del sitio, espaciamiento inicial, etc., lo cual es necesario considerar en estudios de crecimiento. Es posible diferenciar tres etapas en el crecimiento acumulado: una etapa juvenil donde el crecimiento es primero lento y luego acelerado, una etapa de madurez con un crecimiento constante y una etapa de senescencia con un crecimiento desacelerado para llegar a una asíntota (Cabezas, 1997).

Las evaluaciones se centran en algunas de las variables en las cuales se expresa el crecimiento, principalmente la altura, es un buen indicador de la calidad de la planta en vivero. Sin embargo, en campo se considera un indicador insuficiente para definir la calidad o supervivencia de la planta, por lo que es conveniente relacionarlo con otros indicadores morfológicos o fisiológicos (Mexal y Landis, 1990).

El **diámetro del tallo basal** es una de las características de la planta más importante, y se ha considerado como el mejor predictor individual del crecimiento en altura y la supervivencia en campo (Cleary *et al.*, 1978 y Thompson, 1984 cit. García, 2007), se ha reportado que plantas con diámetro basal mayores a 5 cm son más resistentes a daños mecánicos y mayor tolerante a plagas y fauna nociva, variando de acuerdo a la especie (Prieto *et al.*, 2003 y 2009).

Existen otras características que indican el vigor de la planta, por ejemplo el **Número de verticilos** que según la RAE (2016) es el conjunto de tres o más ramas que están en un mismo plano alrededor de un tallo, y el **diámetro de la copa** que es la relación entre la superficie que ocupa la proyección de las copas de los árboles en un terreno y la superficie total del mismo expresaba en porcentaje (Reglamento de la ley forestal, 1992).

1.1 Evaluación de clones en el género *Pinus*

Antecedentes sobre el crecimiento de HSA es escaso ya que es una nueva estrategia que está tomando realce en estos tiempos. Existen algunos trabajos en los que se ha evaluado principalmente la variación de la fenología en clones (ver Hernández, 2014), sin embargo, existen algunos estudios en los que se ha evaluado el crecimiento de clones, por ejemplo:

En Turquía en el huerto semillero clonal Tekçam ubicado en Taköprü, Kastamonu de *Pinus sylvestris* L. se evaluaron 30 clones en tres años consecutivos (2006, 2007 y 2008) es decir, a los 13, 14 y 15 años de edad de los clones, dando como resultado alturas promedios de 4.80 m, diámetro basal de 13.45 cm, número de verticilos de 42 y diámetros de copa de aproximadamente 3.32 m, la varianza entre clones fue de 4.9 % para altura, 7.2 % para diámetro, 5.5 % para verticilos y 7.8 % para diámetros de copa.

Las mayores correlaciones entre variables se dieron entre altura-diámetro (0.57), altura y copa (0.62), diámetro-copa (0.72), y las menores correlaciones fueron entre altura-verticilos (0.39), diámetro-verticilos (0.29) y copa-verticilos (0.03). Concluyendo que solo existieron diferencias significativas entre clones para altura, diámetro y copa, siendo mayor la variación dentro de clones (Sivacioglu *et al.*, 2009).

En Aragón, Madrid se evaluaron 49 clones de *Pinus sylvestris* L. de la procedencia pirineo montano-húmedo a 10 años de su establecimiento. Reportándose alturas promedio de 2.31 m, diámetros de 28.11 cm sobre el injerto y número de verticilos aproximados de 5.56, concluyendo que los 49 clones del huerto semillero estudiado muestran una gran variación interclonal para todos los caracteres analizados y además intraclonal (dentro de clones que sería igual a entre rametos) en forma de la copa y crecimiento en altura, diámetro y verticilos (Notivol *et al.*, 1997).

Ve Havznasxs, (1986) en su estudio para la forma de copa en individuos de un huerto semillero asexual de *Pinus sylvestris* L. al noroeste de Lincoln, Nebraska, evaluó 41 clones de 10 años con un espaciamiento de 6 m entre rametos, los resultados arrojaron que en el 98% de los rametos sus copas tienen forma ovalada con diferencias significativas a nivel de bloque. Menciona que una de las causas principales para el desarrollo de la copa en estos huertos semilleros clónales pueden ser la influencia del clima donde se ubica el huerto, y al incremento del diámetro normal de los clones, así como de efectos genéticos.

Para la especie de *Pinus arizonica* Engelm. se analizó el crecimiento en 42 clones en el Ejido El Largo y Anexos, Madera, Chihuahua., en un lapso de 4 años que comprenden del 2009 al 2012, los individuos fueron plantados a un espaciamiento de 6 m entre rametos, la variable que evaluaron principalmente fue la altura total obteniendo promedios de 0.5 a 2.5 m, llegando a la conclusión de que el crecimiento de los clones en altura puede variar por la presencia de plagas y/o enfermedades en el tallo de los rametos (Rodríguez, 2013).

En *P. arizonica* para el huerto clonal establecido en el municipio de Guachochi en el Estado de Chihuahua, en el periodo 2007-2013 se evaluaron a 22 clones de 9 años de edad promedio. Se obtuvieron promedios de 2.20 m en altura y 8.96 cm de diámetro normal, diferenciando así los clones con mejor y menor desarrollo durante ese periodo, por lo cual se recomendó realizar pruebas de aplicación de técnicas de injertos con yemas o partes vegetativas más jóvenes, concluyendo que los individuos con las características mejor desarrolladas podrían ser más adelante propagados vegetativamente para obtener mejores resultados en lugar de utilizar material de los individuos menos desarrollados (Pérez *et al.*, 2014).

Hernández (2014), evaluó la altura y diámetro normal a la edad de 8 y 9 años de edad en 83 clones de *P. patula* en un huerto semillero asexual en el conjunto predial forestal, municipio de Aquixtla, Puebla. Observó que la variación del tamaño de los árboles del huerto fue notable, la variación de los diámetros fue de 9.53 a 19 cm y alturas de 5.8 y 9.9 m, siendo la variación en el tamaño de los clones fue significativo. Los resultados le permitieron identificar y considerar el implemento de prácticas de manejo como podas, fertilización y control de plagas, que permitan disminuir el grado de desbalance en el crecimiento.

Aparicio *et al.* (2007), evaluó la supervivencia de los clones de *P. patula* a los siete meses después de su establecimiento, obteniendo una supervivencia del 70 %, concluyendo que los clones con tallos menos vigorosos resisten menos las condiciones adversas del sitio, como son las heladas y recomendando incorporar cada año más rametos de aquellos clones que tengan menor presencia en la plantación, con la finalidad de aumentar la diversidad genética.

1.1.1 Modelos multinivel

En ocasiones podemos emplear herramientas que nos ayuden a resolver y dar explicaciones a ciertos eventos de la naturaleza. En este caso los modelos multinivel, también conocidos como modelos de coeficientes aleatorios (De Leeuw y Kreft, 1986; Longford, 1993 cit en Alarcón *et al.*, 2015), modelos lineales jerárquicos (Bryk y

Raudenbush, 1992 cit en Alarcón *et al.*, 2015) y modelos de componentes de la varianza (Longford, 1989 cit en Alarcón *et al.*, 2015), tienen su principal aplicación en investigaciones en las que se recogen datos estructurados jerárquicamente, como los correspondientes a la investigación en psicología de la educación, de la organización o clínica. En los últimos años, el uso de estas técnicas de análisis ha aumentado considerablemente, en parte, gracias a la aparición de programas informáticos específicos (Alarcón *et al.*, 2015).

Con este antecedente se genera la inquietud y se toma la iniciativa para generar un modelo multinivel que describa el crecimiento de clones siendo una aplicación a las ciencias naturales.

1.2 Descripción de la especie

P. patula var. *patula* (figura 1) se considera una de las especies nativas de pinos más importantes para México (Martínez, 1948; Perry, 1991; Farjon 1996). Se distribuye naturalmente sobre las formaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y la Sierra Madre de Oaxaca, en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Querétaro, Ciudad de México, Tlaxcala. En los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, se encuentran las poblaciones más grandes y con los mejores desarrollos. Existen plantaciones en Puebla, México, Michoacán y Ciudad de México (Vela, 1980).



Figura 1.- Ejemplar de árbol plus de *Pinus patula* en Ejido Ingenio del Rosario Municipio de Xico, Veracruz.

Aunque posee una distribución natural muy restringida por condiciones ambientales específicas para el crecimiento de la especie, el *P. patula* ha tenido mucho éxito en plantaciones industriales a través de los trópicos y subtrópicos, incluyendo el sur

de África, India, América del Sur y Australia, destacándose por su buena forma, crecimiento acelerado y gran tamaño (Perry, 1991).

Se desarrolla a una altitud que va de los 1,400 a 3,200 m. Con una precipitación de 700 a 1.200 mm. Temperaturas que van de 12 a 18 ° C. Prefiere suelos profundos, húmedos, fértiles, bien drenados, pH neutro o ácido, texturas franco-arenosas a franco-arcillosas. Se caracteriza por su capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ambientales (vientos y heladas), siendo utilizada principalmente en la producción de madera de aserrío y material celulósico, en la elaboración de cajas de empaque y para el acabado de interiores y exteriores, así como en la fabricación de papel (Dvorak *et al.*, 2000).

La madera es de buena calidad. Se recomienda para construcciones que requieran resistencia, para postes, durmientes, pilotes, armaduras y vigas. Se emplea para la elaboración de cajas de empaque y para acabados interiores y exteriores. También es muy apreciada en la fabricación de papel debido a la longitud de sus fibras, ampliamente utilizado para la producción de madera de aserrío y de material celulósico (Pérez y Olvera, 1981).

2. Justificación

Para el establecimiento de plantaciones comerciales y de restauración es necesario contar con un suministro de germoplasma suficiente y de calidad que genere plantas de crecimiento superior al de un bosque natural (Zobel y Talbert, 1988). Por ello y como respuesta a la demanda de semilla para los programas de reforestación, se han establecido HSA en varios países (Pardos y Gil, 1986). Debido a las ventajas de ellos HSA muchos de los programas de mejora genética se han centrado en la creación de estos huertos (Hopkins y Hutchert, 1994). Siendo una opción para hacer efectivas las ganancias genéticas resultado del esfuerzo combinado de los programas de selección y mejoramiento genético forestal (Granhof, 1991).

Particularmente los HSA's en el estado de Veracruz se plantean como una estrategia efectiva para el desarrollo de la actividad forestal, que genere un impacto positivo de programas de reforestación logrando el abastecimiento de semillas con mejor calidad. Sin embargo, en el estado no hay una producción de semillas de pino procedentes de huertos para su uso en programas de reforestación; siendo de suma importancia iniciar su desarrollo en la entidad con especies de alto valor productivo, como lo es *P. patula*, pino mexicano de los más utilizados para la reforestación e investigación forestal (Aparicio *et al.*, 2013).

Es una especie con mucho éxito en el establecimiento de plantaciones comerciales con material genéticamente mejorado (Sáenz *et al.*, 1994; Wright *et al.*, 1995; Valencia y Vargas, 2001). Su importancia económica en estos últimos años siendo de amplio interés por la implementación de programas de mejoramiento genético de esta especie, para una producción abundante y continua de semilla, por poseer un alto potencial productivo (Farjon, 2001); con altas tasas de crecimiento a corto plazo y excelente calidad de madera para fines comerciales (Dvorak *et al.*, 2000; Velázquez *et al.*, 2004).

Los trabajos sobre HSA se han centrado en la evaluación en el desarrollo de yemas o fenología, con otras especies del género *Pinus*. Algunos de los reportes para HSA rara vez toman en cuenta variables de crecimiento (altura, diámetro y diámetro de copa) de los rametos que conforman estas plantaciones y mucho menos evaluaciones durante la etapa de crecimiento en campo.

Por tal motivo es necesario dar seguimiento al huerto semillero clonal asexual del Ejido ingenio del Rosario, a través de la evaluación del establecimiento, crecimiento y desarrollo de los clones de *Pinus patula* plantados en la zona antes mencionada. Cabe mencionar que este trabajo es el primero en su tipo para la zona. Los resultados que se obtengan servirán para identificar los clones que mejor se están desarrollando en la zona de establecimiento.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el crecimiento de 31 clones de *Pinus patula* a los 21, 33, 39, 42, 45, 51 y 54 meses de edad del huerto semillero establecido en el ejido Ingenio del Rosario.

3.2 Objetivos particulares

- 1.- Estimar la variación del crecimiento en altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa de los clones de *Pinus patula*.
- 2.- Cuantificar el número de verticilos formados en los clones de *P. patula* durante el periodo de evaluación.
- 3.- Desarrollar un modelo estadístico que describa el comportamiento del crecimiento en altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa de los clones de *Pinus patula* del huerto semillero.

4. Pregunta de investigación

¿Existen diferencias entre los clones de *Pinus patula* con respecto a las variables de crecimiento y edades evaluadas?

5. Materiales y métodos

5.1 Sitio de estudio

El Ejido Ingenio del Rosario, se encuentra ubicado en la zona centro del estado de Veracruz, en el municipio de Xico, teniendo las coordenadas 19° 25' latitud norte y 97° 01' longitud oeste con una altitud promedio de 2,820 m. El municipio de Xico, Veracruz, limita al norte con Coatepec (Figura 2) (Hernández, 2013). El clima que caracteriza a la región es del tipo C (FM) según la clasificación de Köppen modificado por García (2004), corresponde al templado húmedo con lluvias abundantes en julio y principios de septiembre, con menor intensidad en febrero, y un porcentaje de lluvia invernal menor de

18 cm. Se ubica en una zona cuya temperatura media anual fluctúa entre los 5 a 12° C (Secretaría de Protección Civil, 2011).

Su precipitación pluvial media anual es de 1,750 mm. Lluvias abundantes en julio y principios de septiembre, con menor intensidad en febrero. La vegetación propia del ejido es bosque de pino, bosque de encino y bosque de encino-pino. Las especies prevalentes de pino son *Pinus patula*, *Pinus Pseudostrobus Lindl.* *P. ayacahuite* Ehren y *Abies religiosa* Kunth Schltl. et Cham. De las hojosas se encuentran especies de los géneros *Quercus* y *Alnus*. La especie que prevalece del género *Pinus* en el predio es el *P. patula*, y con un bajo porcentaje *P. ayacahuite* y *P. pseudostrubus* (Hernández, 2013).

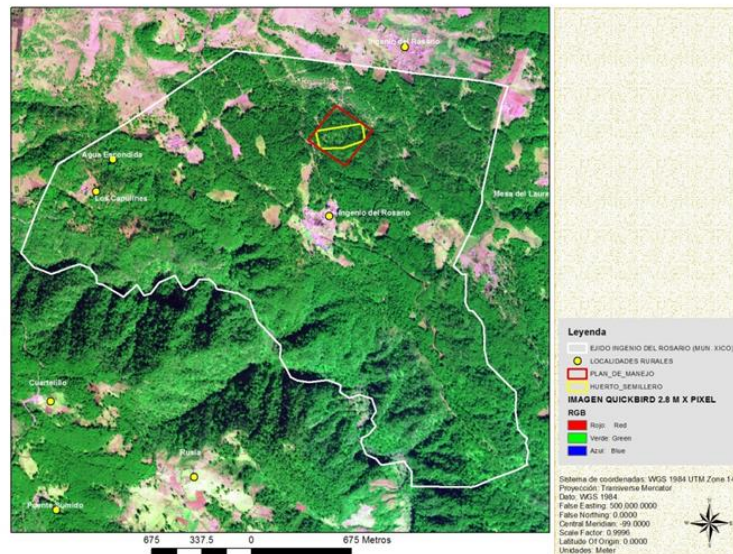


Figura 2. Localización del huerto semillero clonal de *P. patula* y del ejido Ingenio del Rosario Municipio de Xico, Veracruz

El HSA se localiza en el predio nombrado “El Tío Juan” que se encuentra en una zona de lomeríos de pendientes suaves, que van del 5 al 30%, con exposición variable, predominando la exposición Zenital y Noreste con las siguientes coordenadas geográficas: 97° 05′ 16.6″LO-19° 30′47.7″LN; 97° 05′ 08.7″LO-19° 30′48.9″LN; 97° 05′ 09.5″LO-19° 30′55.9″LN y 97° 05′ 17.6″LO-19° 30′54.7″LN. Se estableció en septiembre de 2012 en una superficie de 4.5 ha, conforme al diseño experimental de 18 bloques completos en un arreglo sistemático (Figura 3).

Para establecer el HSA, el terreno fue delimitado, se barbechó y se hicieron las cepas de 40 x 40 x 60 cm a una distancia entre ellas de 5 x 5 m, con una alineación en marco real y se colocó el cercado de protección. Los injertos se distribuyeron en función de un diseño sistemático (Hodge y White, 1993) con 18 bloques completos, de los cuales, 16 fueron cuadrados con líneas de 10 x 10 plantas y 2 bloques rectangulares con líneas de 20 x 5 plantas. Cada bloque está diseñado para 100 clones con 1 rameto por clon. Este diseño permite reducir la endogamia entre los rametos de un mismo clon, al quedar separados entre los rametos de diferentes clones. Para ocupar el área total del huerto, al distribuir los injertos bloque por bloque, inicialmente se marcaron las cepas a 10 m de distancia en cada línea, después se distribuyeron los injertos restantes a 5 m de los ya establecidos, siguiendo el orden del diseño sistemático. Al momento de plantar los injertos, se desenredó la raíz y se evitó la poda para no causar posibles condiciones de estrés que afectaran el crecimiento y supervivencia en campo (Aparicio *et al.*, 2013).

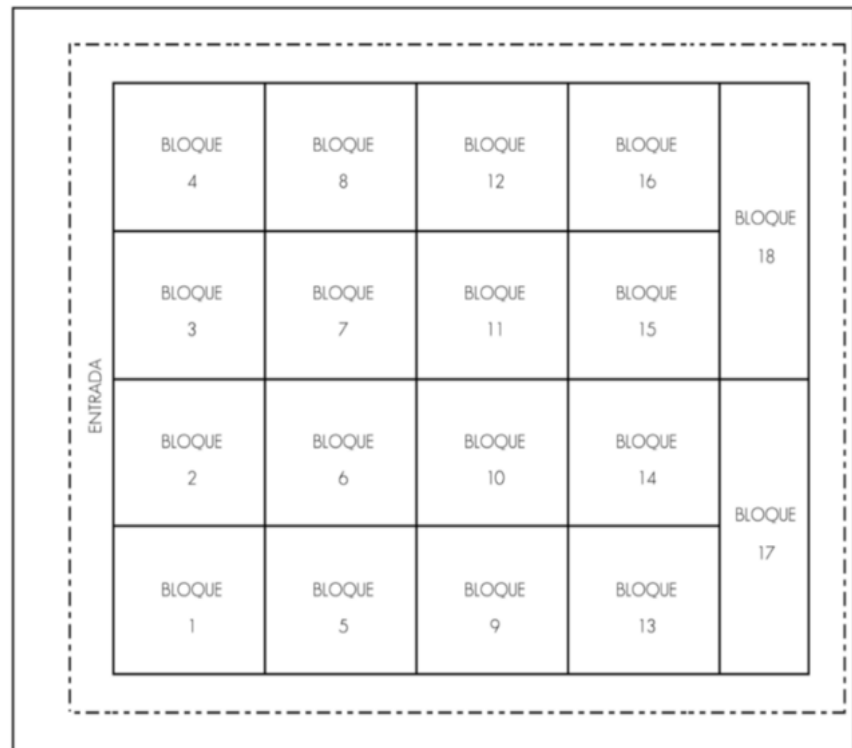


Figura 3. Diseño del huerto semillero asexual de *P. patula* en el ejido ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

5.2 Metodología

Se seleccionaron los 31 clones con una representatividad de 6 a 13 rametos dentro del huerto haciendo un total de 249 rametos a los cuales se les midió altura total, diámetro del tallo, número de verticilos y diámetro de la copa.

Las mediciones de altura se realizaron con un flexómetro, de la base del rameto a la yema terminal (Figura 4); el diámetro del tallo se midió por debajo de la unión del injerto a 5 cm del suelo con un vernier digital (Figura 4); para determinar el número de verticilos solo se contaron aquellos bien definidos; para diámetro de la copa se midió la distancia de las ramas de los costados de los rametos, se determinó el ancho máximo y mínimo de copa (cm) (Figura 4), con las dos mediciones se obtuvo el diámetro promedio de copa (Viveros *et al.*, 2007; Sivacioglu *et al.*, 2009). Esta variable tuvo una medición menos, debido a que en la primera evaluación no se consideró.

Las evaluaciones realizadas se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Edad y fecha de medición de los rametos por clon del huerto semillero de *Pinus patula*.

Edad (meses)	Fecha de medición	Variables evaluadas
21	Junio 2014	Altura, diámetro, núm. de verticilos
33	Junio 2015	Altura, diámetro, núm. de verticilos y diámetro de copa
39	Diciembre 2015	Altura, diámetro, núm. de verticilos y diámetro de copa
42	Marzo 2016	Altura, diámetro, núm. de verticilos, diámetro de copa
45	Junio 2016	Altura, diámetro, núm. de verticilos, diámetro de copa
51	Diciembre 2016	Altura, diámetro, núm. de verticilos, diámetro de copa
54	Marzo 2017	Altura, diámetro, núm. de verticilos, diámetro de copa

Con la finalidad de observar la influencia del suelo en el crecimiento de los rametos, se realizó una prospección de campo en todos los bloques del HSC, los puntos de perforación se situaron a un intervalo de 10 metros de distancia entre cada punto iniciando en el bloque 1 al 18. La perforación se realizó con una barrena para medir la profundidad del suelo (hasta topar con impedimento físico) y algunas características físicas del terreno como profundidad de la capa orgánica. Se realizaron en total 54 perforaciones con el uso de una barrena de muestreo de suelo en los 18 bloques del huerto. (Figura 4).



Figura 4. Toma de datos de altura total, diámetro del tallo, diámetro de copa, conteo de verticilos y prospección de suelo en el huerto semillero asexual de *Pinus patula*.

5.3 Análisis de datos

Con la información de campo se realizó una base de datos en Microsoft Office Excel. Para las variables de altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa, se realizaron estadísticas descriptivas y ANOVA de una vía, para identificar diferencias de crecimiento entre los clones. Para el análisis de varianza se utilizó el procedimiento GLM, con el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ij} = \mu + \beta_i + \kappa_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} es el valor del j -ésimo clon en el i -ésimo bloque, μ es la *media general* de la población, β_i es el efecto del i -ésimo bloque [$\mathcal{E}(\beta_i)=0$, $Var(\beta_i)=\sigma^2\beta$], κ_j es el efecto del j -ésimo clon [$\mathcal{E}(\kappa_j)=0$, $Var(\kappa_j)=\sigma^2\kappa$], ε_{ij} es el error aleatorio [$\mathcal{E}(\varepsilon_{ij})=0$, $Var(\varepsilon_{ij})=\sigma^2e$] con grado de confiabilidad el 95% y un α de 0.05.

Para determinar las relaciones entre las variables y edades evaluadas se realizaron correlaciones de Pearson con un grado de confiabilidad del 95% y un α de 0.05, utilizando el procedimiento CORR del software Statistical Analysis System (SAS Institute, 2004).

Para el número de verticilos se realizaron estadísticos descriptivos, gráficos exploratorios (dot plot). Para observar el incremento en número de verticilos con la edad en los clones con el software R (2017).

Se realizó un agrupamiento con los valores medios de cada variable para observar el comportamiento del crecimiento de los clones durante el periodo de medición, los gráficos se realizaron con el software R. Así mismo se realizó un clúster por el método de k-medias agrupando altura total, diámetro de copa y diámetro del tallo, en el software statistica V7.

Se hizo un análisis exploratorio del comportamiento de los componentes de la varianza, utilizando el procedimiento VARCOMP, método REML que se usa cuando existe desbalance en los datos (Johnson *et al.*, 1997) para las variables altura total, diámetro del tallo, diámetro de copa y número de verticilos con el software SAS.

Se creó un modelo estadístico para describir y comparar la altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa dentro de rametos, entre rametos dentro de clones y entre clones con respecto a las edades de evaluación. El modelo se ajustó con el software R siguiendo los pasos para obtener el modelo multinivel de Holmes *et al.* (2014).



Figura 5.- Clones del huerto semillero de *Pinus patula* del Ejido Ingenio del Rosario.

6. Resultados

Como se esperaba los estadísticos descriptivos mostraron que a mayor edad las variables observadas incrementan su valor, es decir, los clones incrementaron en altura, siendo esta la variable con mayores incrementos durante el periodo de medición. El diámetro del tallo, el número de verticilos y diámetro de la copa, se comportaron de forma similar, lo que indica un buen desarrollo en el crecimiento de los clones (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para las variables de crecimiento del huerto semillero asexual de *Pinus patula* en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

Edad (meses)	Variable ¹	Media	Mínimo	Máximo	C.V.
21	ALT (cm)	79.61 ± 1.19	38	148	23.62
	DIAM (mm)	16.75 ± 0.23	9.05	31.38	21.92
	NVERT	3.51 ± 0.07	1	4	35.16
33	ALT (cm)	115.24 ± 1.78	50	209	24.49
	DIAM (mm)	27.90 ± 0.48	18.59	53.42	27.35
	DCOP (cm)	62.53 ± 1.22	22.5	125	30.8
	VERT	5.18 ± 0.07	1	8	21.51
39	ALT (cm)	136.59 ± 2.4	54	286	27.86
	DIAM (mm)	33.27 ± 0.59	12	62.3	28.04
	DCOP (cm)	78.53 ± 1.51	24.5	143	30.43
	VERT	6.12 ± 0.08	3	10	20.67
42	ALT (cm)	141.57 ± 2.46	59	291	27.55
	DIAM (mm)	34.98 ± 0.60	12.52	64.2	27.23
	DCOP (cm)	85.03 ± 1.57	43.45	185.5	29.32
	VERT	6.9 ± 0.19	3	10	45.17
45	ALT (cm)	173.43 ± 3.06	62	334	27.93
	DIAM (mm)	48.99 ± 0.77	21.37	78.57	24.14
	DCOP (cm)	151.06 ± 2.48	41	110	26
	VERT	7.80 ± 0.10	4	12	20.31
51	ALT (cm)	203.15 ± 3.77	65	384	29.35
	DIAM (mm)	56.57 ± 0.89	24.46	91.07	24.95
	DCOP (cm)	112.83 ± 2.09	62	211.5	29.30
	VERT	8.17 ± 0.11	4	13	21.40
54	ALT (cm)	216.69 ± 3.78	69	395	27.20
	DIAM (mm)	61.41 ± 0.90	26	94.72	23
	DCOP (cm)	112.83 ± 2.09	37	207.5	26.92
	VERT	8.75 ± 0.11	5	13	19.65

ALT=altura (cm); DIAM=diámetro del tallo por debajo de la unión del injerto (mm); DCOP=cobertura de copa (cm); NVERT=número de verticilos bien definidos.

Análisis de varianza

El análisis de varianza indicó que para la altura total existen diferencias significativas entre clones en edades tempranas (21 y 33 meses) y a nivel de bloque en todas las edades. Respecto al diámetro del tallo se observaron diferencias significativas a nivel de clon en todas las edades evaluadas y a nivel de bloque solo para las edades de 33, 39, 42 y 45 meses. En el diámetro de la copa se observa que a nivel de clon existen diferencias significativas para todas las edades, a nivel de bloque solo a las edades de 39, 42, 45 y 51 meses (Cuadro 3). Con los resultados obtenidos, se puede decir en general, que la altura total es una característica que tiende a ser más afectada por las condiciones ambientales que genéticas. El diámetro del tallo y el diámetro de la copa son características que responden más a efectos genéticos, siendo aún más evidente el efecto sobre el diámetro de la copa de los clones.

Cuadro 3. Análisis de varianza para altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa del huerto semillero asexual de *Pinus patula* del ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

Variable	F.V.	G.L.	Edad (meses)						
			21 Pr > F	33 Pr > F	39 Pr > F	42 Pr > F	45 Pr > F	51 Pr > F	54 Pr > F
ALT	Bloque	17	0.001	0.0061	0.0004	0.0004	0.0015	0.0046	0.0022
	Clon	30	0.017	0.0549	0.374	0.1393	0.0821	0.0716	0.087
	Error	202							
DIAM	Bloque	17	0.06	0.003	0.0025	0.0096	0.0202	0.099	0.0589
	Clon	30	0.006	0.007	0.0018	0.0074	0.2118	0.0037	0.0276
	Error	202							
DCOP	Bloque	17	-	0.2298	<.0001	<.0001	0.0066	0.0087	0.4942
	Clon	30	-	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
	Error	202	-						

ALT= altura, DIAM= diámetro, DCOP= cobertura de copa, F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad.

Todas las correlaciones entre variables fueron significativas ($P < 0.0001$) excepto para las variables DCOP-VERT (0.06) a la edad 42 meses. Las correlaciones fluctuaron de relativamente bajas a altas ($0.20 \leq r \leq 0.85$) (Cuadro 4). Las mayores correlaciones ($r \geq 0.72$) se dieron entre la ALT-DIAM, ALT-DCOP y DIAM-DCOP a todas las edades y ALT-

VERT a las edades de 51 y 54 meses. Correlaciones moderadas ($0.60 \leq r < 0.70$) se dieron a la edad de 39 y 45 meses para ALT-VER y a las edades de 39 y 54 meses para DIAM-VERT. Las correlaciones más bajas ($r < 0.60$) se dieron en entre DCOP-VERT ($0.06 \leq r \leq 0.57$) en todas las edades, así como entre ALT-VERT y DIAM-VERT a las edades de 21, 33 y 42 meses. Siendo el crecimiento de los clones de manera proporcional, ya que a mayor edad, mayor diámetro y tamaño de copa.

Cuadro 4. Correlaciones de Pearson entre variables a distintas edades del huerto semillero asexual de *Pinus patula* en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

Edad (meses)	Variables	DIAM	DCOP	NVERT
21	ALT	0.72	-	0.31
	DIAM	1	-	0.26
	DCOP	-	-	-
33	ALT	0.81	0.74	0.56
	DIAM	1	0.77	0.56
	DCOP	-	1	0.49
39	ALT	0.84	0.76	0.68
	DIAM	1	0.80	0.66
	DCOP	-	1	0.57
42	ALT	0.83	0.76	0.20
	DIAM	1	0.78	0.21
	DCOP	-	1	0.06
45	ALT	0.82	0.73	0.68
	DIAM	1	0.73	0.59
	DCOP	-	1	0.52
51	ALT	0.85	0.79	0.75
	DIAM	1	0.78	0.64
	DCOP	-	1	0.56
54	ALT	0.84	0.72	0.75
	DIAM	1	0.73	0.63
	DCOP	-	1	0.51

ALT= altura, DIAM= diámetro, NVERT=Núm. de verticilios, DCOP= diámetro de copa.

Agrupación de clones

El clúster muestra que cortando a una distancia de 200 se encuentra un agrupamiento de 3 grupos, que comparten características similares en el desarrollo de las variables evaluadas (altura total, diámetro del tallo y diámetro de la copa, número de verticilos). Basado en ello se obtuvo medias por variable y por clon para agrupar y establecer los grupos (an1).

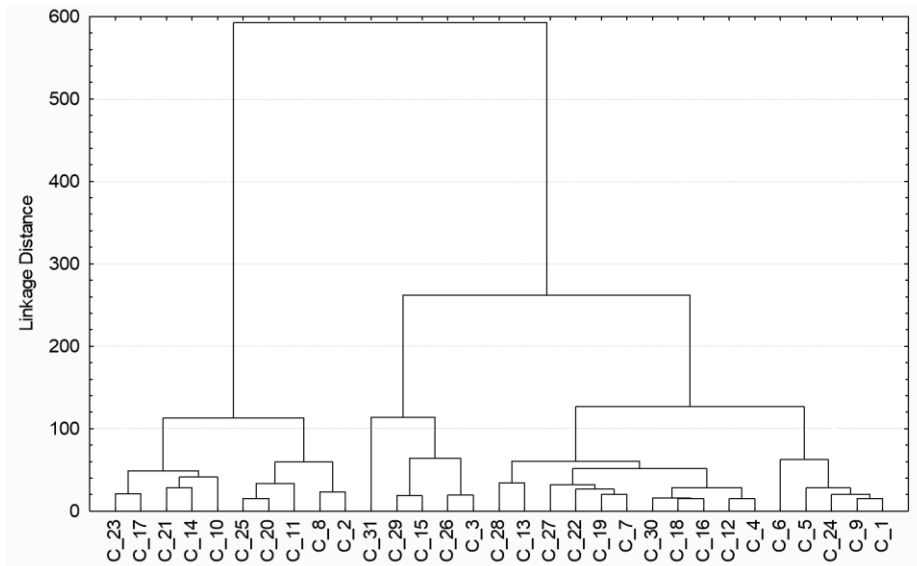


Figura 6. Clúster de K-medias de los 31 clones evaluados en el huerto semillero de *Pinus patula* en ejido Ingenio del Rosario, Xico Veracruz.

caso	clon	caso	clon	caso	clon
C_23	78	C_31	101	C_28	84
C_17	62	C_29	85	C_13	53
C_21	70	C_15	57	C_27	83
C_14	54	C_26	82	C_22	76
C_10	45	C_3	23	C_19	68
C_25	81			C_7	40
C_20	69			C_30	88
C_11	46			C_16	61
C_8	41			C_12	52
C_2	20			C_4	31
				C_6	35
				C_5	32
				C_24	79
				C_9	43
				C_1	19
				C_1	19

Considerando la altura total promedio por clon, los clones formaron tres grupos: los de mayor crecimiento en altura (Figura 6a) que van de alturas promedio de 2.20 m a 2.60 m, los de crecimiento medio (Figura 6b) y los de menor crecimiento (6c) con alturas promedio de 1.40 m a 2.05 m. Observando el comportamiento del crecimiento de esta variable es una tendencia lineal.

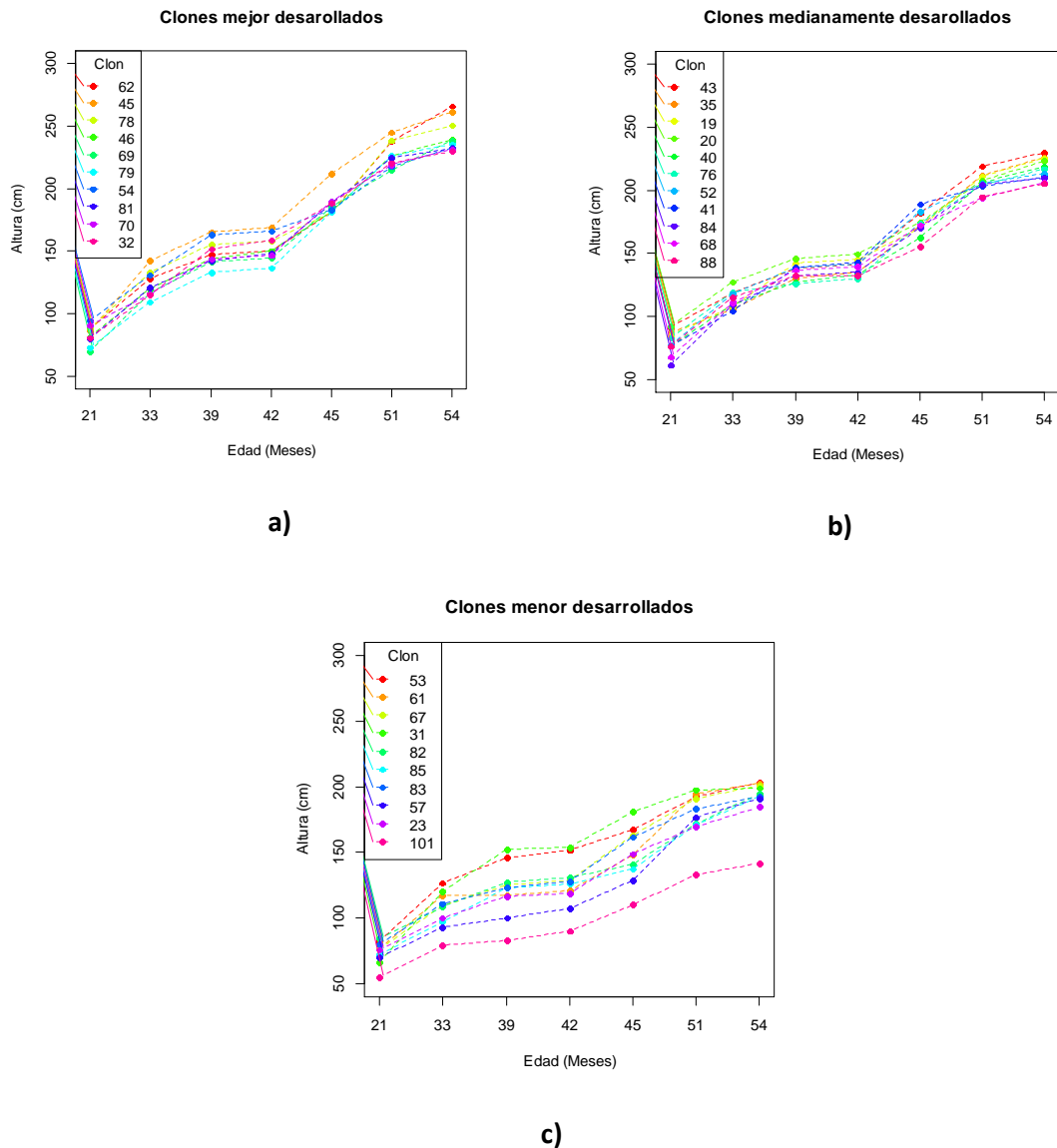


Figura 7. Clones con a) mayor, b) intermedio y c) menor desarrollo en altura total del huerto semillero de *Pinus patula* en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

Para el

Crecimiento del diámetro de tallo los clones con el mayor crecimiento (Figura 7a) de 60 a 75 mm, con crecimiento medio de 58 mm a 68 mm (Figura 7b), y los de menor diámetro de 42 mm a 58 mm (Figura 7c) teniendo un comportamiento similar al de la variable altura, con un crecimiento lineal.

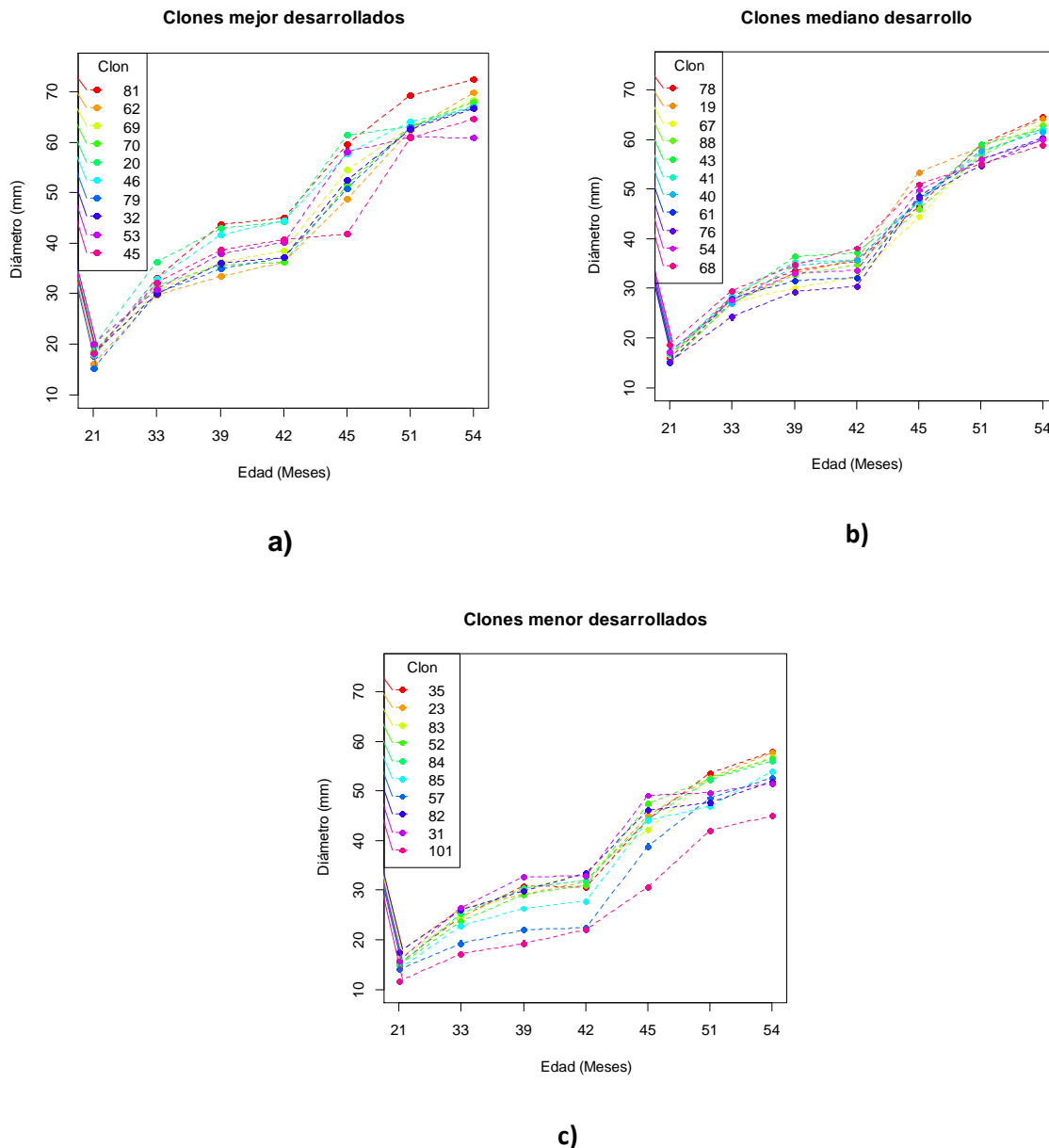


Figura 8. Clones con a) mayor, b) intermedio y c) menor desarrollo en diámetro del tallo del huerto semillero de *Pinus patula*.

Para el diámetro de copa los clones con mejor crecimiento van de 130 cm a 150 cm (Figura 8a). Los clones con crecimiento medio de 100 cm a 120 cm (Figura 8b), y los clones con el menor desarrollo de 80 cm a 100 cm Figura 8c).

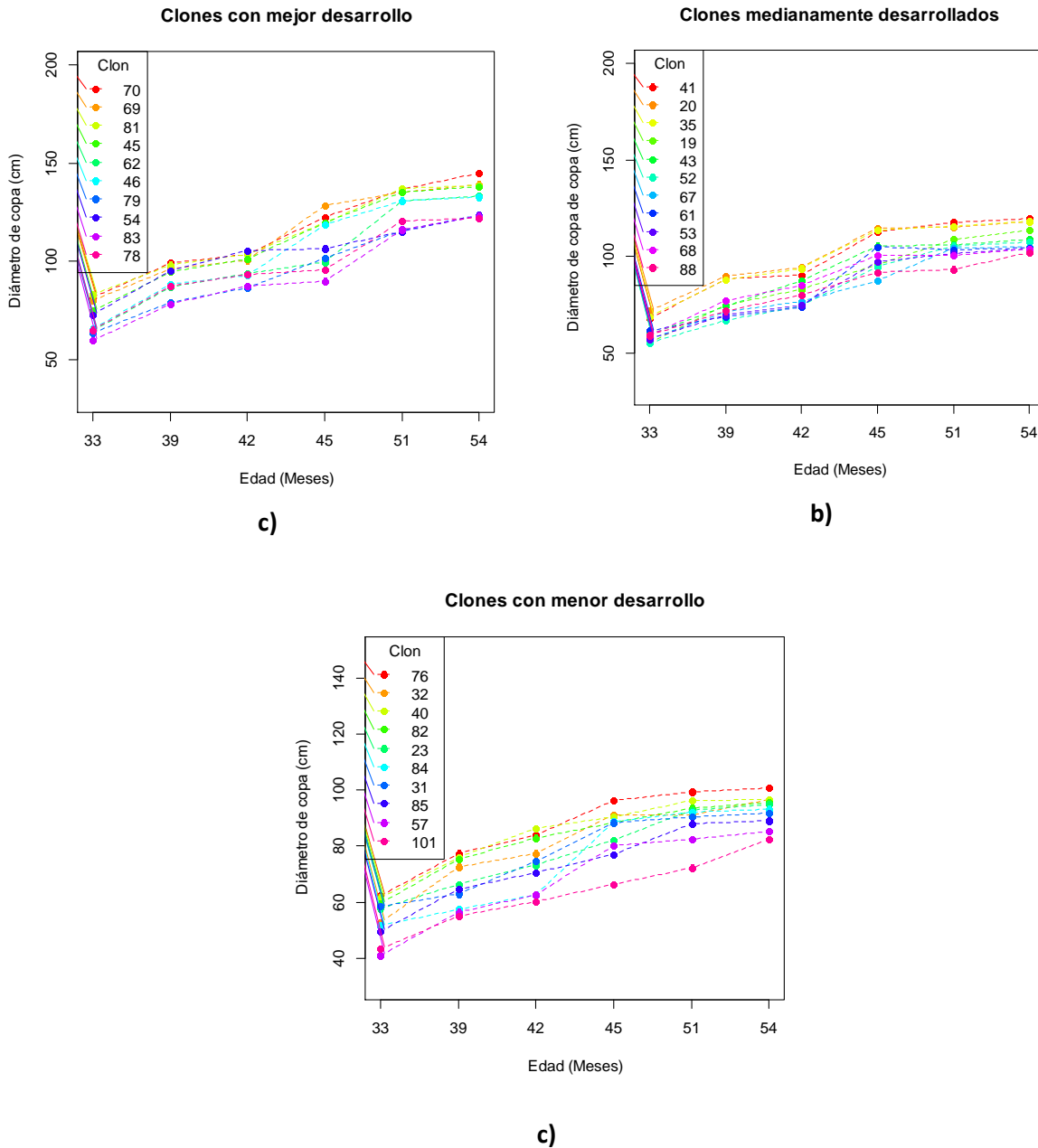
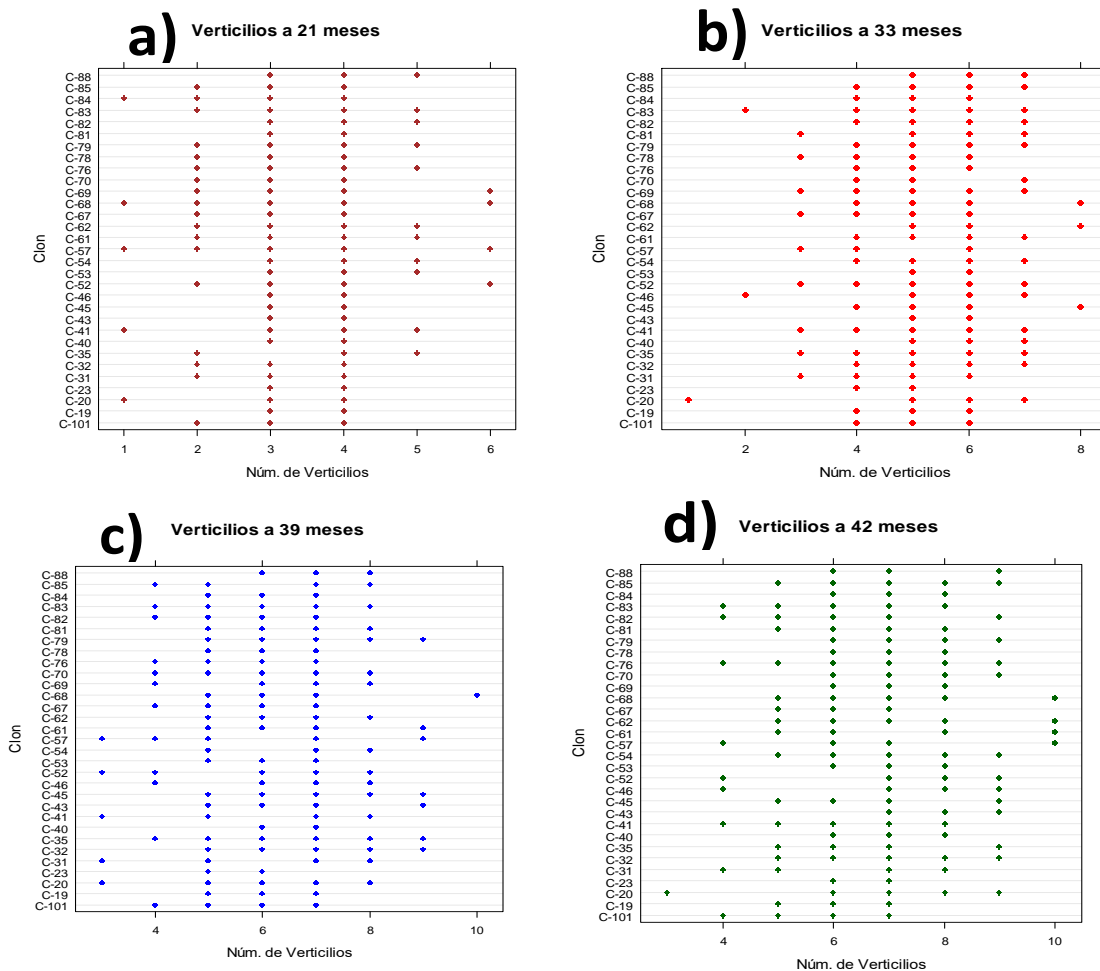


Figura 9. Clones con a) mayor, b) intermedio y c) menor desarrollo en diámetro de copa del huerto semillero de *Pinus patula*

De éstos los 10 clones mejores fueron los siguientes: 62, 81, 70, 45, 69, 46, 79, 78, 54 y 32 siendo los clones que concuerdan con los mayores crecimientos en altura, diámetro del tallo y diámetro de la copa.

Número de verticilos

Al inicio de las evaluaciones (21 meses de edad) los clones presentaron en promedio tres verticilos desarrollados y al final de las evaluaciones (54 meses de edad) llegaron a formar hasta nueve. El número de verticilos formados por los rametos que integran cada uno de los clones es variable, por ejemplo, los rametos del clon 88 a la edad de 21 meses presentaron de tres a cinco verticilos y en la edad de 33 meses se registró un incremento de cinco a siete verticilos. Al final de cada línea punteada en los gráficos se observa el número máximo de verticilos formados en los clones por edad, desde los 21 meses hasta los 54 meses (Figura 9).



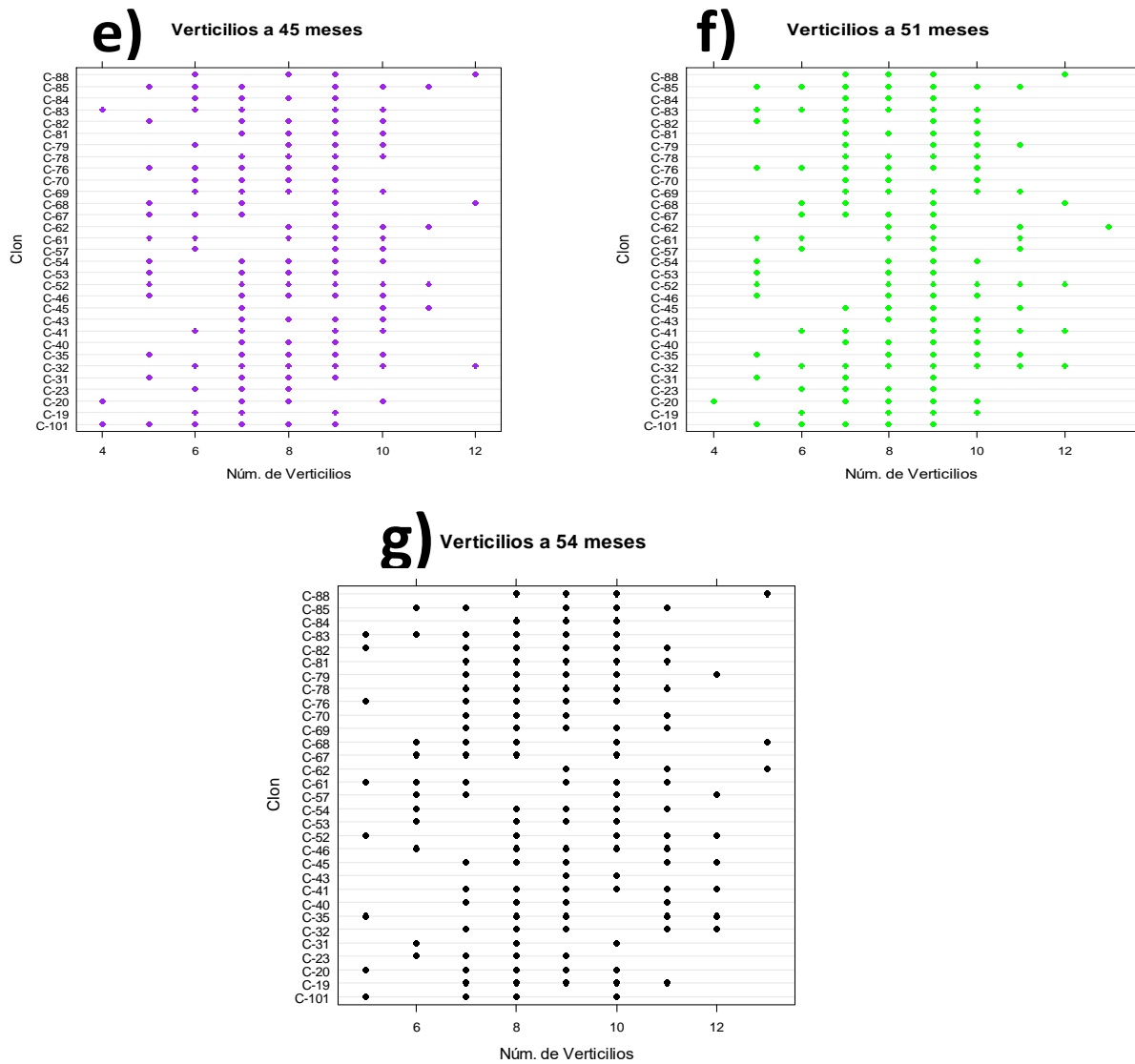


Figura 9. Número de verticilos formados a los a) 21, b) 33, c) 39, d) 42, e) 45, f) 51 y g) 54 meses de edad de los clones del huerto semillero de *Pinus patula* en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

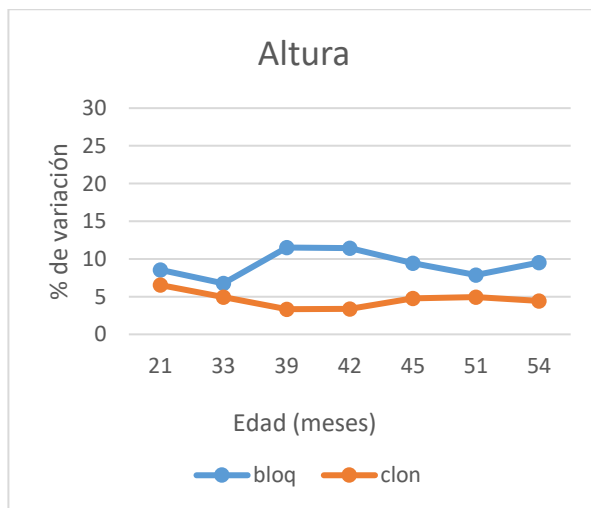
Tomando en cuenta el número de verticilos producidos por los rametos de cada clon desde los 21 meses de edad hasta la edad de 54 meses, se puede inferir que la cantidad de verticilos que puede formar un rameto de un clon es muy variable. Ya que, de acuerdo a lo registrado, en un periodo de un año (de los 21 a 33 meses) en promedio se registraron cinco verticilos; un año después, a los 45 meses, en promedio se

registraron ocho verticilos y nueve meses después, es decir, a los 54 meses se registraron nueve verticilios.

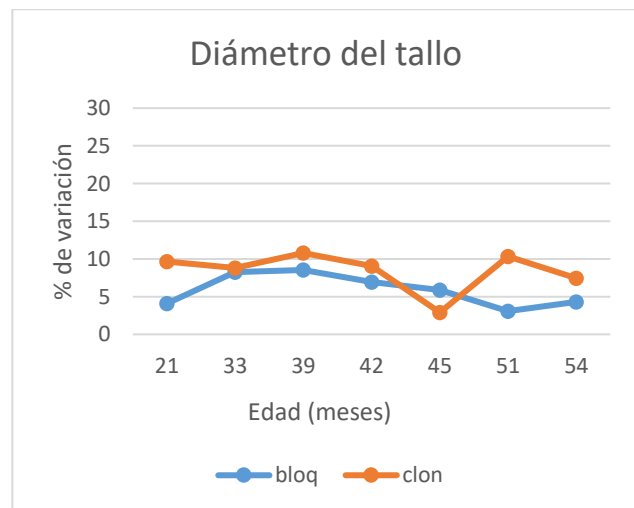
Por lo tanto, la formación de verticilos por los rametos es una característica que no muestra una sincronía estable con el tiempo, ni con el ritmo de crecimiento en altura y diámetro de los rametos, es decir, los rametos independientemente del clon al que pertenezcan varían en su capacidad de formar verticilios, y en el presente estudio en promedio se formaron de uno a tres verticilos durante un año, corroborando ello con las correlaciones de Pearson que toda variable relacionada con verticilos es baja ($r < 0.50$).

Componentes de varianza

En el análisis de las cuatro variables evaluadas la mayor cantidad de variación aportada a la varianza total fue dada por el error experimental ($\sigma^2_E \geq 70.07\%$). Para la altura, la aportación mayor por parte de los clones se dio a la edad de 21 meses (6%) y la de los bloques fue ligeramente mayor al 10% a la edad de 39 y 42 meses (Figura 10a). En el caso del diámetro la mayor aportación de varianza por los clones se dio a la edad de 39 y 51 meses (un 10%) (Figura 10 b). La mayor aportación de los clones para número de verticilos fue a la edad de 54 meses, con un 8% (Figura 10c). A esta misma edad se dio la mayor aportación de los clones (27 %), el caso del diámetro de copa (Figura 10d).



a)



b)

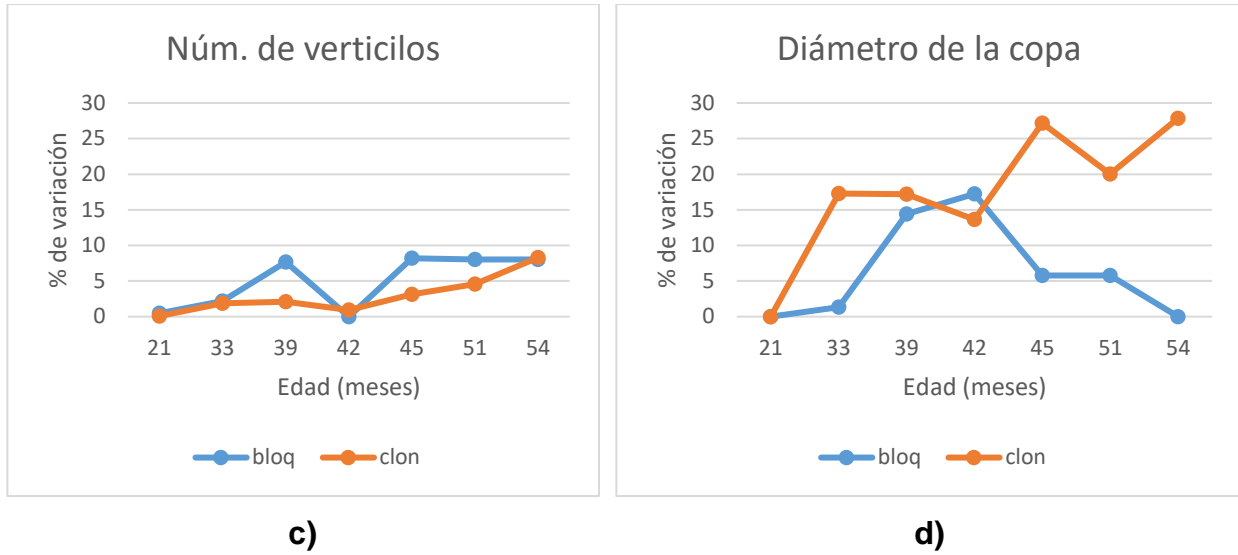


Figura 10. Componentes de varianza para a) altura total, b) diámetro del tallo, c) Núm. de verticilos y d) diámetro de copa, de los clones del huerto semillero de *P. patula* en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

Un nivel de aportación de varianza menor al 10% por el factor clon para el caso de altura, diámetro y número de verticilos, nos indica que son variables afectas por cuestiones ambientales más que genéticas, a diferencia del diámetro de copa que tiene una mayor aportación de varianza a nivel de clon que a nivel de bloque indicando que es una variable mayormente afecta por cuestiones genéticas que ambientales.

Modelo multinivel para curvas de crecimiento

El modelo multinivel generado analiza las mediciones (datos) individuales de cada variable respuesta (altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa) de los rametos como una función del clon al que pertenecen.

El modelo tuvo tres niveles. En el nivel uno se describió la variación existente dentro de rametos con respecto al tiempo de evaluación, generando la curva de crecimiento en la variable respuesta a través del tiempo y es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \beta_{0jk} + \beta_{1jk}t_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} es la variable respuesta en el rameto j dentro del clón i en el tiempo t_{ijk} y

$$\varepsilon_{ijk} \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2).$$

En el nivel dos se describió la variación entre rametos dentro de clones y se estableció que los interceptos β_{0jk} y las pendientes β_{1jk} son aleatorios, quedando de la siguiente forma:

$$\beta_{0jk} = \gamma_{00k} + u_{0jk}$$

$$\beta_{1jk} = \gamma_{10k} + u_{1jk}$$

con

$$\begin{pmatrix} u_{0jk} \\ u_{1jk} \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \Sigma_u = \begin{pmatrix} \tau_{00}^2 & \tau_{01} \\ \tau_{01} & \tau_{11}^2 \end{pmatrix} \right).$$

Finalmente, en el nivel tres se describió la variación entre clones, el agrupamiento de los rametos dentro de clones postulando que los interceptos γ_{00k} y las pendientes γ_{10k} son aleatorios

$$\gamma_{00k} = \delta_{000} + v_{00k}$$

$$\gamma_{10k} = \delta_{100} + v_{10k}$$

con

$$\begin{pmatrix} v_{00k} \\ v_{10k} \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \Sigma_v = \begin{pmatrix} \gamma_{00}^2 & \gamma_{01} \\ \gamma_{01} & \gamma_{11}^2 \end{pmatrix} \right)$$

Quedando de forma general de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \delta_{000} + \gamma_{10k} + \mu_{0jk} + (\delta_{000} + \gamma_{10k} + \mu_{ijk}) t_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Con este modelo se logró describir gráficamente el crecimiento de los rametos en el huerto semillero asexual de *Pinus patula* con respecto al tiempo en que fueron evaluados. El cual comprende la variación que puede haber dentro y entre los rametos, dentro y entre los clones con relación a los tiempos en que fueron evaluados, resultando diferencias significativas en estos tres niveles con un $P < 0.000001$.

Como resultado, se generaron gráficos que muestran una recta a las diferentes edades que fueron ajustados por el programa de análisis por las edades de 21, 33, 39, 42, 45, 51 y 54 meses, los cuales se muestran en las Figs. 11, 12 y 13 como ejemplo para cada variable. Cada figura se compone de los gráficos que corresponde a un rameto individual del total de los clones analizados y en donde se muestra la recta que indica el ajuste al modelo, observando que es un crecimiento lineal en altura total, diámetro del tallo y diámetro de copa, tanto dentro como entre los rametos.

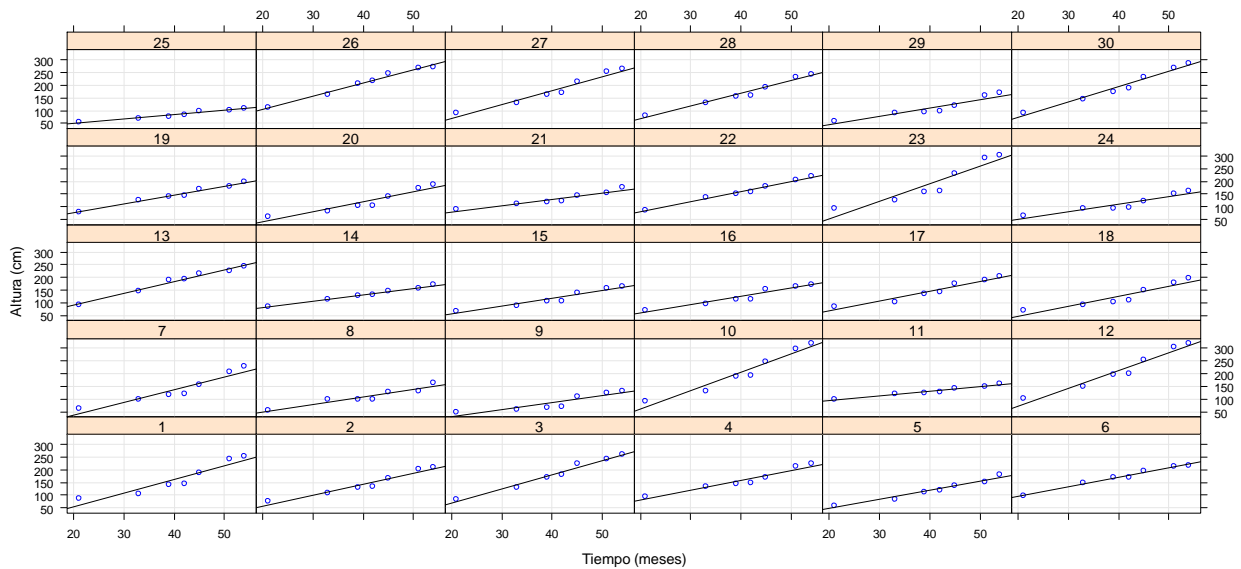


Figura 11. Curvas de crecimiento de altura total por rametos del huerto semillero asexual de *Pinus patula* en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

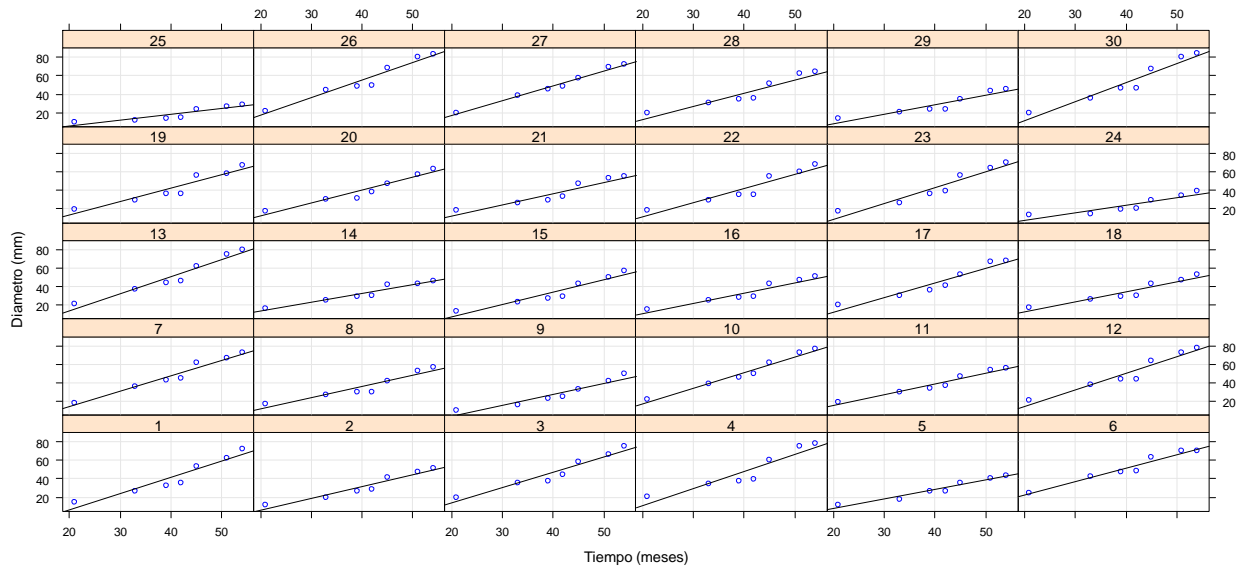


Figura 12. Curvas de crecimiento para diámetro del tallo por rametos del huerto semillero asexual de *Pinus patula* en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

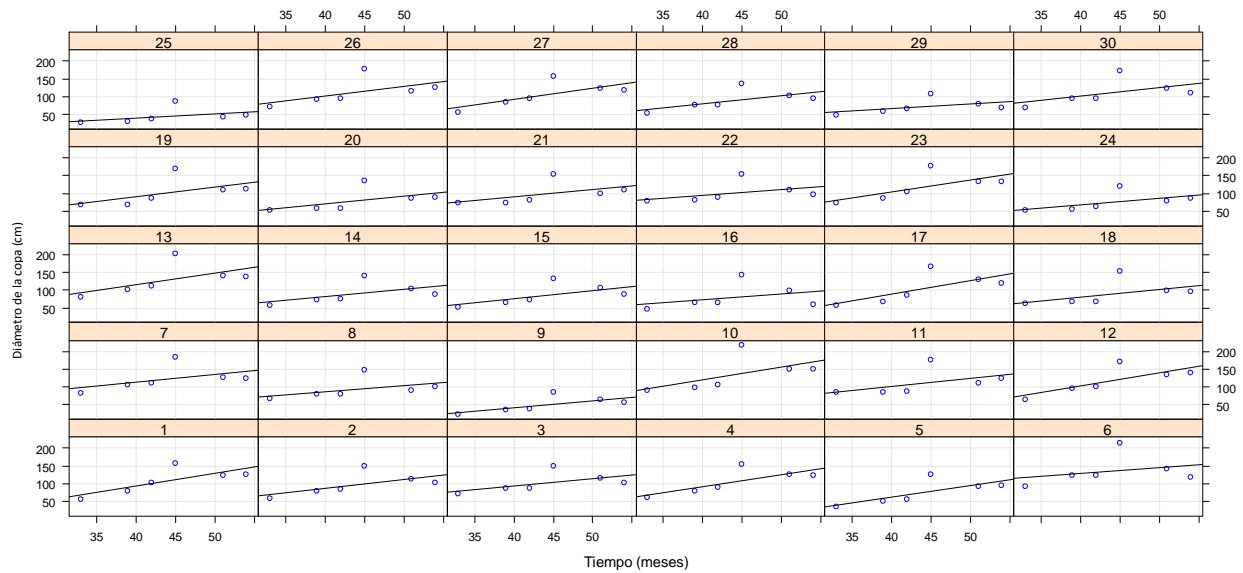


Figura 13. Curvas de crecimiento para diámetro de copa por rametos del huerto semillero asexual de *Pinus patula* en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

Prospección de suelo en el huerto semillero asexual

En los bloques 1, 2, 4, 8, 11, 12, 14, 15, 16, 17 y 18 la profundidad de la capa orgánica del suelo varió de 20 a 30 cm, encontrándose restos de raíces y grava volcánica entre los 30 y 50 cm de profundidad y a los 60 cm de profundidad presencia de roca como impedimento físico principal. Además, se observa un afloramiento de roca sobre la superficie de estos bloques por efecto de erosión de suelo provocado por corrientes de agua. En los bloques 3, 5, y 13 se encontró una capa orgánica de hasta 40 cm y a una profundidad cercana a los 80 cm, encontrándose roca como barrera física. En los bloques 6, 7, 9 y 10 la capa orgánica en promedio tiene una profundidad de 60 cm.

Se observó un afloramiento de roca, en los bloques 4, 7, 11 y 15, creando un canal de escurrimiento que podría estar generando el banco de acumulación de materia orgánica en bloques inferiores. En algunos bloques como es el caso del 9, 14, 15 y 18, se encuentra una profundidad de capa orgánica de 95 cm, siendo este un banco de acumulación de materia orgánica y conteniendo mayor humedad en el sitio presentando estancamiento temporal como consecuencia del suceso anterior.

En el bloque 6 se encontró roca a los 90 cm de profundidad con una capa orgánica de 50 cm, por lado contrario en el bloque 7, se encontró roca a los 50 cm de profundidad, con una capa orgánica de 40 cm.

En el bloque 9, 10 y 17 no se encontró impedimento físico a 1.40 m de profundidad, siendo a los 75 cm de capa orgánica, en caso del bloque 9 se encontró carbón a 1 m de profundidad, así como graba a los 90 cm en los bloques 9 y 17. Cabe destacar que en estos bloques se encuentran los clones con mayor crecimiento.

7. Discusión

Son pocos los antecedentes para este tipo de trabajos y pocos que contemplen las cuatro variables de estudio. Solo se puede comparar con algunos realizados en el género *Pinus* en los cuales se consideró alguna de las variables que se evaluaron en el presente trabajo. Por ejemplo, Rodríguez (2013), midió la altura total de 42 clones de cuatro años

de edad con un espaciamiento de 6 x 6 m en un huerto semillero de *P. arizonica* establecido en el Ejido El Largo y Anexos, Madera, Chihuahua. En el cual, la altura de los clones varió de 0.5 a 2.5 m, concluyendo que el crecimiento en altura fue variable entre los clones debido a la presencia de una plaga (*Dendroctonus rizophagus* Thomas & Bright) y a enfermedades, no a causas genéticas o ambientales. La altura total de los clones de *P. patula* en el presente estudio son superiores (3.95 m) a las reportadas para *P. arizonica*, estas diferencias se pueden atribuir a la edad de evaluación de los clones entre estudios (cuatro años en *P. arizonica* y cuatro años seis meses en *P. patula*), y las diferencias en el crecimiento entre especies, *P. patula* es una especie de más rápido crecimiento.

En otro estudio de *P. arizonica* en Guachochi, Chihuahua, Pérez *et al.* (2014) obtuvieron alturas promedio de 2.20 m y diámetros de 8.96 cm en clones de ocho años de edad. Tomando como referencia lo anterior, se puede observar que los resultados también son inferiores a los obtenidos en el presente estudio con edad de los clones de *P. patula* fue menor. Las diferencias en el crecimiento entre especies pudieran estar causando estas diferencias.

Notivo *et al.* (1997) en clones de *P. sylvestris* establecidos en vivero, obtuvo alturas promedio de 2.3 m, diámetros de 28.11 cm y un número de verticilos de seis a una edad de 10 años; reportaron diferencias significativas para altura a nivel de clon (variación interclonal). Tomando en cuenta las variables que se midieron se observa que el valor de las altura en *P. sylvestris* y *P. patula* (en la presente investigación) fue muy cercano, a pesar de que *P. sylvestris* fue evaluado en una edad más avanzada y, el diámetro y número de verticilos fueron inferiores a los obtenidos en *P. patula*, aun teniendo el mismo espaciamiento entre rametos de 5 x 5 m, Estas diferencias pueden deberse a que a que el diámetro que midieron fue por encima del injerto a diferencia de este estudio, el cual se midió el diámetro bajo la zona del injerto o a diferencias entre especies en el crecimiento del diámetro. También puede deberse que *P. sylvestris* puede presentar varios períodos de crecimiento en el transcurso del año como lo menciona García *et al.* (1999).

En otro estudio realizado por Sivacioglu *et al.* (2009) el huerto semillero clonal Tekçam de *P. sylvestris*, ubicado en Taköprü, Kastamonu, Turquía. Realizaron evaluaciones de la altura, diámetro, número de verticilos y diámetro de copa a los 13, 14 y 15 años de edad. Encontraron diferencias significativas entre los clones para la altura, diámetro y copa. La altura promedio fue de 4.80 m, diámetro promedio de 13.45 cm, número promedio de verticilos de 42 y diámetro promedio de copa de 3.32 m. Estos resultados son superiores a los obtenidos en el estudio de *P. patula*. Se considera que la diferencia de edad es la principal causa de diferencia en los resultados obtenidos en los trabajos, debido a la mayor edad de los clones de *P. sylvestris*. A su vez Sivacioglu *et al.* (2009) reportan que los clones aportaron un 4.9% a la varianza total para altura, 7.2 % para diámetro, 5.5% para verticilos y 7.8% para diámetro de copa, considerando las máximas aportaciones obtenidas en *P. patula* (en el presente estudio) se observa que los porcentajes reportados para *P. sylvestris* fueron ligeramente inferiores en la altura con una diferencia del 1%, diámetro con 3% y número de verticilos con 2%; mientras que 20% para el diámetro de copa siendo muy inferior con una diferencia de casi el 20%. Estas diferencias se pueden atribuir principalmente a la diferencia de edades, así como agentes ambientales y o genéticos que pudieran estar afectando la variación dentro y ente los clones de las diferentes especies. Al igual que en la presente investigación, Sivacioglu, *et al.* (2009) destacan que en el caso de la variación a nivel de clon para la altura puede obedecer más a efectos ambientales que a genéticos.

Estos mismos autores reportan que las correlaciones mayores se presentaron entre altura-diámetro ($r = 0.57$), altura y copa ($r = 0.62$), diámetro-copa ($r = 0.72$), y las correlaciones menores se dieron entre altura-verticilos ($r = 0.39$), diámetro-verticilos ($r = 0.29$) y copa-verticilos ($r = 0.03$). Comparado con las correlaciones obtenidas para esas variables en el presente estudio, las correlaciones resultaron más altas en *P. patula*.

Por su parte Hernández (2014) en un huerto semillero asexual de *Pinus patula* a 2800 msnm obtuvo alturas de 5.8 a 9.9 m y diámetros de 9.53 a 19 cm, a 9 años de edad. Las alturas fueron superiores y los diámetros iguales a los obtenidos en el presente

estudio, lo que se atribuye a las diferencias en edad de los huertos semilleros, así como a las características particulares de los sitios de establecimiento, por ejemplo, la altitud es inferior (2860 msnm este estudio).

Ve Havznasxs (1986), analizó la forma de copa en un huerto semillero clonal de *P. sylvestris* y menciona que la causa con mayor influencia en el desarrollo de la copa y el incremento en diámetro en estos huertos semilleros clonales es el clima donde se ubican. Reforzando más esta idea los resultados obtenidos en el presente estudio para *P. patula* en las correlaciones DIAM-CCOP (0.74) siendo una correlación significativa ($P < 0.0001$), lo anterior indica que los clones del huerto semillero del ejido Ingenio del Rosario podrían estar desarrollándose de esa forma respondiendo al ambiente en el sitio o bien a las características del árbol del cual se tomó la yema terminal para el clon, resaltando lo mencionado por Pérez *et al.* (2014) quien menciona que el desarrollo de los rametos del huerto semillero clonal respecto a las características fenotípicas resultan de interés ya que en ello se puede observar la dominancia genética, y puede ayudar a realizar una selección intensiva para la producción de nuevos individuos

Tomando en cuenta las diferencias entre bloques encontradas, se pueden explicar por la variación de las características físicas del suelo, ya que se encontró impedimentos físicos (afloramiento de roca) a profundidades pequeñas (16 cm), en algunos bloques, lo cual puede afectar el crecimiento de la raíz de los rametos y por ende el crecimiento del individuo. Esto concuerda con lo que menciona Schlatter (1987) en su estudio con *Pinus radiata* D. Don en el cual demuestra que el crecimiento de la especie está en gran parte influido por la estructura y las propiedades físicas del suelo a profundidades pequeñas.

El modelo multinivel aplicado no ha sido utilizado para describir curvas de crecimiento en plantas, ni empleado en ecología forestal, siendo solo utilizado para psicopedagogía y pedagogía para la evaluación del rendimiento de los modelos educativos empleados en diferentes niveles de educación en alumnos de diferentes grados como lo menciona Alarcón *et al.*, (2015). Siendo este trabajo quien presente una ecuación del modelo

multinivel obtenido para describir el comportamiento del crecimiento de los clones de *P. patula* del huerto semillero asexual de ejido ingenio del Rosario, Xico Veracruz.

8. Conclusiones

- El diámetro del tallo y diámetro de la copa son las variables con un mayor efecto genético que ambiental y de las cuales sobresale el diámetro de la copa.
- La altura total es mayormente afectada por condiciones ambientales, principalmente por las características del suelo en las que se estableció el huerto.
- EL número de verticilos en *P. patula* es una variable independiente del crecimiento en altura total, diámetro del tallo y diámetro de la copa de los clones, ya que las correlaciones todas fueron bajas.
- Los clones con mejor desarrollo fueron los clones 45, 46, 62, 69, 70, 79 y 81. Los clones con menor desarrollo fueron los clones 23, 31, 57, 82, 85 y 101.
- Los clones con mayor número de verticilos desarrollados fueron el 88, 68 y 82. Los de menor número de verticilos fueron el 20, 31, 43, 53, 83, 84 y 101.
- Todas las correlaciones entre las variables evaluadas fueron significativas. Las correlaciones más altas se dieron entre ALT-DIAM, ALT-CCOP y DIAM-CCOP.
- Las correlaciones más bajas se dieron entre la altura, diámetro y copa con verticilos.
- Las diferencias significativas entre bloques podrían deberse a las propiedades físicas del suelo, principalmente por los impedimentos físicos que se encuentran en el suelo en cada uno de los bloques.

- El modelo obtenido para este experimento fue el de mejor ajuste para describir el comportamiento del crecimiento de los clones del huerto semillero.
- El modelo multinivel obtenido en clones de *Pinus patula* se puede emplear para observar diferencias a nivel de rametos dentro clones y entre clones, considerando el tiempo de evaluación.
- Se pudo obtener un modelo que se ajusta a los diferentes niveles considerados en el presente trabajo, el cual arrojó evidencia de las diferencias entre y dentro de grupos (rametos dentro de clones y clones a través del tiempo).
- Es recomendable continuar con el seguimiento del huerto, con estudios complementarios pues solo así se podrá determinar la viabilidad que presentan los clones que lo conforman para su propagación más adelante.

9. Referencias

- Abarca y Herzing. 1998. Manual para el manejo y la conservación de los humedales en México: Textos adicionales. Citado el 18 de junio del 2016, Disponible en: <http://cetrade.org/v2/book/export/html/1369>.
- Alba-Landa J., Mendizábal-Hernández, Lilia del C., Marque-Ramírez, J. 2008. El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. Foresta Veracruzana, Vol.10 (1) Pp. 25-29.
- Alarcón, R., Blanca, M. J., Arnau, J., Bono, R. 2015. Modelado jerárquico por pasos: Análisis multinivel del estrés cotidiano en adolescentes. Revista Mexicana de Psicología, 32 (2), 124-133.
- Aparicio Rentería A., Viveros-Viveros H. y Rebolledo-Camacho V. 2013. Clonal seed orchards: An alternative for reforestation programs in Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 4 Núm. 20. Pp. 90-97.

- Báez I. A., Trejo V. 2011. Diagnóstico fitosanitario del arbolado del parque alameda oriente. Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial del D.F., México, D.F. Pp.16.
- Bryk, A. S., Raudenbush, S. W. 1992. Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods. Newbury Park, CA, E.U.: SAGE.
- Cabezas, C. 1997. Caracterización y análisis de crecimiento de un renoval puro de *Nothofagus dombeyi* (Mirb) Oerst., en la cordillera de Los Andes, provincia de Valdivia. Tesis Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 80 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). S/a. Huertos semilleros. Citado el 24 de mayo el 2016. Disponible en http://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=1005.
- De Leeuw, J., & Kreft, I. 1986. Random coefficient models for multilevel analysis. Journal of Educational Statistics , 11 , 57- 85. doi:10.2307/1164848.
- Diccionario de la real academia española en línea. Citado el 24 de mayo del 2016. Disponible en <http://dle.rae.es/>.
- Dvorak, W.S., Hodge G.R., Kietzka J.E., Mlán F., Osorio L.F. and Stanger T.K. 2000. *Pinus patula in: conservation and testing of tropical y subtropical forest tree species by the CAMCORE cooperative*. CAMCORE Cooperative (Ed.). college or natural resources. NCSU. Raleigh. N.C. pp: 149-173.
- Farjon, A. 1996. Biodiversity of Pinus (panacea) in Mexico: speciation and palaeo-endemism. Botanical Journal of the Linnean Society 121:362.380.
- Farjon, A.2001. World Checklist and Bibliography of conifers. Royal Botanic Gardens. Kew, UK. 309 p.
- García, J. G. S., Hernández, J. J. V., Mata, J. J., Galán, J. D. M., Herrera, C. R., y Upton, J. L. 1999. Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. Madera y Bosques, 5(2), 19-34.

- García, M. A. 2007. Importancia de la calidad del plantín forestal. In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. 10 p. In: <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2007/312.II.GARCI A.pdf> Consultada: 19 de agosto de 2014.
- Glerum, C. 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: principles and applications. In: Duryea, M.L. (Ed.). Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Test, Workshop Held on October 16–18, 1984. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, USA, Pp. 107–135.
- Giertych, M. 1975. Seed orchard designs. In: Faulkner R. (compiler), Seed orchards. Forestry Commission Bulletin No. 54. Her Majesty's Stationery Office, London. Pp: 25-37.
- Granhof, J. 1991. Propagación masiva de material mejorado huertos semilleros: conceptos, diseño y papel en el mejoramiento forestal. Nota de clase No. D-8. Humlebaek, Dinamarca. Pp. 19-53.
- Hopkins, E.R., Huther T.B. 1994. Improvement of *Pinus Pinaster* Ait. In western Australia. CALM Science Vol.1. Pp. 159-242.
- Hernández E. J.E. 2013. Almacenamiento potencial de carbono en bosques de *P. patula* Schl. Et cham y *P. ayacahuite* var. *Veitchii* Shaw, en el ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis grado ingeniero agrónomo, 49 p.
- Hernández, Z. O. 2014. Evaluación fenológica y análisis de producción de conos de *Pinus patula* en un huerto semillero asexual. Colegio de posgraduados montecillos. Tesis de maestría en ciencias forestales. 78 p.
- Holmes Finch W., Bulin, J.E., Kelly k. 2014. Multilevel Modeling Using R (Chapman & Hall/CRC Statistics in the Social and Behavioral Sciences). CRC press, London new york. 230 pp.

- Jaquish, B. C. 1997. Abasto y manejo de semillas a partir de la recolección en rodales naturales, áreas de producción y huertos semilleros. Manejo de recursos genéticos forestales, 78 p.
- Kang, K.S., Lindgren D., Mullin T.J. 2001. Prediction of genetic gain and gene diversity in seed orchards crops under alternative management strategies. *Theoretical and Applied Genetics* 103:1099-1107.
- Longford, N. T. 1989. Fisher scoring algorithm for variance component analysis of data with multilevel structure. En R. D. Bock (Ed.), *Multilevel analysis of educational data* (pp. 297-310). San Diego, CA, E.U.: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-108840-8.50019-6
- Longford, N. T. 1993. *Random coefficients models*. Oxford, R.U.: Clarendon Press.
- Martínez, M. 1948. *Los pinos Mexicanos*. 2a ed. México. Ed. Botas. 368 p.
- Martínez, M. 1994. *Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de Plantas Mexicanas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Mexal J. G., Landis T. D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: *Target seedlings symposium*. Gen. Tech. Rep. USDA Forests. Vol.13. Pp. 105-119.
- Murillo O., Camacho P. 1997. *Metodología para la evaluación de plantaciones forestales recién establecidas*. Agronomía costarricense. Departamento de ingeniería forestal, Instituto tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Núñez Contreras. F. A. 2007. *Análisis de crecimiento de dos familias clónales de Pinus radiata (D. Don) en un ensayo establecido a diferentes espaciamientos*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Tesis de ingeniería forestal. 51 pp.
- Notivol, E., Gil, L., Alia, R., Corcuera, L. 1997. Características productivas y descriptivas del huerto semillero de *Pinus sylvestris* L. de la procedencia " Pirineo montano-húmedo aragonés". In *Congresos Forestales*.

- Pardos, J.A., Gil L. 1986. Los huertos semillero: estudios básicos para su establecimiento en España, ICONA. Monografías 44, 128 p.
- Pérez, S., M. H., A. González., Echeverría P. 1999. Avances a la mejora genética de *Pinus caribaea* Mor. var. *Caribaea* Barret y Golfari, en la República de Cuba. In II Simposio sobre avances en la producción de semillas forestales en América Latina. Memorias. Compilador. Rodolfo Salazar 18-22 de Octubre, 1999 Santo Domingo. República Dominicana. CATIE. Turrialba, Costa Rica, Mayo, 2000. pp. 101-104.
- Pérez, A., Pompa-García, M., Solís, R., y Chacón, J. 2014. Dinámica dasométrica del huerto clonal de *Pinus arizonica* en los bosques del sur de Chihuahua. In Ciencias Agropecuarias Handbook T-II: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos (pp. 104-112). ECORFAN.
- Perry, J.P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber press, Inc. Portland Oregon, USA. 231 p.
- Perez y Olvera, C. P. 1981. Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas, Boletín técnico no.69. INIF. SFFF. SARH. México. 111.p.
- Prieto R. J. A., Vera C. G., Merlín B. E. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico Núm. 12. Primera reimpresión. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAPSAGARPA. Durango, Dgo. México. 24 p.
- Prieto R. J. A., García R. J. L., Mejía B. J. M., Huchín A. S., Aguilar V. J. L. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP-SAGARPA. Durango, México. 48 p.
- Reglamento de la ley forestal, 1992. citado el 24 de mayo del 2016. Disponible en http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/MarcoJuridico/Lists/Reglamentos/Attachments/7/07_reg20de20la20Ley20Forestal.pdf. 25 p.

- Rodríguez Villa, J. 2013. Establecimiento y evaluación de huerto semillero clonal de *Pinus arizonica* Engelm. en el ejido el Largo y anexos, madera, Chihuahua. Tesis de Ingeniería forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Agronomía, Departamento Forestal. Saltillo, Coahuila, México. 66 p.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Saenz, R., Niestaedt, Vargas H.J.J. 1994. Performance of *Pinus patula* genotypes selected in south africa and growing in their native Mexican environment. *Silvae Genetica*. 43:73-81.
- Secretaria de Protección Civil. 2011. Atlas municipal de riesgos. Gobierno del estado de Veracruz. Citado el 2 de mayo disponible en: <http://issuu.com/uliseszl64/docs/xico>.
- SAS INSTITUTE, INC. 2004. SAS / STAT Guide For Personal Computers, Version 9.1, Raleigh, North Carolina, USA. 1028 p.
- Sivacioglu, A., Ayan, S., & Çelik, D. A. 2009. Clonal variation in growth, flowering and cone production in a seed orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 8(17), 4084.
- Schlatter, J. 1987. La fertilidad del suelo y el desarrollo de *Pinus radiata* D. Don. *Bosque*, 8(1), 13-19.
- SIRE-Paquetes Tecnológicos. s/a. *Pinus patula*, ficha técnica, citado el 25 de mayo del 2016. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/975Pinus%20patula.pdf>. Pp. 8.
- STATISTICA V 7. 2002. software de computadora en CD-ROM]. Tulsa: StatSoftTM
- Valenzuela, D. 2009. Evaluación del comportamiento de procedencias de *Pinus patula* Schlect. et Cham en la Provincia de Imbabura Periodo 2008-2009. Ibarra, Ecuador.

Universidad Tecnica Del Norte, Facultad De Ingenieria En Ciencias Agropecuarias Y Ambientales Escuela De Ingenieria Forestal. Tesis de Ingeniero Forestal. 79 p.

Valencia M. S., Vargas H. J. J. 2001. Correlaciones genéticas y selección simultanea del crecimiento y densidad de la madera de *Pinus patula*. *Agrociencia* 35: 109-119.

Van Havznasxs, D. F. 1998. Forma de copa en un huerto semillero clonal de *Pinus sylvestris* L. *Silvae Genetica* 35: 236-238.

Vela G., L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula*. Publicación especial No. 19. INIFAP. México, D.F.

Velazquez M. A., G. Angeles Perez, T. Llanderal O., A.R.Roman J., Reyes H J.V. 2004. Monografía de *Pinus patula*. SEMARNAT/CONAFOR. Colegio de Posgraduados. Zapopan, Jalisco. 425p.

Viveros Viveros, H., Sáenz-Romero C., J. López-Upton., Vargas-Hernández J.J. 2007. Growth and frost damage variation among *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae* and *P. hartwegii* tested in Michoacán, Mexico. *Forest Ecology and Management* 253: 81-88.

Wright, J.A., Osorio L.F., Dvorak W.S. 1995. Recent developments in a tree improvement program with *Pinus patula* in Colombia. *Forest Ecology and Management* 72: 229-234.

Zobel, B.J., Talbert J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa, México, DF. 54

10. Anexos

Anexo 1. Código para la obtención de modelos de curvas de crecimiento de los rametos para las variables: altura total, diámetro del tallo y cobertura de copa, del huerto semillero clonal de *Pinus patula* en Ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

```
library(multilevel)
library(lattice)
# Análisis de la variable altura

datos = read.table("modalt.txt",header=TRUE)
fix(datos)
length(datos[,1])
individuo = seq(1,240)
datos = data.frame(individuo,datos)
fix(datos)

altura <- make.univ(datos,datos[,2:8])
altura[1:30,]
fix(altura)

altura2 = data.frame(tiempo=as.character(altura$TIME),altura,stringsAsFactors = FALSE)
altura2$tiempo <- sapply(altura2$tiempo,switch,"0"=21,"1"=33,"2"=39,"3"=42,"4"=45,"5"=51,"6"=54)
fix(altura2)

xyplot(MULTDV~tiempo|as.factor(individuo),data=altura2[1:210,],
type=c("p","r","g"),col="blue",col.line="black",
xlab="Tiempo (meses)",ylab="Altura (cm)")

# Modelo 1
modelo1 = lme(MULTDV~tiempo,random=~tiempo|Clon/individuo,data=altura2,control=list(opt="optim"))
summary(modelo1)

# Modelo 2, con término cuadrático
modelo2 = lme(MULTDV~tiempo +
l(tiempo^2),random=~tiempo|Clon/individuo,data=altura2,control=list(opt="optim"))
summary(modelo2)

# Modelo 3, modelo lineal y con errores AR(1)
modelo3 =
lme(MULTDV~tiempo,random=~tiempo|Clon/individuo,correlation=corAR1(),data=altura2,control=list(opt
="optim"))
summary(modelo3)

# Modelo 4, modelo con término cuadrático y con errores AR(1)
modelo4 = lme(MULTDV~tiempo +
l(tiempo^2),random=~tiempo|Clon/individuo,correlation=corAR1(),data=altura2,control=list(opt="optim"))
summary(modelo4)
```

```

# Análisis de la variable diámetro

datos = read.table("modiam.txt",header=TRUE)
fix(datos)
length(datos[,1])
individuo = seq(1,240)
datos = data.frame(individuo,datos)
fix(datos)
diametro<- make.univ(datos,datos[,2:8])
diametro[1:30,]
fix(diametro)

diametro2 = data.frame(tiempo=as.character(diametro$TIME),diametro,stringsAsFactors =
FALSE)
diametro2$tiempo <-
sapply(diametro2$tiempo,switch,"0"=21,"1"=33,"2"=39,"3"=42,"4"=45,"5"=51,"6"=54)
fix(diametro2)

xyplot(MULTDV~tiempo | as.factor(individuo),data=diametro2[1:210,],
type=c("p","r","g"),col="blue",col.line="black",
xlab="Tiempo (meses)",ylab="Diametro (mm)")

#Modelo 1
modelo1d =
lme(MULTDV~TIME,random=~TIME | Clon/individuo,data=diametro2,control=list(opt="optim"))
summary(modelo1d)

# Modelo 2 con errores AR(1)
modelo2d =
lme(MULTDV~TIME,random=~TIME | Clon/individuo,correlation=corAR1(),data=diametro2,contr
ol=list(opt="optim"))
summary(modelo2d)

# Modelo 3, modelo lineal y con errores AR(1)
modelo3 =
lme(MULTDV~tiempo,random=~tiempo | Clon/individuo,correlation=corAR1(),data=diametro2,c
ontrol=list(opt="optim"))
summary(modelo3)

# Modelo 4, modelo con término cuadrático y con errores AR(1)
modelo4 = lme(MULTDV~tiempo +
l(tiempo^2),random=~tiempo | Clon/individuo,correlation=corAR1(),data=diametro2,control=list(
opt="optim"))
summary(modelo4)

```

```

# Análisis de la variable cobertura de la copa

datos = read.table("modccop.txt",header=TRUE)
fix(datos)
length(datos[,1])
individuo = seq(1,242)
datos = data.frame(individuo,datos)
fix(datos)
CCOP <- make.univ(datos,datos[,2:7])
CCOP[1:30,]
fix(CCOP)

CCOP2= data.frame(tiempo=as.character(CCOP$TIME),CCOP,stringsAsFactors = FALSE)
CCOP2$tiempo <- sapply(CCOP2$tiempo,switch,"0"=33,"1"=39,"2"=42,"3"=45,"4"=51,"5"=54)
fix(CCOP2)

xyplot(MULTDV~tiempo | as.factor(individuo),data=CCOP2[1:180,],
type=c("p","r","g"),col="blue",col.line="black",
xlab="Tiempo (meses)",ylab="Cobertura de Copa (cm)")

# Modelo 1
modelo1c=
lme(MULTDV~TIME,random=~TIME | Clon/individuo,data=CCOP2,control=list(opt="optim"))
summary(modelo1c)

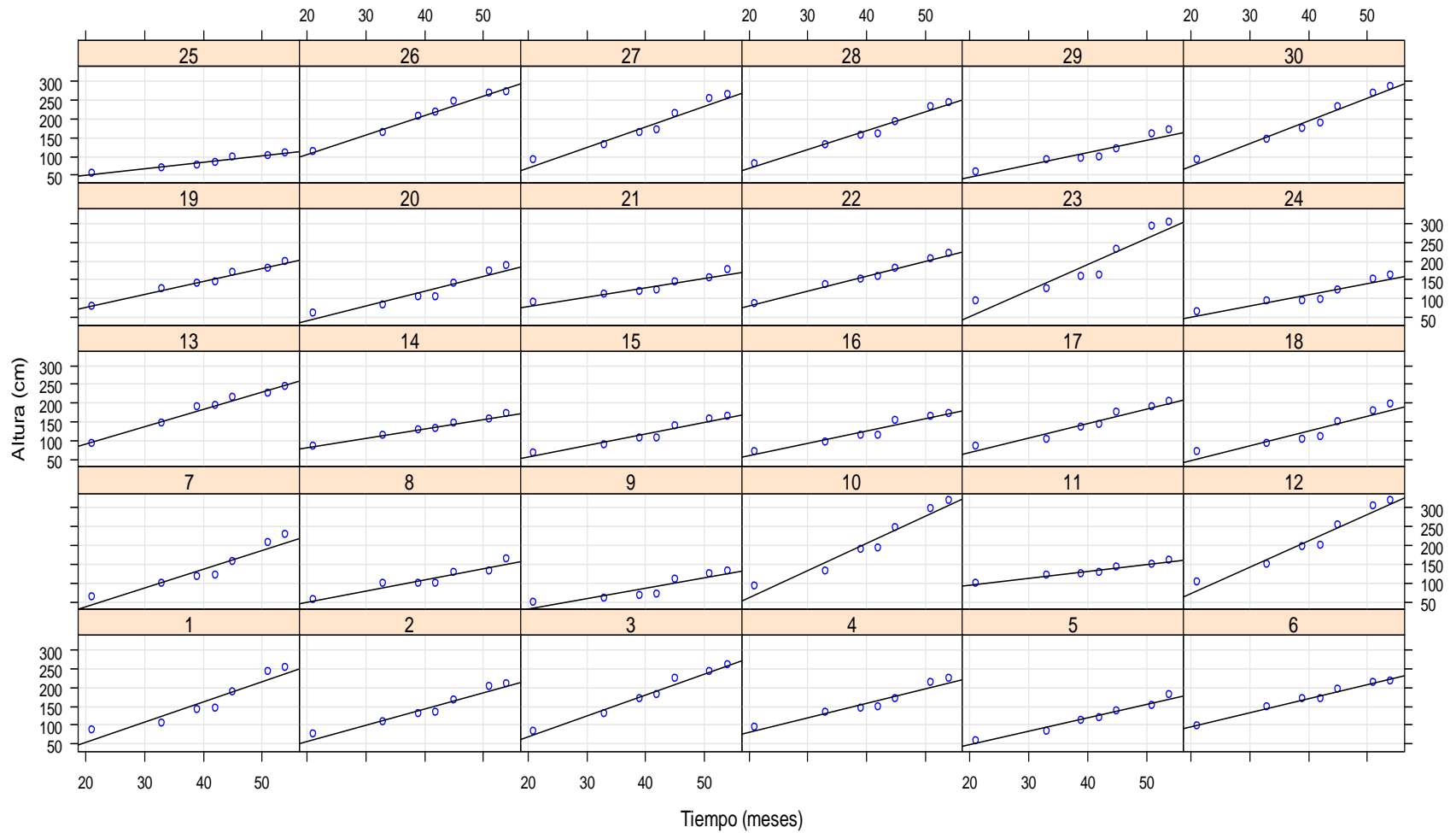
# Modelo con errores AR(1)
modelo2c =
lme(MULTDV~TIME,random=~TIME | Clon/individuo,correlation=corAR1(),data=CCOP2,control=li
st(opt="optim"))
summary(modelo2c)

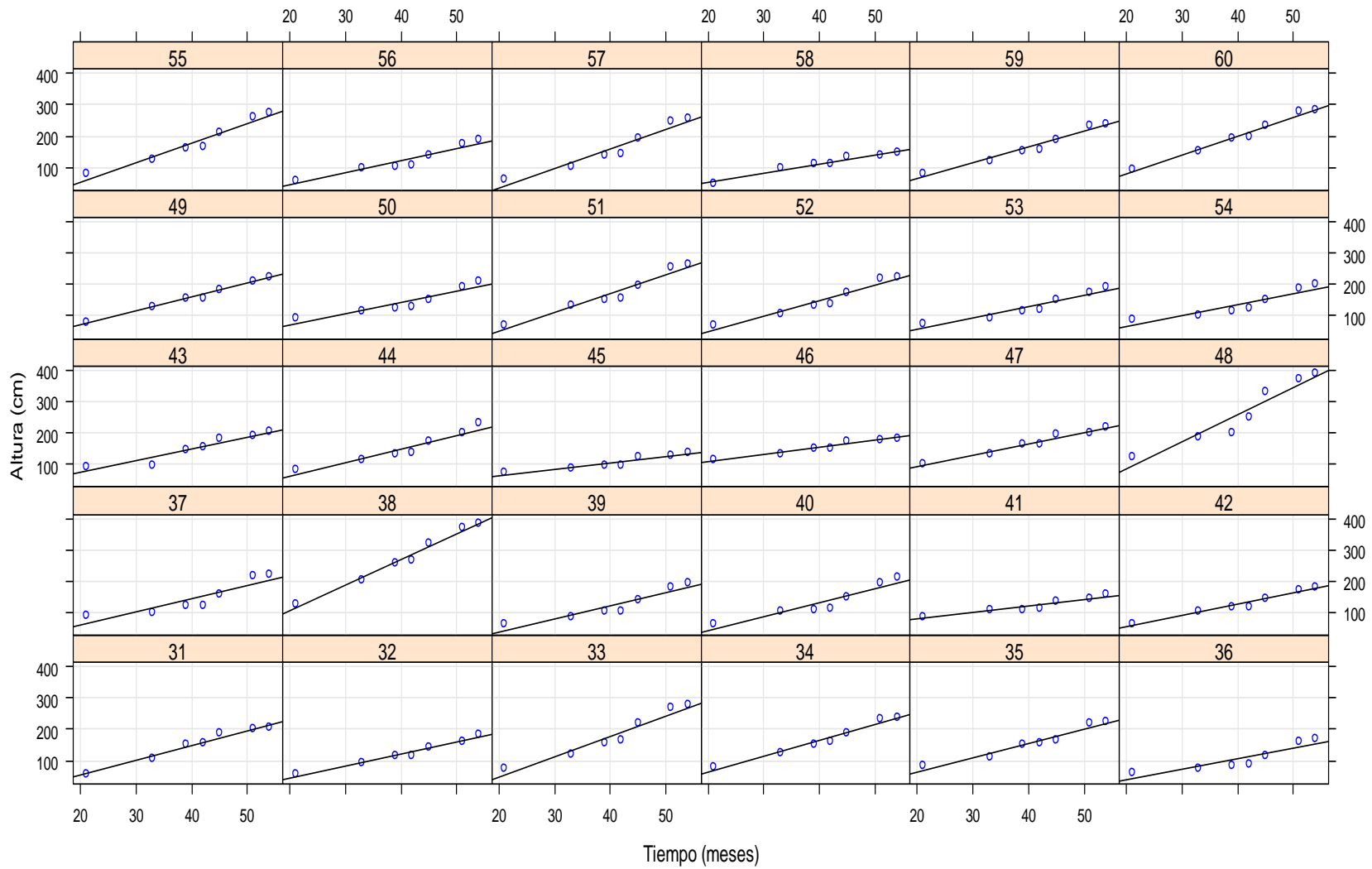
# Modelo 3, modelo lineal y con errores AR(1)
modelo3c =
lme(MULTDV~tiempo,random=~tiempo | Clon/individuo,correlation=corAR1(),data=CCOP2,contr
ol=list(opt="optim"))
summary(modelo3c)

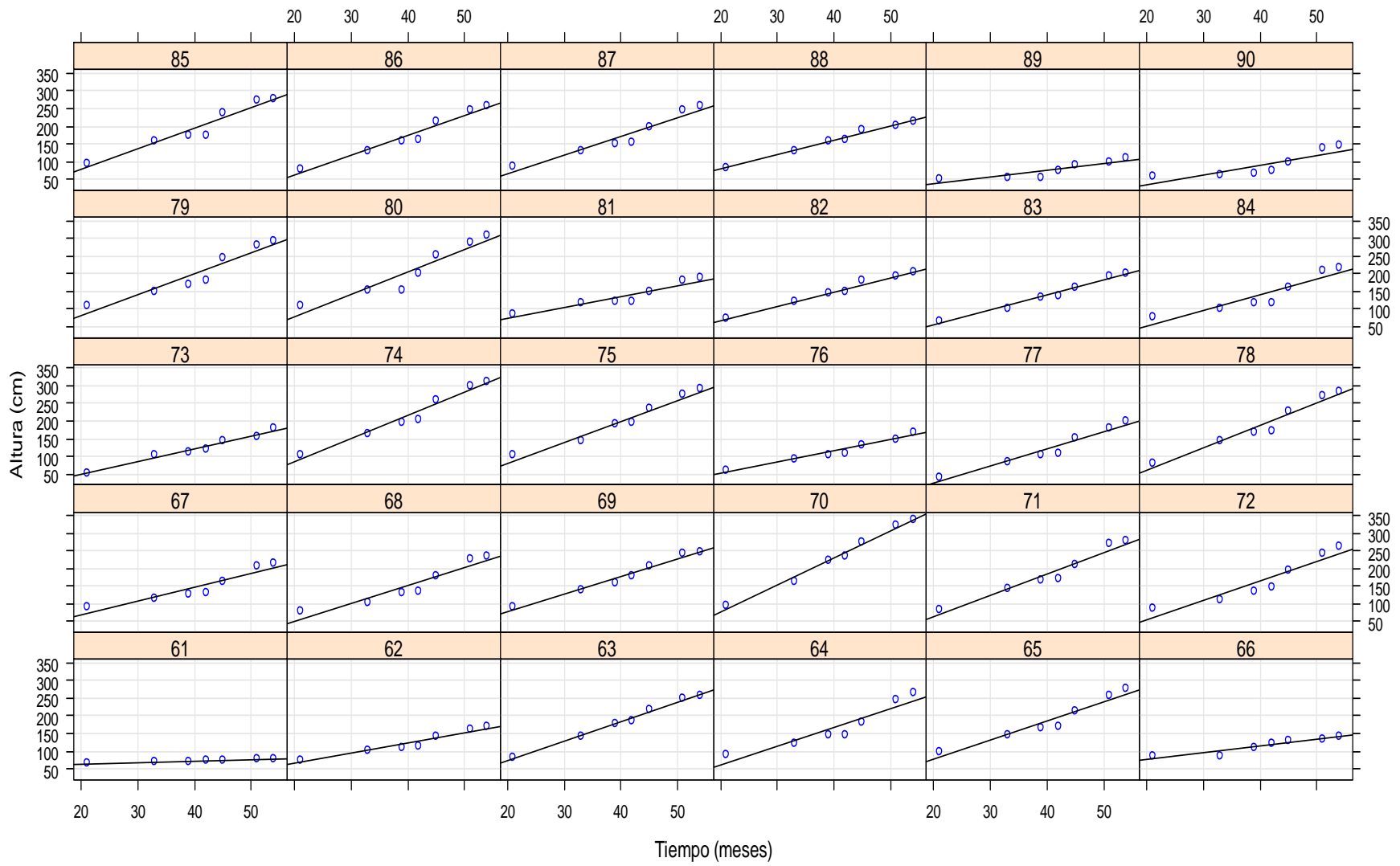
# Modelo 4, modelo con término cuadrático y con errores AR(1)
modelo4c = lme(MULTDV~tiempo +
l(tiempo^2),random=~tiempo | Clon/individuo,correlation=corAR1(),data=CCOP2,control=list(opt
="optim"))
summary(modelo4c)

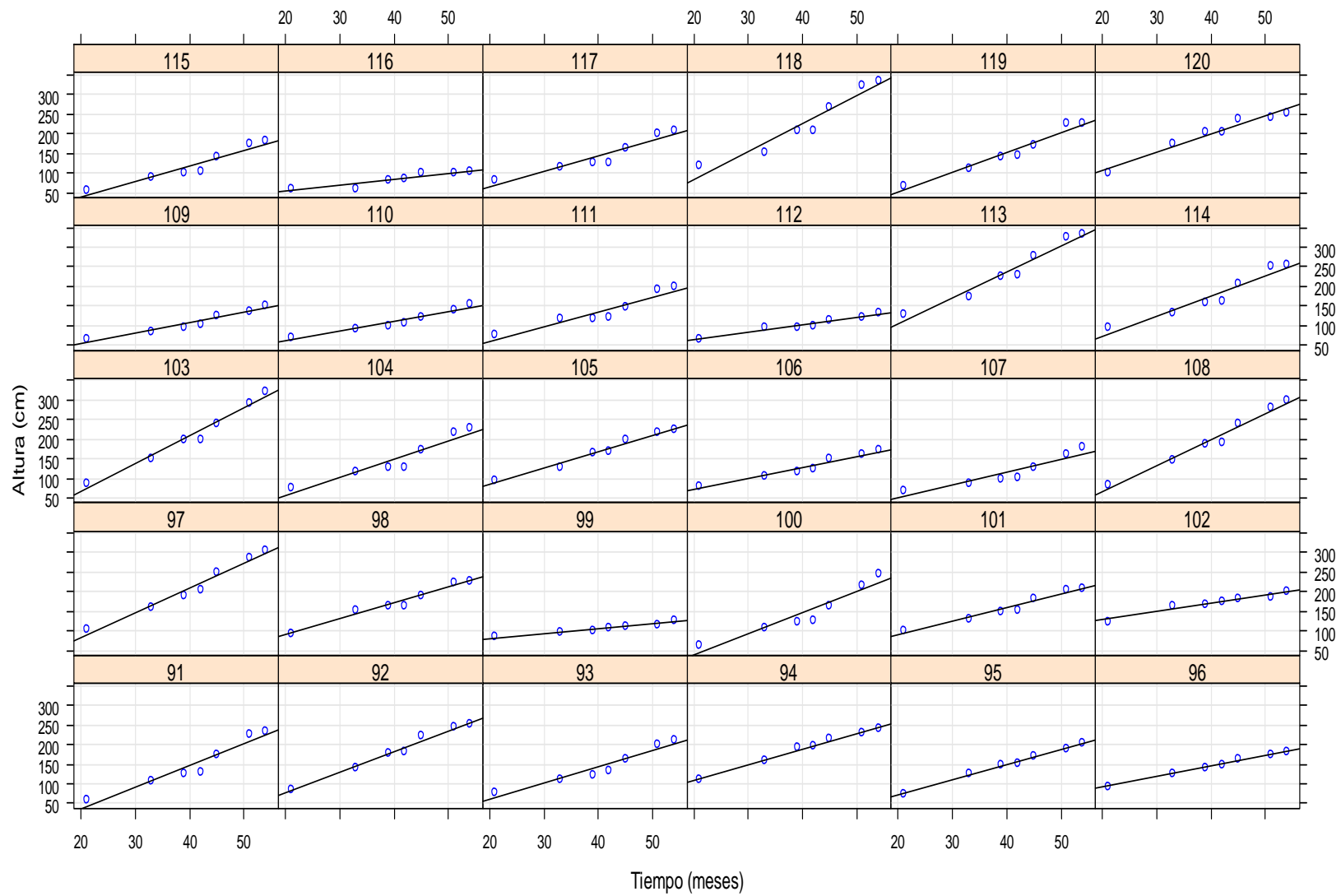
```

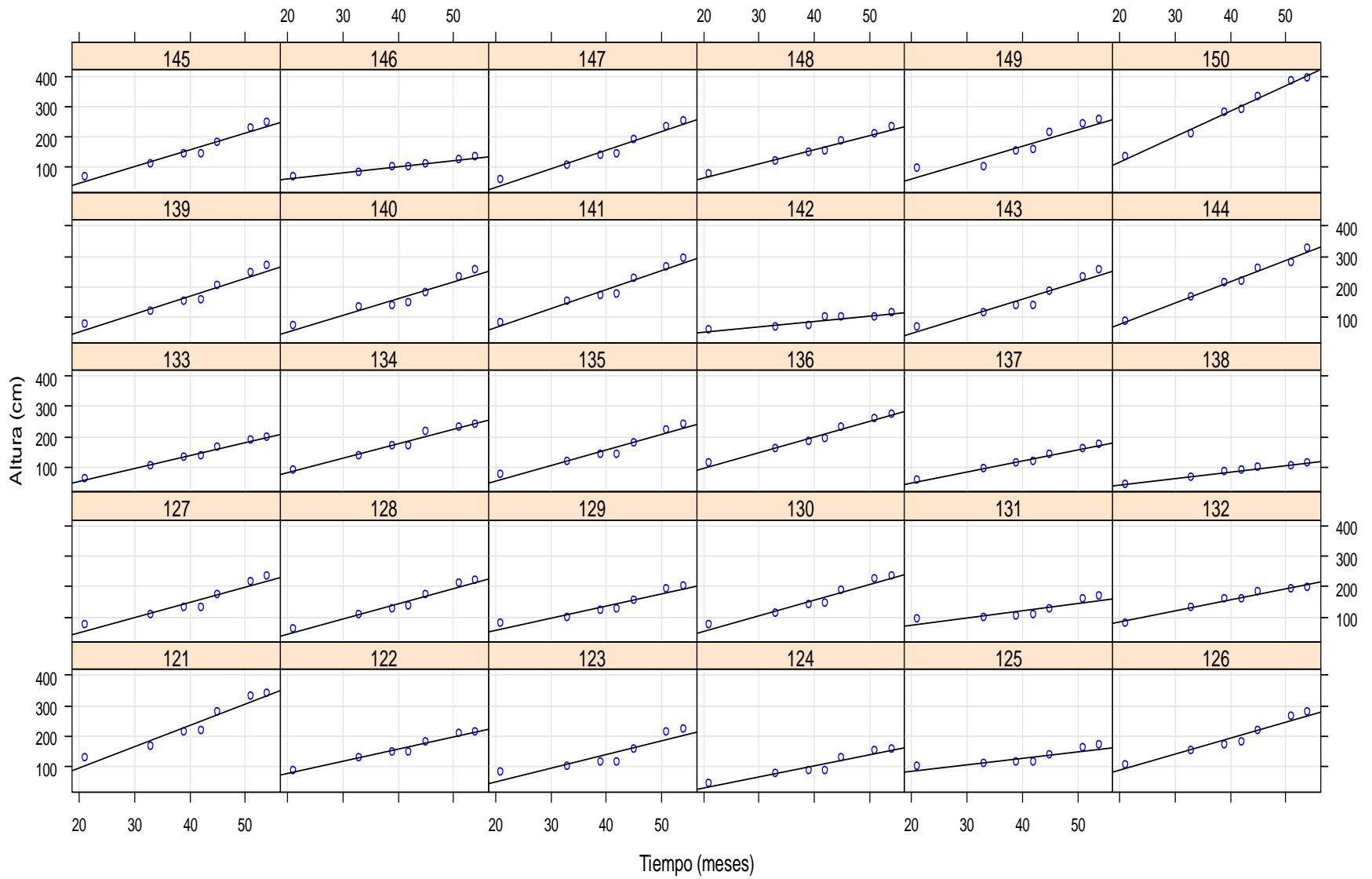
Anexo 2. Curvas de crecimiento obtenidas con el modelo ajustado para altura total de los rametos a diferentes edades del huerto semillero clonal de *Pinus patula* de Ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz.

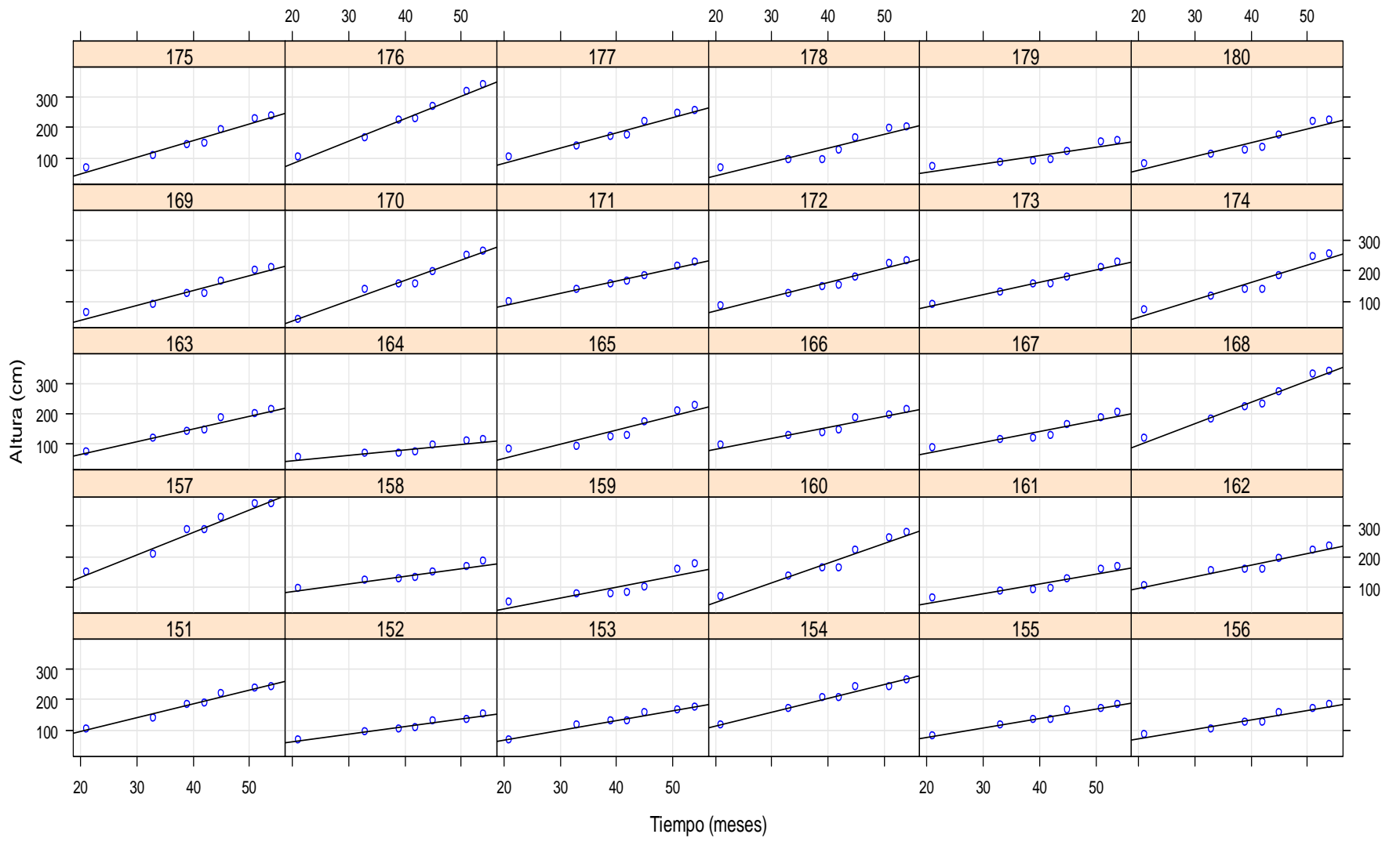


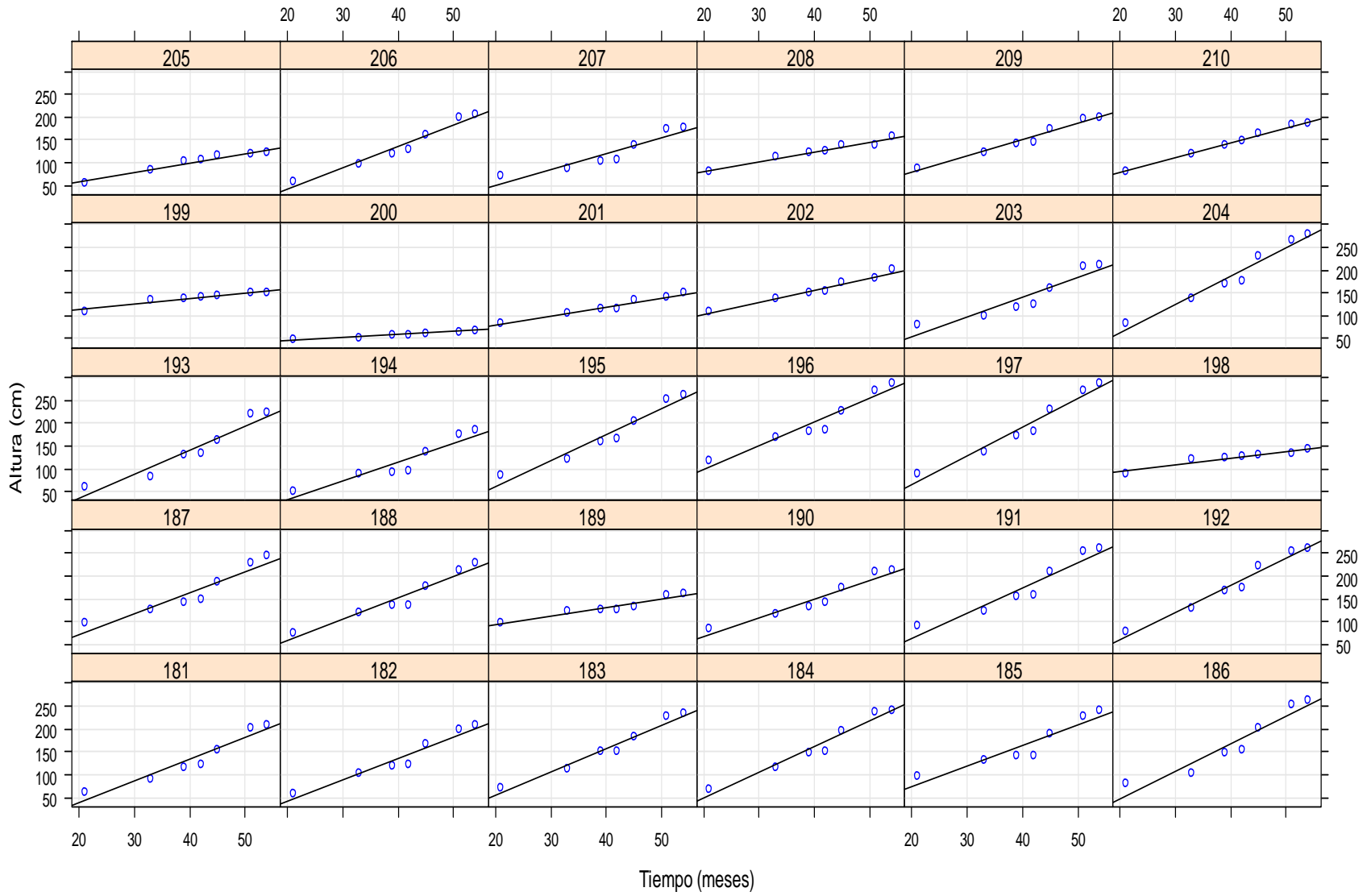


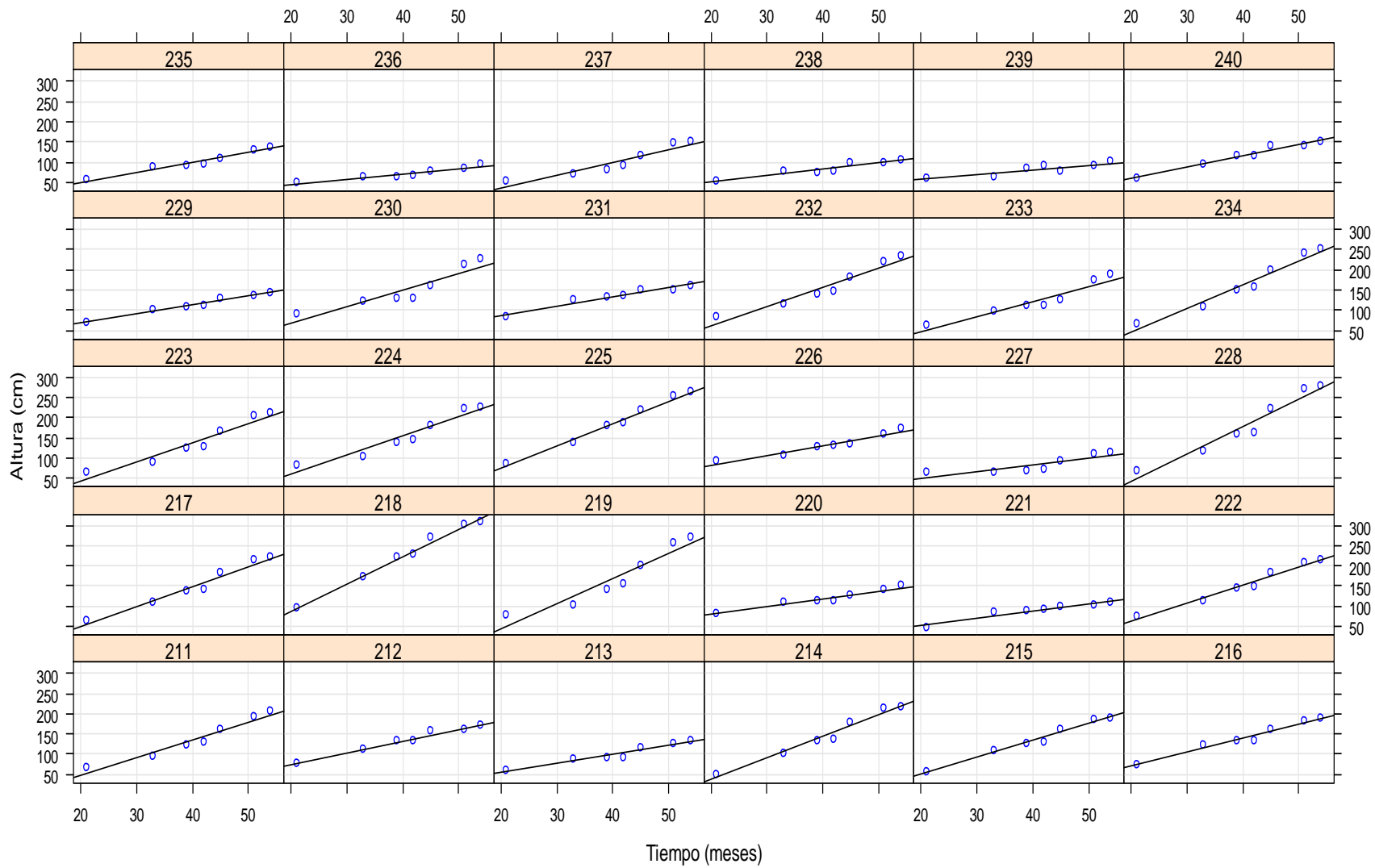




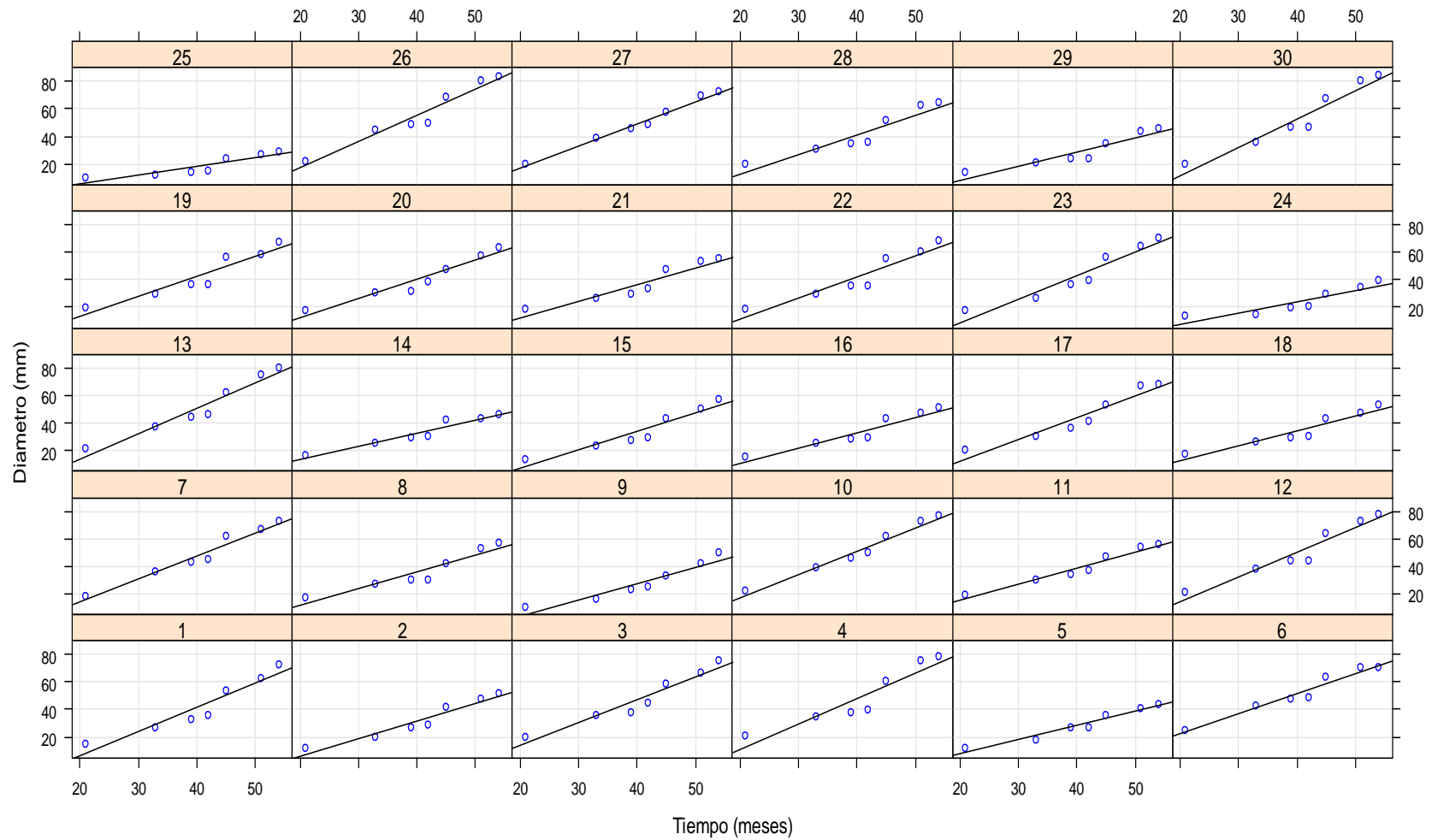


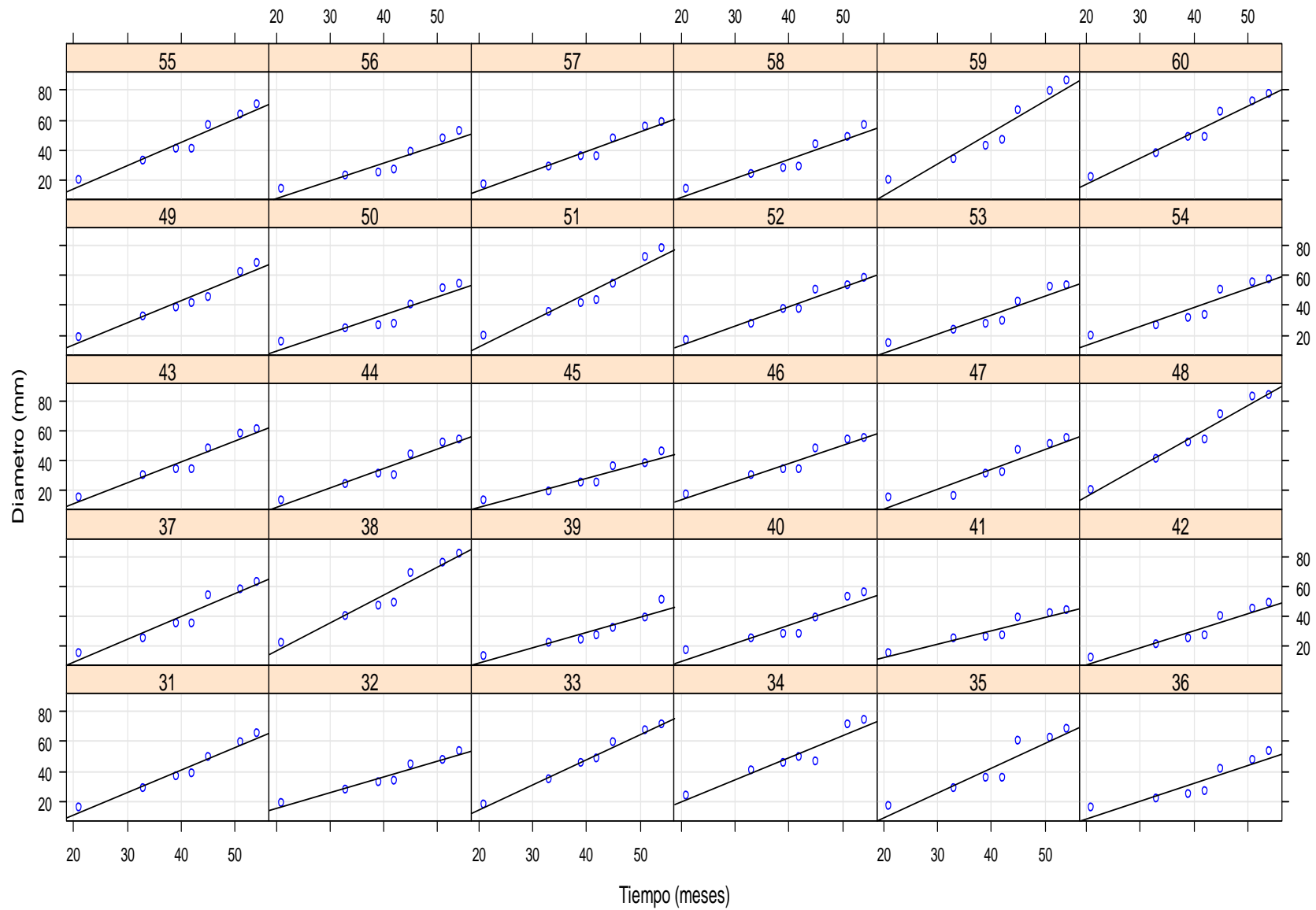


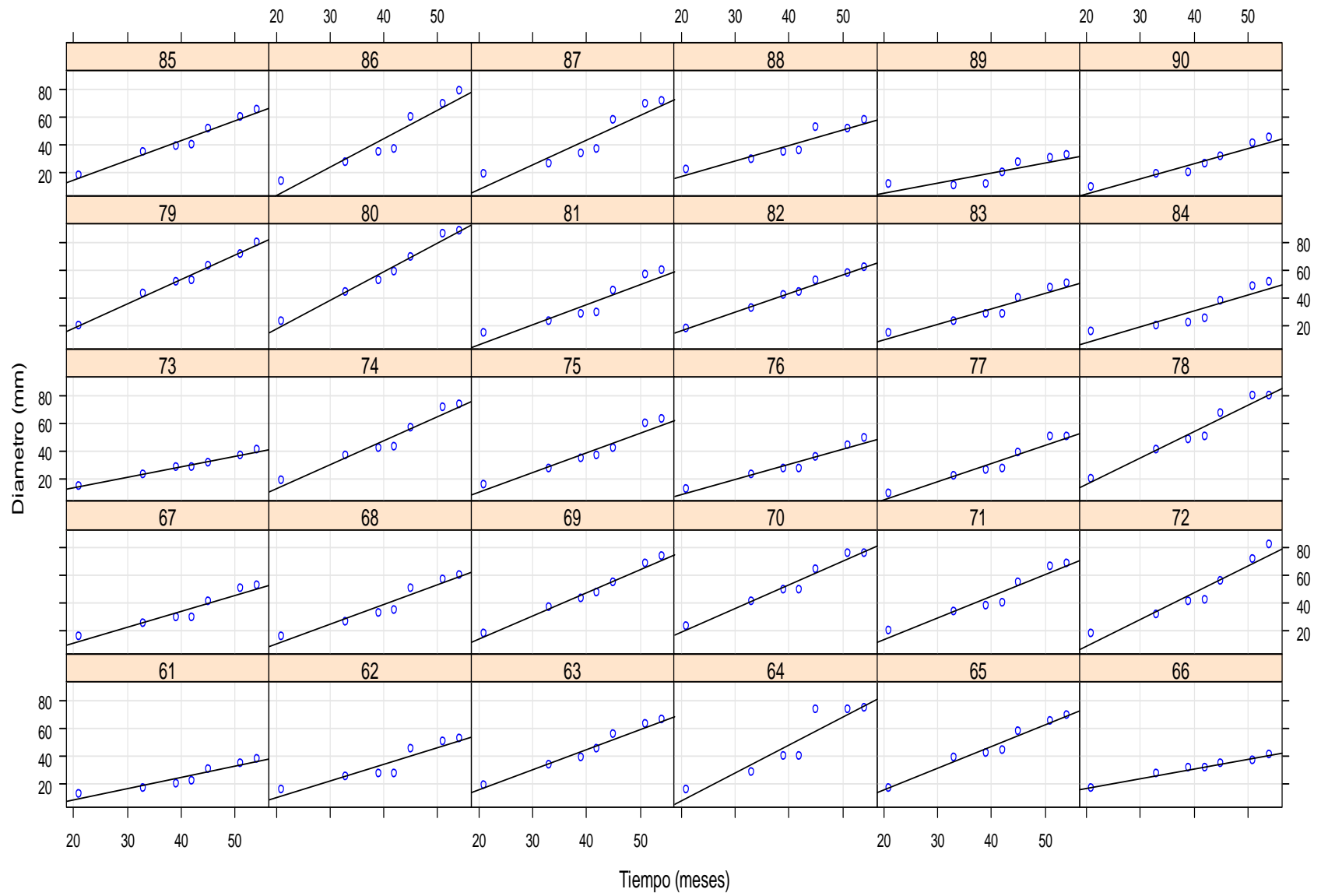


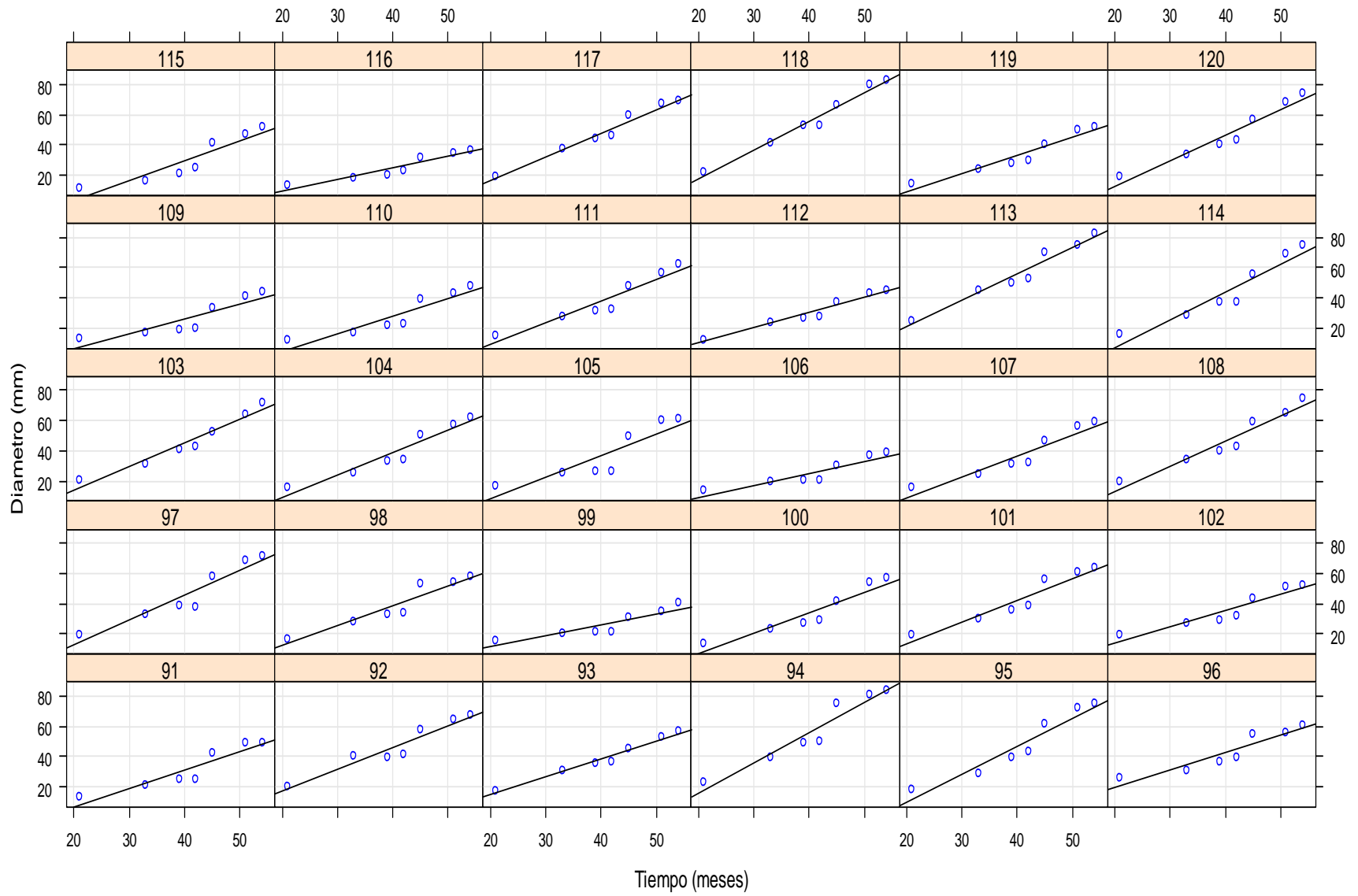


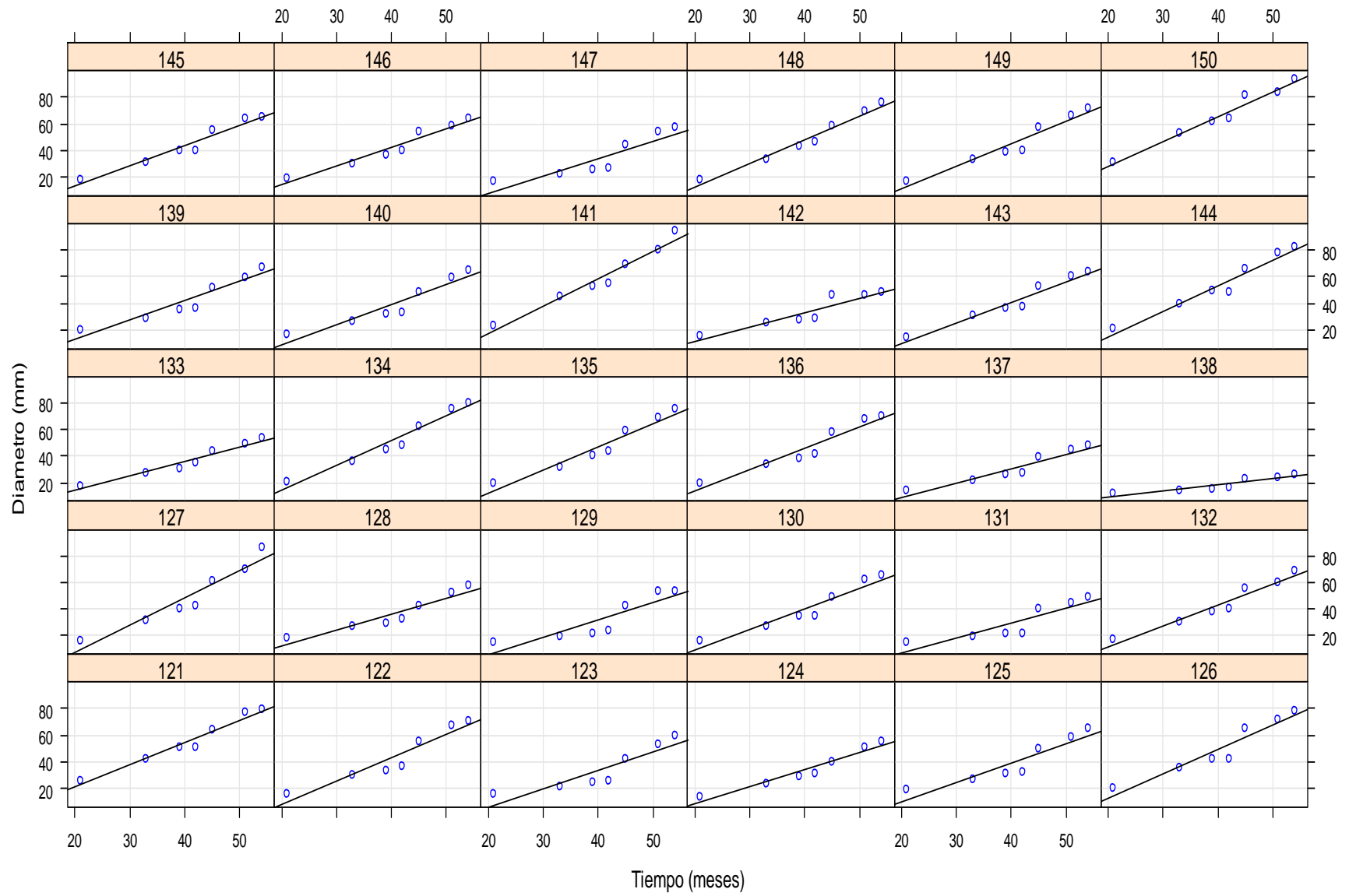
Anexo 3. Curvas de crecimiento del modelo ajustado para diámetro de los rametos a diferentes edades del huerto semillero clonal de *Pinus patula*.

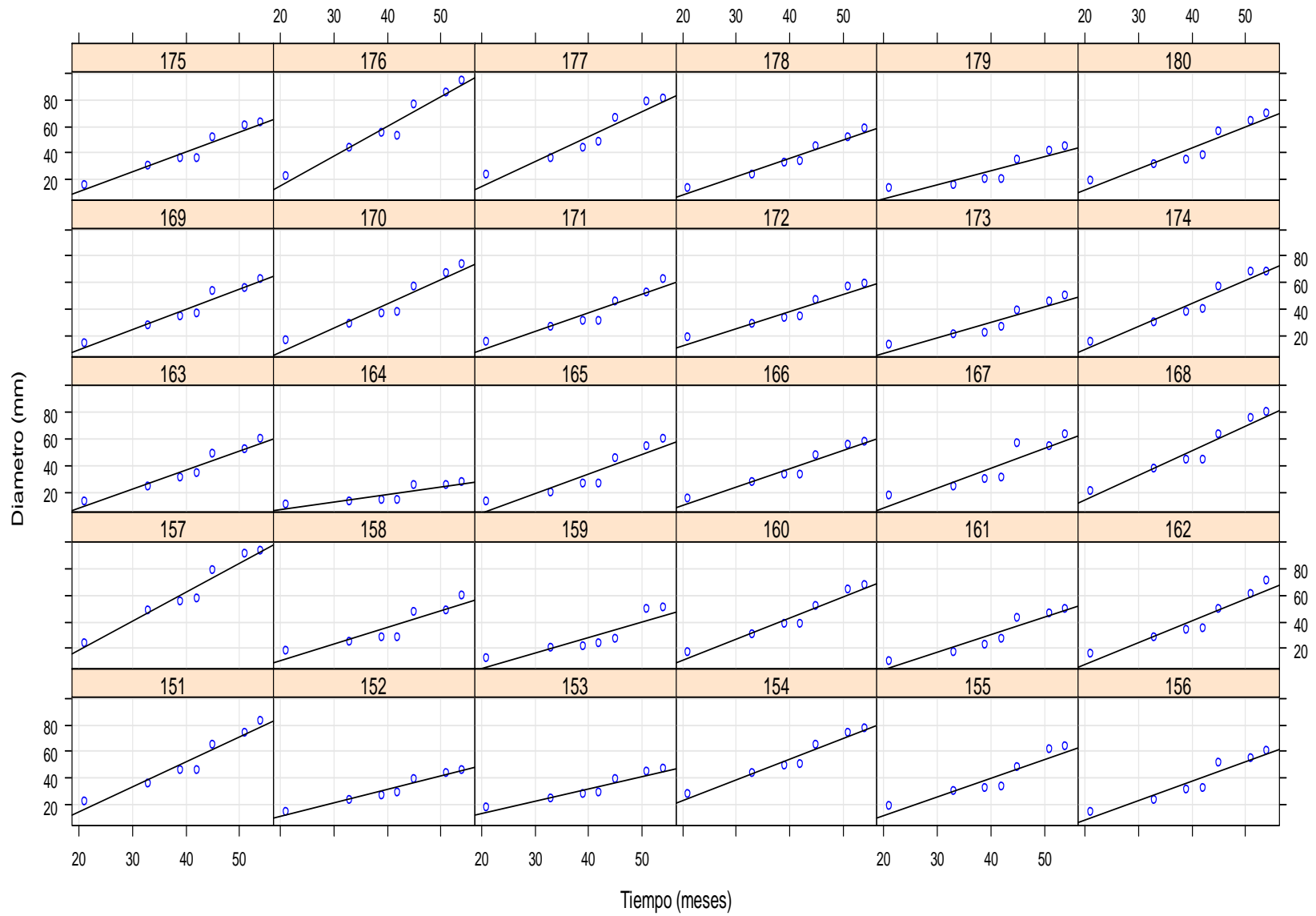


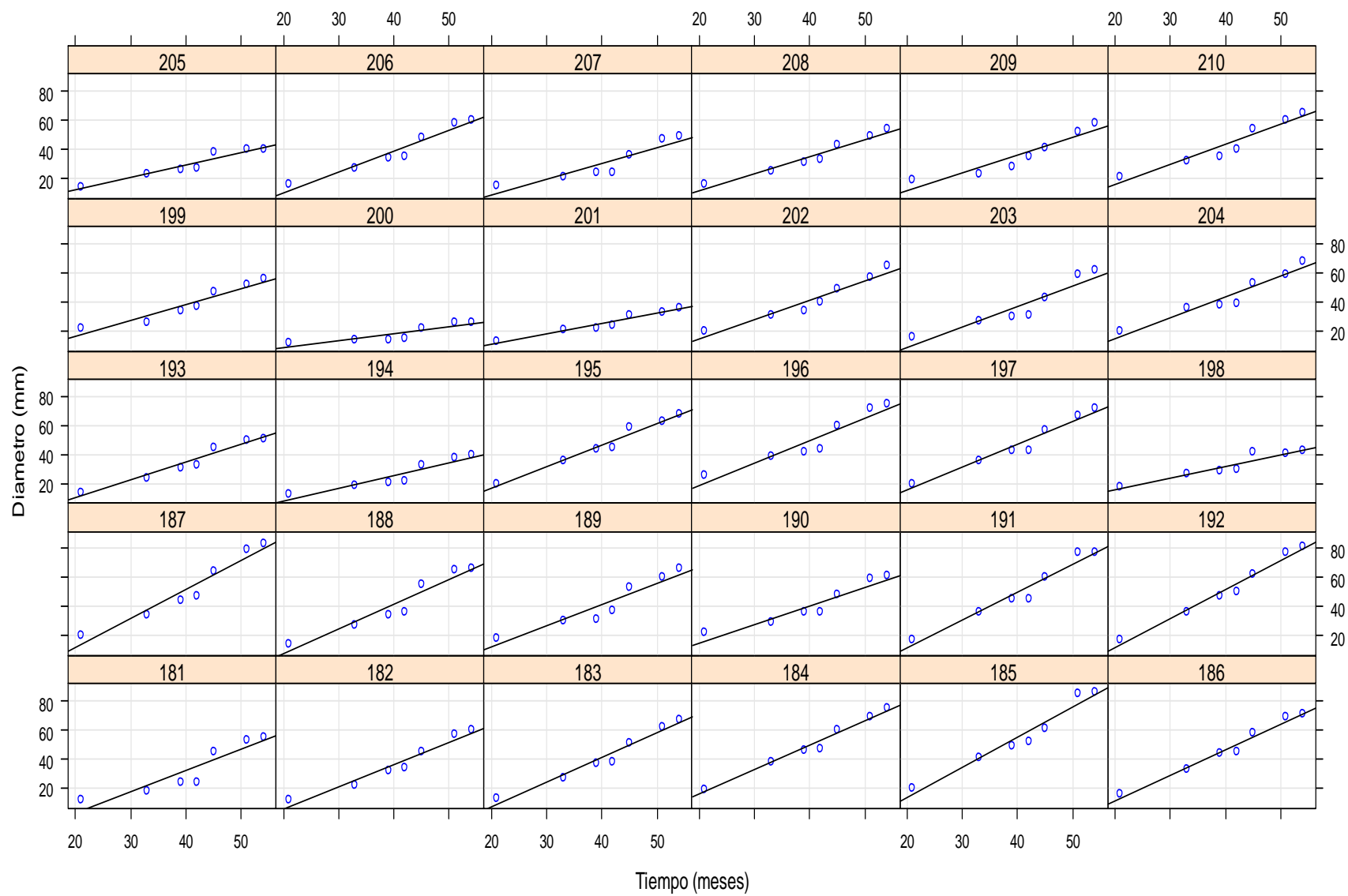


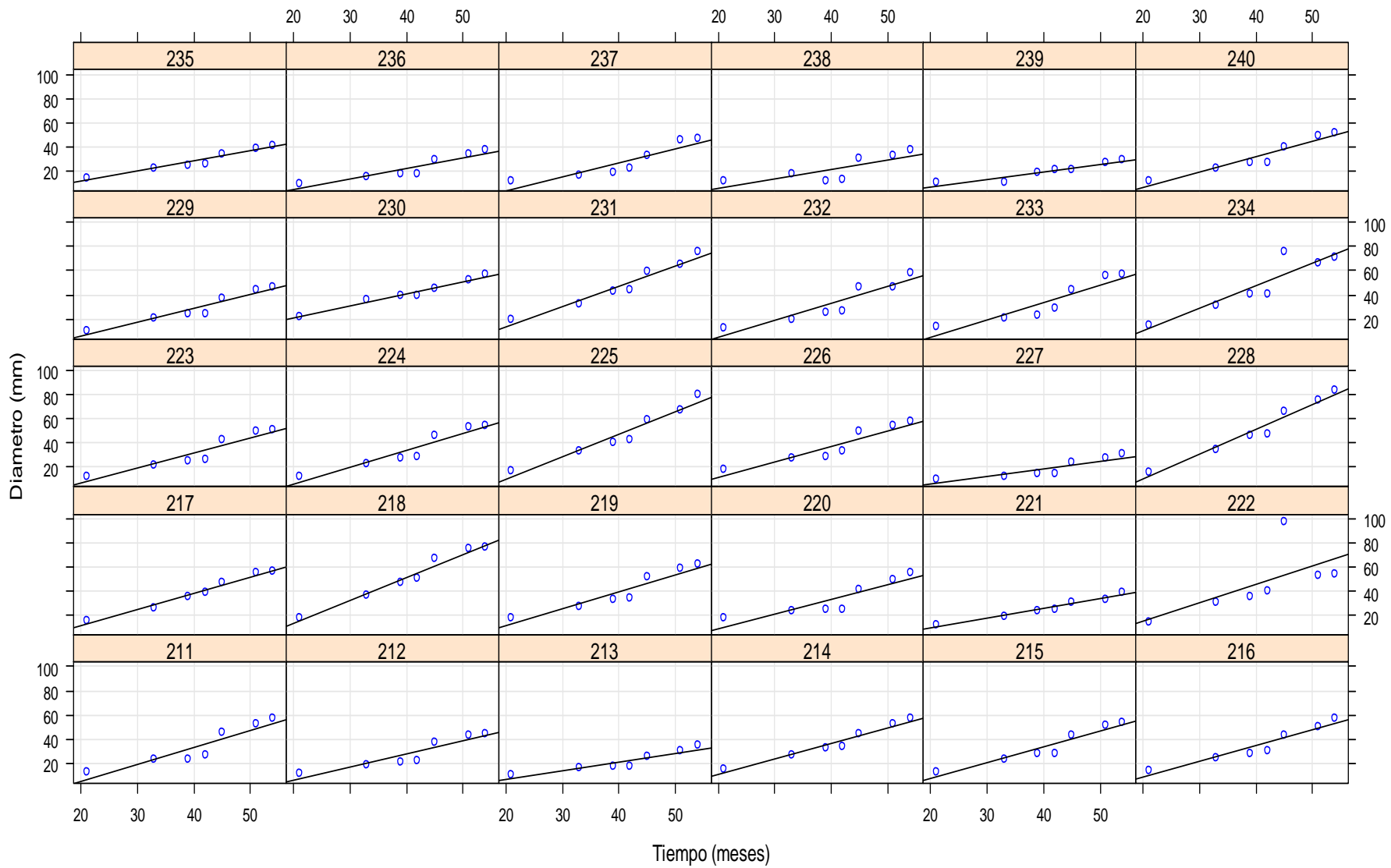












Anexo 4. Curvas de crecimiento del modelo ajustado para diámetro de copa de los rametos a diferentes edades del huerto semillero clonal de *Pinus patula*.

