



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

PROGRAMA DE MAESTRÍA:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

TESIS

**CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA EN UNA
REFORESTACIÓN DE *Pinus montezumae* Lamb.**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

FERNANDO ROBLES VILLANUEVA

Texcoco, Estado de México, Febrero de 2017



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
CICLO DE EXÁMENES PROFESIONALES



División de Ciencias Forestales

Tesis realizada por **Fernando Robles Villanueva** titulada: "CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA EN UNA REFORESTACIÓN DE *Pinus montezumae* Lamb"., bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

NOMBRE



FIRMA

ASESOR: DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

NOMBRE



FIRMA

ASESOR: M.C. JAVIER SANTILLÁN PÉREZ

NOMBRE



FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme brindado el apoyo económico necesario para poder cumplir mi formación, y superación personal.

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de Ciencias Forestales, por darme la oportunidad dentro de su programa de posgrado para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales.

A la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Morelos, por facilitar el material vegetativo y sus instalaciones para el desarrollo del presente proyecto.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, por su dirección, conocimientos, sugerencias y tiempo brindado durante el proceso de mi formación de posgrado y desarrollo de la investigación.

Al Dr. Antonio Villanueva Morales, por su apoyo en la parte estadística del proyecto, sus recomendaciones en el desarrollo y culminación de esta investigación.

Al M. C. Javier Santillán Pérez, por sus recomendaciones y sugerencias al presente trabajo.

DEDICATORIA

A Dios.

Por las bendiciones recibidas y salud.

A mis padres:

Fernando Robles Álvarez y María Elena Villanueva Ortiz

A mi Madre (Abuelita)

Felipa Álvarez Alatorre, por todo su apoyo, amor, consejos y hacer de mi la
persona que soy.

A mis hermanos, primos y tíos:

Por brindarme su apoyo, consejos y sobre todo por conservar la unión familiar.

A mi novia:

Por el apoyo, cariño y motivación para el logro de mis metas.

María Guadalupe Romero Sánchez

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el 02 de julio de 1987 en Cuautla, Morelos. Del 2002 al 2005 cursó la Preparatoria Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el municipio de Texcoco, Estado de México. En la misma Universidad, cursó la Licenciatura en Ingeniería Forestal en la División de Ciencias Forestales durante el periodo 2005 al 2009. Obtuvo el título de Ingeniero Forestal en marzo del 2011, con la tesis “INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DASONÓMICA DE LOS ARBOLES URBANOS DEL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA. JIUTEPEC, MORELOS”.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de calidad de planta de *Pinus montezumae* Lamb, en una reforestación a 22 meses de su establecimiento, se realizó un experimento en el vivero forestal de “Tetela de Volcán” a cargo de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del gobierno del estado de Morelos. Posteriormente, se evaluó la reforestación en las faldas del Volcán Popocatepetl, en los terrenos comunales del municipio de Tetela del Volcán, del mismo estado. Se evaluó la calidad de planta en vivero y laboratorio antes de su salida a reforestación. Posteriormente, en campo, se establecieron parcelas en la parte alta y baja de la loma, en exposición norte y sur, en ambas partes tres parcelas, es decir, 12 parcelas en total. Cada parcela tenía un marco de plantación de 7 x 7 plantas, para que al ser evaluadas se tomara sólo la parte central, quedando 5 x 5 plantas, con el propósito de evitar el efecto de borde. Por lo tanto se midieron 12 parcelas con 25 plantas cada una. Aquí se registró la altura, diámetro y la condición de cada una de las plantas y si estaba viva o muerta. Para realizar el análisis estadístico de los datos, se hizo uso del Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA), para las variables de respuesta medidas en campo. También se estimaron valores de correlación de Pearson tanto para las variables de campo como para las de laboratorio. El software estadístico usado fue SAS para microcomputadoras. Sólo se hallaron diferencias en supervivencia por exposición ($P=0.0222$), con la norte (88.6%) superando a la sur (83.3%).

PALABRAS CLAVE: Altitud, exposición, indicadores de calidad de planta, plantación, pruebas de calidad de planta, restauración.

ABSTRACT

In order to evaluate the plant quality effect of *Pinus montezumae* Lamb, in a reforestation 22 months after its establishment, an experiment was carried out in the forest nursery of "Tetela de Volcán" by the Secretariat of Sustainable Development, of Government of the state of Morelos. Subsequently, reforestation was evaluated in the foothills of the Popocatepetl Volcano, in the communal lands of the municipality of Tetela del Volcán, in the same state. The quality of plant in nursery and laboratory was evaluated before its exit to reforestation. Subsequently, in the field, plots were set up in the upper and lower part of the hill, in north and south exposure, in both parts three plots, that is to say, 12 plots in total. Each plot had a planting frame of 7 x 7 plants, so that when being evaluated, only the central part was taken, leaving 5 x 5 plants, in order to avoid the edge effect. Therefore 12 plots with 25 plants each were measured. Here the height, diameter and condition of each of the plants were recorded and whether it was alive or dead. To perform the statistical analysis of the data, the Multivariate Variance Analysis (MANOVA) was used for the response variables measured in the field. Pearson correlation values were also estimated for both field and laboratory variables. The statistical software used was SAS for microcomputers. Only the factor aspect was significant ($P = 0.0222$), for survival, with (88.6%) for north aspects and (83.3%) on south aspects.

KEY WORDS: Altitude, aspect, plant quality indicators, reforestation, seedling quality tests, restoratio

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1.- Objetivo General	3
2.2.- Objetivos Particulares	3
3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Deforestación.	4
4.2. Reforestación.	6
4.3. Viveros Forestales.	7
4.4. Calidad de Planta.	8
5. MATERIALES Y MÉTODOS	9
5.1. Zona de Estudio	9
5.1.1. Geografía.	10
5.1.2. Orografía e hidrografía.	11
5.1.3. Clima y ecosistemas.	11
5.1.4. Demografía.	13
5.2. Proceso de producción de Pinus montezumae, específico del vivero	14
5.3. Evaluación de planta en vivero	16
5.4. Evaluación de planta en laboratorio	17
5.5. Indicadores de Calidad de Planta	19
5.5.1. Altura de planta.	19
5.5.2. Diámetro del cuello de la planta.	19
5.5.3. Porcentaje de micorrización.	19
5.5.4. Arquitectura de parte aérea y radical.	20
5.5.5. Longitud de raíz principal y número de raíces secundarias mayores a un centímetro.	20
5.5.6. Relación entre peso seco aéreo y peso seco radical.	20
5.5.7. Peso relativo de la parte aérea.	20
5.5.8. Peso relativo de la raíz o parte subterránea.	21

5.5.9. Coeficiente de esbeltez.....	21
5.5.10. Índice de Dickson.....	21
5.6. Pruebas de calidad de planta.....	22
5.6.1. Prueba de crecimiento potencial de raíz.....	22
5.6.2. Prueba de tensión hídrica	24
5.7. Evaluación en reforestación.....	25
6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
6.1. Evaluación de planta en vivero	27
6.2. Evaluación de planta en laboratorio	28
6.3. Prueba de crecimiento potencial de raíz	30
6.4. Prueba de tensión hídrica	31
6.5. Evaluación de planta en la reforestación	32
8. LITERATURA CITADA.....	35
9.- ANEXOS	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Tetela del Volcán, Morelos.	10
Figura 2. Obtención del peso seco de acículas, tallo y raíz, para cada uno de los brinzales.....	18
Figura 3. Horno de secado para obtener el peso seco de cada una de las partes de los árboles.....	19
Figura 4. Preparación de mezcla de sustrato utilizado para la prueba de crecimiento potencial de raíz.....	22
Figura 5. Trasplante a macetas para observar posteriormente la emisión de raíces nuevas.....	23
Figura 6. Extracción de brinzales y conteo de raíces nuevas generadas a lo largo de un mes.....	23
Figura 7. Corte para colocación de muestra de brinzal en la cámara de Scholander.	24

Figuras 8 y 9. Medición de la tensión hídrica.	25
Figura 10. Evaluación en reforestación.	26

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de datos de las variables evaluadas en el vivero forestal Tetela del Volcán.....	27
Cuadro 2. Estadísticas básicas de las variables evaluadas en laboratorio.	28
Cuadro 3. Correlación de Pearson, para cada una de las variables evaluadas en laboratorio. Sólo se muestran las que resultaron significativas y con $R^2 > 0.4$	29
Cuadro 4. Prueba de crecimiento potencial de raíz.....	30
Cuadro 5. Prueba de tensión hídrica. La prueba 1 hace referencia a planta regada el día anterior, la 2 a planta no regada durante una semana.	32
Cuadro 6. Evaluación de reforestación 22 meses después de establecida.	33
Cuadro 7. Significancia de factores para altura, diámetro y supervivencia.	34

ANEXOS

Anexo 1. Formato de evaluación de plántula en vivero antes de salir a reforestación.	40
Anexo 2. Formato de evaluación de plántula en laboratorio, prueba destructiva. .	41
Anexo 3. Formato de evaluación en reforestación.	41

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques desempeñan un papel clave en la regulación del clima en el planeta. Además, generan bienes y servicios para la humanidad, ya sea de forma directa o indirecta. Lamentablemente, en nuestro país entre los años 2005 y 2010 su área se ha ido reduciendo a una tasa de 155 000 ha por año, a causa de la extracción desmedida de madera, cambio de uso de suelo para agricultura y ganadería, incremento de la mancha urbana y mal uso del fuego (INEGI, 2013). Por ejemplo, para el año 2014 la Comisión Nacional Forestal registró 5325 incendios sobre 155 533.52 ha afectadas en toda la república. La mayoría de ellos por quemas agropecuarias y varios para propiciar el cambio de uso de suelo ilegal. Este último es el mayor factor de deforestación debido a que genera ingresos económicos a corto plazo. Es por ello que durante los últimos años en México se ha incrementado la reforestación y restauración (CONAFOR, 2014). Acorde con INEGI (2013), tan sólo en el año 2011 en el país se registró una reforestación de 226 838 ha. Lamentablemente, la supervivencia de estas plantaciones es baja.

Con el propósito de abastecer la necesidad de planta para reforestación, se tienen establecidos cientos de viveros forestales en todo el país, aunque una parte de ellos con tecnología avanzada, aún se sigue experimentando en la producción. Esto obedece, en parte, a que la cantidad de especies que se producen en estos viveros va en aumento. Con frecuencia no se cuenta con información técnica sobre cómo producir las especies que se trabajan por vez primera. En las zonas donde se lleva a cabo la reforestación, se encuentran presentes diversos valores de supervivencia,

con frecuencia atribuyéndose la mortandad de planta en campo a la sequía o a otros factores ambientales como; las heladas, además del sobrepastoreo y el mal uso del fuego son otros factores relevantes. No obstante, un factor adicional para que la reforestación no sea óptima es la calidad de planta. Esta debe ser decididamente atendida para lograr una supervivencia mayor en la reforestación. Rodríguez (2007), reportó que los aspectos y operaciones que más pueden afectar la calidad de planta son: tamaño de bolsa o contenedor, densidad, trasplante, tipo de sustrato, riegos, fertilización, micorrizas, temperatura, luz, remociones y podas de raíz, cuidados contra plagas y enfermedades, adecuada fase de endurecimiento, carga, transporte y descarga, concentración, arrime y plantación.

De acuerdo con Rodríguez (2007), se debe visualizar de dos formas el control de calidad de planta: la primera para obtener ciertos estándares morfológicos y fisiológicos, que denotan su calidad y la segunda, está relacionada con la especificación de dichos estándares evaluados estadísticamente en campo, sin embargo, en México han sido escasamente evaluados.

Además, de su aporte para el mejor conocimiento del manejo en vivero y reforestación con la especie bajo estudio, los resultados de este estudio serán de utilidad para la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Morelos (SDS). Debido a que la investigación se desarrolló en el vivero forestal de Tetela del Volcán, Mor., que está a cargo de dicha dependencia. Además, se aportará información para ser utilizada en los viveros forestales que produzcan dicha especie en el estado y en el país.

2. OBJETIVOS

Para la realización del presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

2.1.- Objetivo General

Evaluar el efecto de calidad de planta en *Pinus montezumae* Lamb., en vivero y campo, 22 meses después de establecida la reforestación.

2.2.- Objetivos Particulares

2.2.1.- Identificar para qué exposiciones y altitudes es adecuada la calidad de planta que se produce en vivero.

2.2.2.- Evaluar supervivencia y desarrollo de la especie en campo 22 meses después de establecida la reforestación.

2.2.3.- Analizar y evaluar la especie para establecer sus parámetros de calidad.

3. HIPÓTESIS

Los brinzales de *Pinus montezumae* Lamb., establecidos en la parte alta y exposición norte de la loma, tendrán mayor aclimatación y con ello la supervivencia y crecimiento serán mayores comparados con los establecidos en exposición sur, más seca.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Deforestación.

La FAO (2015) define la deforestación como: “La transformación del bosque en otro uso de la tierra o la reducción de la cubierta de copa por debajo del 10%. La deforestación implica la pérdida duradera o permanente de la cubierta forestal y la transformación del bosque en tierras dedicadas a otros usos”. Con base en esta definición los países reportan a la FAO las cifras de deforestación para su integración y publicación en la “Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales”, (FRA).

De acuerdo con FAO (2015), de 1990 al primer semestre de 2015, se han perdido aproximadamente 129 000 000 ha de bosques en el mundo, superficie equivalente a Sudáfrica. Menciona que las causas de la pérdida de bosque se dan por el aumento de la población, por lo que estos terrenos se convierten en agrícolas, potreros o son absorbidos por la mancha urbana. Sin embargo, también menciona que en los últimos 25 años se ha observado que la tasa de deforestación mundial

se redujo en un 50%, aproximadamente. Esto debido a que cada vez aumenta la superficie de zonas forestales protegidas y más países están mejorando la gestión y legislación forestal.

CONAFOR (2014) realizó un análisis de la dinámica de cambio de los recursos forestales del país, con información de las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI para el Informe Nacional de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010. Se estimó que en el periodo 2000 - 2005, la deforestación neta anual fue de 235 000 ha por año, mientras que para el periodo 2005 - 2010 fue de 155 000 ha por año, de las cuales 9000 ha correspondieron a bosques templados y 146 000 ha a selvas. Durante el periodo 2005 - 2010, la superficie forestal se redujo a una tasa de 0.24% anual.

Se refiere al cambio de uso de suelo ilegal de terrenos forestales con fines productivos como el mayor factor de deforestación. Las personas dueñas y poseedoras de terrenos forestales han optado por emplear sus tierras en usos económicos alternativos al aprovechamiento forestal, con la finalidad de tener ingresos en plazos cortos. Otros factores principales de deterioro de los ecosistemas forestales son el sobrepastoreo, los incendios forestales por mal uso del fuego, la tala clandestina, las plagas y enfermedades forestales, las prácticas de manejo inadecuadas (INEGI, 2013).

4.2. Reforestación.

CONAFOR (2010) divide a la reforestación en dos tipos. El primero es la reforestación urbana, el cual se divide en cuatro subtipos, de acuerdo a sus objetivos: a) reforestación estética, b) reforestación de investigación, c) experimental y demostrativa, c) reforestación conductiva o moderadora de ruido y reforestación para control de sombra. El segundo tipo es la reforestación rural, la cual también se divide en cuatro subtipos, conforme al propósito que persiguen: a) de conservación, b) de protección y restauración, c) agroforestal y d) productiva.

INEGI (2013), define a la reforestación como la acción de implantar y atender vegetaciones forestales en áreas donde ya no existe o tienen muy poca, para merminar los daños y/o efectos ocasionados por la deforestación, los incendios forestales y la degradación de suelos. En México se registró una superficie reforestada de 226 838 ha, durante 2011, la cual comprende prácticamente todos los tipos de vegetación, tan sólo los estados de: Coahuila, Veracruz, Zacatecas y San Luis Potosí, sumaron 33.83% del área reforestada a nivel nacional.

La meta del Gobierno Federal para el periodo 2012-2018, es reforestar 1 000 000 ha con 200 000 000 de árboles por año. Todo esto mediante la utilización de novedosas técnicas y métodos de producción de planta (CONAFOR, 2015).

4.3. Viveros Forestales.

Los viveros tienen un propósito fundamental, el cual es la producción de plantas de calidad; éstas deben ser sanas y vigorosas. En el vivero se les proporcionan los cuidados necesarios durante la producción, hasta que son plantadas en su sitio definitivo (Nicolas y Roche-Hamon, 1988).

Hasta principios de 1990, en México se utilizó el sistema tradicional para producir planta forestal, los brinzales eran producidos a la intemperie, en bolsas de polietileno con volúmenes de 300 a 800 cm³, utilizando sustratos compuestos de tierra de monte y arena de río principalmente (Prieto *et al.*, 1999). Posteriormente se adoptó la tecnología para producir planta forestal bajo viveros y en contenedores rígidos, con volúmenes de 50 a 250 cm³ y con sustratos artificiales, siendo hasta ahora el *peat moss* (turba de musgo o musgo turboso), la agrolita y la vermiculita los más utilizados, agregando fertilizantes químicos a dichos sustratos (Landis *et al.*, 1990).

Con el propósito de asegurar la producción de planta anual utilizada para el periodo de reforestación en el país, la CONAFOR cuenta con 341 viveros forestales dispersos en el territorio nacional. De ellos 297 corresponden a viveros atendidos por organizaciones sociales, gobiernos municipales o estatales; 25 viveros forestales operados por militares y 19 que opera directamente la CONAFOR. En estos viveros se producen 112 especies forestales de clima templado frío y tropical; de las cuales 30 especies son coníferas y 72 latifoliadas y otras (CONAFOR, 2015).

4.4. Calidad de Planta.

Duryea (1985) define como planta de calidad a aquella que reúne ciertas características morfológicas y fisiológicas necesarias para sobrevivir y desarrollarse, en las condiciones ambientales en las que será plantada definitivamente. Los primeros conceptos sobre calidad de planta aparecieron en las décadas de los años 1930s y 1940s en varios manuales, publicados por investigadores de la época y citados por Mexal y Landis (1990). Desde entonces ya se utilizaban los parámetros de diámetro al cuello, altura total de la plántula y calidad y desarrollo potencial de la raíz.

Acorde con Prieto *et al* (1999), La altura es la característica morfológica más fácil de medir en un brinzal. Sin embargo, su valor como indicador único es bajo, pero al combinarlo con el diámetro del tallo y arquitectura de la parte aérea adquiere una mayor significancia. Ritchie (1984) menciona que las plantas altas representan mayor dificultad al ser transplantadas, además de ser más susceptibles a sufrir daños mecánicos, agregando que la parte aérea y subterránea no son proporcionales en ellas. Por otro lado, South *et al.* (1984) encontraron que existe una fuerte correlación entre las variables diámetro del cuello del tallo y supervivencia de la plantación.

De acuerdo con Villar (2003), la calidad de una planta es el resultado de cuatro componentes: a) **La calidad genética**, la cual hace referencia al origen de la semilla o los materiales de reproducción a partir de los que se obtuvo el material vegetativo.

Muchas especies presentan variaciones funcionales entre poblaciones dando lugar a eco-tipos, los cuales presentan diferentes capacidades de respuesta a determinados factores abióticos y bióticos. b) **La calidad morfológica y fisiológica**, que depende de sus características genéticas y hace referencia a los estados que pueden adoptar un conjunto de atributos funcionales más o menos plásticos relacionados con la economía hídrica y de carbono de la planta. Los atributos morfológicos cuantitativos más utilizados para evaluar la calidad de planta son: altura parte aérea, diámetro del cuello de raíz, masa aérea y radical, esbeltez de los tallos (altura / diámetro), proporción entre la masa aérea y la radical, índice de Dickson y longitud de las yemas. c) **La calidad sanitaria**, que hace referencia a la presencia de agentes patógenos en la planta que pueden mermar su futuro desarrollo y el de las poblaciones de plantas presentes en la zona de restauración.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Zona de Estudio

El vivero donde se realizó la investigación, fue el vivero forestal “Tetela del Volcán”, en el municipio de Tetela del Volcán en el estado de Morelos, mismo que se encuentra a cargo de la Secretaría de Desarrollo Sustentable (S.D.S.), del gobierno del estado. La especie con la que se trabajó fue *Pinus montezumae* Lamb, conocido en la zona con el nombre común de ocote.

En la Figura 1, se observa la ubicación del Municipio de Tetela del Volcán, en el estado de Morelos, en su extremo noreste, sobre las faldas del volcán Popocatepetl, del cual recibe su apelativo.



Figura 1. Localización del municipio de Tetela del Volcán, Morelos.

5.1.1. Geografía. Tetela del Volcán se encuentra localizada en el extremo noreste del territorio de Morelos y es limítrofe con los estados de México y Puebla. El vértice de este límite es la cima del Popocatepetl, que es el punto más elevado de la zona. Las coordenadas geográficas extremas del municipio son $18^{\circ} 49' - 19^{\circ} 01'$ de latitud norte y $98^{\circ} 37' - 98^{\circ} 47'$ de longitud oeste. La altitud varía de los 1700 a los 5000 msnm. La extensión territorial total es de 98.5 km².

Limita al oeste con el municipio de Ocuituco y al sur con el municipio de Zacualpan de Amilpas; al norte con el municipio de Ecatzingo y el municipio de Atlautla del

Estado de México; y al este con el municipio de Tochimilco y con el municipio de Atzitzihuacán del estado de Puebla (INEGI, 2009).

5.1.2. Orografía e hidrografía. Tetela del Volcán se encuentra completamente dominada por la elevación del volcán Popocatepetl, que alcanza 5500 msnm y que constituye el punto más elevado del estado de Morelos. Todo el territorio está constituido por sus faldas, entre las que destacan como accidentes varias barracas. Todo el municipio pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neo-volcánico y a la sub-provincia fisiográfica de lagos y volcanes de Anáhuac.

La principal corriente del municipio es el río Amatzinac que desde los glaciares del Popocatepetl desciende a través de la barranca del mismo nombre y cruza el municipio. Su corriente se origina en el deshielo de las nieves perpetuas del volcán, y destaca por tener un caudal permanente todo el año. En la misma zona del Popocatepetl, tiene además su fuente el río Cuautla, que igualmente desde el deshielo de la nieve del volcán desciende hacia el valle, constituyéndose como uno de los principales ríos del oriente del estado de Morelos. Todo el territorio de Tetela del Volcán pertenece a la Región hidrológica Balsas, pero a dos diferentes cuencas: la zona occidente a la Cuenca del río Grande de Amacuzac y la parte oriente a la Cuenca del río Atoyac (INEGI, 2009).

5.1.3. Clima y ecosistemas. En el municipio se registran cuatro diferentes tipos de clima que son determinados por la altitud. Por tanto, sus zonas de influencia

descienden en sentido norte-sur desde la cima del Popocatepetl, sitio cubierto por nieves perpetuas y en la que el clima se encuentra catalogado como frío de altura con marcado invierno. La siguiente zona registra clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano. En la zona de altitud media del municipio el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. Finalmente, en el extremo sur podemos localizar clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano.

La temperatura media anual sigue exactamente el mismo patrón. En la cima del Popocatepetl, la temperatura es de 0 a 4°C. En la zona central se encuentra el rango de 16 a 18°C que es la más extensa. Finalmente, en la zona más al sur el rango de 18 a 20°C.

Aproximadamente la mitad norte del municipio tiene una precipitación promedio anual de 1200 a 1500 mm, la siguiente zona hacia el sur de 1000 a 1200 mm y una pequeña sección del extremo sur inferior a los 1000 mm, que comprende el resto del estado de Morelos.

El municipio se encuentra cubierto en su mayor parte por bosque de pino, pino encino y oyamel: *Pinus montezumae*, *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Ehrenb ex Schltdl), *Pinus pseudostrobus* (Lindl), *Abies religiosa* (Kunth Schltdl & Cham), *Quercus rugosa* (Née), *Q. Laurina* (Bonpl), con excepción de la zona más elevada del Popocatepetl, donde se encuentran pastizales y la cima cubierta por nieves perpetuas. La zona más baja del municipio se encuentra dedicada a la agricultura. La fauna está constituida por venado cola blanca

Odocoileus virginianus mexicanus (Gmelin 1788), mapache *Procyon lotor* (Linnaeus, 1758), zorrillo *Mephitidae* sp (Bonaparte, 1845), ardilla *Sciurus aureogaster* (F. Cuvier 1829), ratón de los volcanes *Neotomodon alstoni* (Merriam 1898), teporingo *Romerolagus diazi* (Ferrari-Pérez, 1893), puma *Puma concolor* (Linnaeus, 1771), codorniz moctezuma *Cyrtonyx montezumae* (Vigors, 1830), gallinita de monte *Dendrortyx macroura* (Jardine et Selby 1828), paloma bellotera *Zenaida asiática* (Linnaeus, 1758), jilguero *Carduelis carduelis* (Brisson, 1760), víbora de cascabel *Crotalus* sp (Linnaeus, 1758), entre otras especies (INEGI, 2009).

5.1.4. Demografía. De acuerdo a los resultados del Censo de Población y Vivienda realizado en 2005 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la población total del municipio de Tetela del Volcán es de 17 255 habitantes, de las cuales 8212 son hombres y 9043 mujeres; por tanto el porcentaje de población masculina es de 47.6%. La tasa de crecimiento poblacional anual de 2000 a 2005 ha sido del 0.9%. La población menor de 15 años de edad equivale al 38.0%, mientras que entre esa edad y los 64 años se encuentra el 56.0% restante. El 87.3% de la población reside en localidades de más de 2500 habitantes y 11.7% de los pobladores mayores de cinco años de edad son hablantes de alguna lengua indígena (INEGI, 2009).

5.2. Proceso de producción de *Pinus montezumae*, específico del vivero

Sustrato. Para la producción de la planta se utilizó una mezcla de sustrato de 42% de *peat moss*, 31% de vermiculita y, 27% de agrolita. Se agregó fertilizante osmocote (15 - 9 - 12).

Semilla. La semilla fue comprada con la empresa Distribuidora de Semilla Forestal (DiSeFo), con oficinas en la ciudad de Cuernavaca.

Germinación. Esta etapa se realizó del 14 al 18 de noviembre del 2011. Previamente se remojó por 24 horas la semilla en una solución de 1 gL⁻¹ de “Captán”. Posteriormente se sembró en contenedores de 49 cavidades de 150 ml, se colocó una semilla por cavidad, a una profundidad del doble del grosor de la semilla. Los contenedores se colocaron en camas de acero con malla ciclónica, la cual permite que las raíces salgan por el orificio inferior del cono y tengan una poda natural al tener contacto con el aire.

Riego y Fertilización. Los riegos y la fertilización se realizaron a través de un robot para fertirrigación, por aspersión. Los riegos fueron proporcionados cada tercer día durante todo el proceso de producción de la planta. Cabe señalar que en el presente trabajo se evaluó la planta como fue producida en el vivero, incluidas las prácticas de fertilización. El cultivo de los árboles se dividió en las etapas siguientes:

Etapa inicial. Ésta inició a partir de la germinación y terminó el día primero de marzo. La fertilización se hizo con fertilizante marca ultra sol inicial (15-30-15), a través del sistema de riego cada tercer día. Se aplicaron 1.5 kg de fertilizante, disuelto en 2,000 L de agua. Esto corresponde a 112.5 ppm N, 99 ppm P y 93 ppm K. También se realizó la aplicación de inóculo de micorrizas, de nombre comercial Glumix, la primera ocasión se aplicó durante la siembra, aplicando 15 g por contenedor, la segunda ocasión se aplicó 20 días después de la siembra, al igual 15 g por contenedor, esta vez fue mediante el riego.

Etapa de desarrollo. Esta etapa inició el segundo día del mes de marzo y concluyó el primer día del mes mayo, se cambió el fertilizante químico utilizado, aquí se aplicó fertilizante químico de la marca comercial Ultrasol (20-10-20), aplicando 1.8 kg de fertilizante, disuelto en 2,500 L de agua. Lo anterior equivale a 144 ppm N, 32 ppm P y 119.5 ppm K.

Etapa final; A partir del mes de junio se cambió la dosis por última vez, utilizando fertilizante químico finalizador conifer finisher (4-25-35), aplicando 1.6 kg de fertilizante, disuelto en 2,500 L de agua. De esta forma se aplicaron 25.6 ppm N, 70.4 ppm P y 185.9 ppm K.

Es importante mencionar que la planta de *Pinus montezumae*, no pudo ser reforestada en el año 2012, debido a algunos imprevistos surgidos en la Secretaría a la que está a cargo el vivero, el material vegetativo permaneció otro año más en vivero y fue llevada a campo en agosto del 2013. Los riegos continuaron siendo

cada tercer día pero la fertilización fue semanalmente con el fertilizante químico llamado finalizador (4-25-35). Aplicando 1.5 kg de fertilizante en 2500 l de agua.

Labores culturales. Se realizaron dos deshierbes únicamente durante el proceso de producción de la plántula.

5.3. Evaluación de planta en vivero

Para realizar la evaluación del material vegetativo antes de salir a reforestación se utilizó un formato de campo, el cual se anexa al final (Anexo I).

Las plantas evaluadas fueron seleccionadas bajo un muestreo al azar en las platabandas del vivero. De acuerdo con Rojas (2002), la intensidad de muestreo sugerida es de 0.5% para poblaciones mayores a 50 000 plantas. Sin embargo, él recomienda bajar dicha intensidad cuando se trata de viveros tecnificados, y la producción es homogénea. En este trabajo se obtuvo una muestra de 0.33%, evaluándose 200 plantas de las 60 000 que se produjeron. Se les midió la altura (cm), el diámetro del cuello (mm), el porcentaje de micorrización que fue mediante observación, asignando un valor en escala del 0 al 100, donde cero es sin presencia evidente de micorrizas en el cepellón y 100 es completamente lleno de micorrizas. Estas plantas fueron enviadas al sitio de reforestación.

5.4. Evaluación de planta en laboratorio

En esta evaluación se obtuvo una muestra de 0.16% del total de plantas producidas, retomando la recomendación de Rojas (2002), de reducir la intensidad de muestreo cuando se trata de producción homogénea en viveros tecnificados. Además se trata de una muestra destructible. Se utilizó un formato, el cual se anexa al final (Anexo II). Se llevaron 96 brinzales al Laboratorio de Semillas Forestales de la División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, para medirlas. Este material fue seleccionado mediante un muestreo al azar en las platabandas del vivero.

En esta etapa se midió la altura (cm), el diámetro del cuello de la planta (mm), el porcentaje de micorrización mediante observación, asignando un valor en escala del 0 al 100, donde cero es sin presencia de micorrizas en el cepellón y 100 es completamente lleno de micorrizas. Posteriormente se deshizo el cepellón para limpiar la raíz y medir su longitud (cm). Una vez limpio el sistema radical la planta fue evaluada mediante observación de las arquitecturas aérea y radical; se dio un valor de 3 si no presentó visualmente daño alguno, 2 si 30 % de la plántula presentó algún daño, y 1 si más del 50% de la planta presentó daños. Después se procedió a contar el número de raíces secundarias mayores a un centímetro.

Para continuar con la evaluación, y utilizando el mismo formato, se procedió a obtener una muestra destructiva de 96 plantas. Al tallo se le quitaron las acículas, fueron pesadas y colocadas en una bolsa de papel, la cual se etiquetó como A1, que significa acículas de la planta número 1. En seguida se realizó un corte para

separar el sistema radical del tallo y también fueron pesadas por separado. Acto seguido, se colocaron las raíces en una bolsa de papel y el tallo en otra, etiquetadas como R1 y T1, que significa: raíz de la planta número 1 y tallo de la planta número 1 respectivamente. Este proceso se realizó para todas las plantas de la muestra, con esto se obtuvo el peso fresco por cada parte de la planta y por ende el peso total.

Una vez separadas las acículas del tallo, éste de la raíz, y pesadas cada una de las partes por separado, fueron embolsadas y etiquetadas cada una de las plantas. Se colocaron en orden del 1 al 96 dentro de los hornos de secado del laboratorio, los cuales fueron programados a una temperatura constante de 75 °C. Posteriormente se volvieron a pesar las primeras 25 plantas, al día 3, 5 y 7 después de ingresadas al horno, del día 5 al 7 se observó que el peso fue constante, por lo tanto se procedió a pesar cada una de las plantas para obtener el peso seco de follaje, tallo, raíz y total por planta (Figuras 2 y 3).



Figura 2. Obtención del peso seco de acículas, tallo y raíz, para cada uno de los brinzales.



Figura 3. Horno de secado para obtener el peso seco de cada una de las partes de los árboles.

5.5. Indicadores de Calidad de Planta

5.5.1. Altura de planta. Este indicador se evaluó en vivero y en laboratorio. Es decir, se evaluó en la planta que se fue a reforestación y en la planta de la muestra destructiva en laboratorio. Posteriormente fue evaluado y comparado su desarrollo con el de los árboles que fueron plantados y evaluados 22 meses más tarde.

5.5.2. Diámetro del cuello de la planta. Al igual que la altura, se evaluó en vivero y en laboratorio, con el mismo objeto de evaluar y comparar el desarrollo con el de la planta reforestada.

5.5.3. Porcentaje de micorrización. El porcentaje de micorrización se evaluó mediante observación y se le asignó un valor del 0 al 100, donde 0 es sin presencia de micorrizas en el cepellón y 100 es completamente lleno de micorrizas.

5.5.4. Arquitectura de parte aérea y radical. Al igual que la micorrización en este indicador la evaluación se hizo mediante observación. Sólo se evaluó la planta de la muestra destructiva, ya que se deshizo el cepellón, se limpió y lavó para observar el sistema radical. Se dio un valor de 3 si no presentó visualmente daño alguno, 2 si 30 % de la plántula presentó algún daño, y 1 si más del 50% de la planta presentó daños.

5.5.5. Longitud de raíz principal y número de raíces secundarias mayores a un centímetro. Una vez limpio el sistema radical se procedió a medir la longitud de la raíz principal y a contar las raíces secundarias > 1 cm de longitud.

5.5.6. Relación entre peso seco aéreo y peso seco radical. Con los datos de peso seco obtenidos en laboratorio de cada una de las partes de las plantas, y con ellos el peso total, se obtuvo este indicador y los siguientes cinco indicadores de calidad de planta. Para obtenerlo se dividió el peso seco de la parte aérea entre el peso seco de la parte subterránea o raíz.

Su fórmula es:

$$A/S = PSA/PSS$$

Donde: A/S es la relación peso seco parte aérea entre peso seco raíz, PSA el peso seco de la parte aérea, PSS es el peso seco de la raíz.

5.5.7. Peso relativo de la parte aérea. Para obtener este indicador (PR_A) únicamente se dividió el peso seco aéreo (PSA) entre el peso seco total (PST):

Su fórmula es:

$$PR_A = PSA/PST$$

5.5.8. Peso relativo de la raíz o parte subterránea. Para obtener este indicador (PS_R) se dividió el peso seco radical (PSS) entre el peso seco total (PST):

Su fórmula es:

$$PS_R = PSS/PST$$

5.5.9. Coeficiente de esbeltez. El coeficiente de esbeltez (CE), es la relación entre la altura de la planta (A, cm) y su diámetro (D, mm):

$$CE = (A/D)$$

5.5.10. Índice de Dickson. Este indicador (ID) se obtuvo dividiendo el peso seco total de la planta (PST, g) entre la suma del coeficiente de esbeltez y la relación parte aérea entre parte radical:

$$ID = PST / ((PSA/PSS) + (A/D)).$$

Para la evaluación de calidad de planta en laboratorio, se llevó a cabo una correlación de Pearson, mediante el programa SAS, para microcomputadoras.

5.6. Pruebas de calidad de planta

Además de evaluar los anteriores indicadores de calidad de planta, también se realizaron las siguientes dos pruebas.

5.6.1. Prueba de crecimiento potencial de raíz

Para realizar la presente prueba se necesitaron cuatro macetas de plástico de 4 l cada una, a las cuales se les llenó con una mezcla de sustrato de 1/3 de agrolita, 1/3 de vermiculita y 1/3 de turba de musgo. Posteriormente se transplantaron tres brinzales a cada maceta. Estas macetas se dejaron por un mes, realizando riegos un día sí y un día no. Al mes de ser transplantadas fueron extraídas, con el objetivo de contar las raíces nuevas mayores a 1 cm que sobresalían del cepellón. Tales raíces nuevas fueron identificadas por ser de color blanco y estar turgentes (Figuras 4 a 6).



Figura 4. Preparación de mezcla de sustrato utilizado para la prueba de crecimiento potencial de raíz.



Figura 5. Trasplante a macetas para observar posteriormente la emisión de raíces nuevas.



Figura 6. Extracción de brinzales y conteo de raíces nuevas generadas a lo largo de un mes.

5.6.2. Prueba de tensión hídrica

Para realizar esta prueba fue empleada la cámara de Scholander. Se utilizaron 10 plantas, de las cuales fue obtenida la parte superior de su tallo con un corte en diagonal. La muestra se inserta en la tapa de la cámara, la tapa cierra una cámara donde queda la muestra y a la cual se le aplica presión con gas N. De esta forma se mide la presión necesaria para comenzar a extraer el agua a la muestra. Se mide su tensión hídrica. La primera evaluación a cinco plantas se realizó posterior a un riego de las 10 plantas: las otras cinco plantas se evaluaron siete días después, sin que fueran regadas durante tal periodo, por lo que ya presentaban estrés hídrico. La Figura 7, muestra el corte del brinzal, para posteriormente ser colocada en la cámara y realizar la prueba, las 10 plantas llevaron el mismo tratamiento.



Figura 7. Corte para colocación de muestra de brinzal en la cámara de Scholander.

En las Figuras 8 y 9 se observa una parte de la cámara, el tubo de acero con tapa del mismo material, cuenta con un orificio en el centro con un sello de goma, donde se colocan las muestras del brinjal por separado, el manómetro proporciona la lectura de la presión a la cual se produce la liberación de agua dentro del tallo.



Figuras 8 y 9. Medición de la tensión hídrica.

Para la prueba de tensión hídrica se llevó a cabo una prueba de T para comparar las medias de plantas bajo los dos tratamientos aplicados, tensión hídrica y sin ésta.

5.7. Evaluación en reforestación.

La reforestación fue establecida en el mes de agosto de 2013 y su evaluación se realizó en junio de 2015, es decir 22 meses después. El formato utilizado en esta

etapa se incluyó como Anexo III. Aquí se registró la altura, el diámetro, y la condición de cada una de las plantas, es decir, si estaba viva o muerta.

Se establecieron parcelas en la parte alta y baja del cerro, en exposición norte y sur, en ambas partes tres parcelas, es decir, 12 parcelas en total, en la Figura 10 se observa una de las plantas evaluadas. Se trató de un experimento factorial 2x2. Cada parcela consto de un marco de plantación de 7 x 7 plantas, para que al ser evaluadas se tomara sólo la parte central, quedando 5 x 5 plantas para evitar el posible efecto de borde. Por lo tanto se midieron 12 parcelas con 25 plantas cada una (300 plantas). Posteriormente se evaluaron los datos realizando un Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA), con apoyo del programa SAS para microcomputadoras.



Figura 10. Evaluación en reforestación.

6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1. Evaluación de planta en vivero

Las alturas y diámetros promedio hallados para *P. montezumae*, están dentro de los intervalos de calidad referidos para otros pinos (Sáenz, *et al*, 2014). Esta especie es cespitosa (Perry, 1991), pero no en todas sus poblaciones, como sucede con *P. hartwegii* Lindl. (Rodríguez, 2015). La elevada variabilidad de alturas deja ver que así como la muestra, la planta producida en vivero tuvo diferentes niveles de intensidad en la manifestación del citado carácter. También debe considerarse que la planta estuvo en vivero varios meses más de lo que comúnmente se utiliza para especies cespitosas. No obstante, el diámetro mostró mayor consistencia.

Cuadro 1. Resumen de datos de las variables evaluadas en el vivero forestal Tetela del Volcán.

Factores Evaluados	Máxima (o)	Mínima (o)	Promedio
Altura	37 cm	2 cm	17.84 cm
Diámetro	24 mm	6 mm	15.05 mm
% de micorrización	100%	0%	10.30%

Con respecto a la variable de arquitectura aérea y radical, se tiene que el 77.5% de planta cuenta con buena calidad, 17% con media y 5.5% con mala. Lo anterior, junto con los niveles de micorrización y la elevada supervivencia que se detallan más adelante, muestran que la calidad de la planta es aceptable.

6.2. Evaluación de planta en laboratorio

Los datos evaluados de laboratorio se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadísticas básicas de las variables evaluadas en laboratorio.

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Diám (mm)	13.6	3.5	5	25
Alt (cm)	14.9	8.6	2	40
Mico	9.4	18.4	0	100
Raíz (cm)	11.6	5.5	4	42
Raíces	14.6	3.9	7	31
Arq	2.6	0.7	1	3
PSA (g)	4.2	1.9	0.7	9.6
PST (g)	3.4	2.0	0.5	10.3
PSR (g)	2.6	1.2	0.4	5.9
PSA/PSS	3.0	0.8	1.0	5.2
PSA/PST	0.7	0.1	0.5	0.8
PSS/PST	0.3	0.1	0.2	0.5
CE (cm/mm)	1.2	0.7	0.1	3.9
ID	4.7	1.8	1.1	9.7

Diám = diámetro del cuello, Alt = altura, Mico = porcentaje de micorrización del cepellón, Raíz = longitud de raíz principal, Raíces = número de raíces mayores a 1 cm, Arq = arquitectura de parte aérea y radical, PSA/PSS = relación entre peso seco aéreo y peso seco radical, PSA/PST = Peso relativo de la parte aérea, PSS/PST = Peso relativo de la raíz, CE = Coeficiente de esbeltez, ID = Índice de Dickson. Para obtener las ultimas 5 variables primeramente se obtuvieron PSA= peso seco acículas, PST= peso seco tallo, PSR= peso seco radical.

Las correlaciones de Pearson de los datos obtenidos de las 11 variables evaluadas en laboratorio, se muestran en el Cuadro 3. Solamente se señalan las correlaciones significativas entre las variables evaluadas, con $p < 0.05$ y con el coeficiente de

correlación > 0.4 . Destacan variables sencillas de medir, como la altura y el diámetro, con nueve y cinco correlaciones con otras variables, respectivamente.

Cuadro 3. Correlación de Pearson, para cada una de las variables evaluadas en laboratorio. Sólo se muestran las que resultaron significativas y con $R^2 > 0.4$.

Variables		R^2	P
Diám	PSA	0.53097	< 0.0001
Alt	Mico	0.28068	0.0056
Alt	PSA	0.4043	< 0.0001
Mico	PSA	0.46079	< 0.0001
Raíz	Raíces	0.43885	< 0.0001
PST	Diám	0.43251	< 0.0001
PST	Alt	0.58125	< 0.0001
PST	Mico	0.46416	< 0.0001
PST	PSA	0.85309	< 0.0001
PSR	Diám	0.56928	< 0.0001
PSR	Alt	0.39012	< 0.0001
PSR	Mico	0.41354	< 0.0001
PSR	PSA	0.78232	< 0.0001
PSA/PSS	Alt	0.32735	0.0011
PSA/PSS	PSA	0.37439	0.0002
PSA/PST	Alt	0.29159	0.0039
PSA/PST	PSA	0.39397	< 0.0001
PSS/PST	Alt	-0.29159	0.0039
PSS/PST	PSA	-0.39397	< 0.0001
CE	Diám	-0.38011	0.0001
CE	Alt	0.87445	< 0.0001
ID	Diám	0.32746	0.0011
ID	Alt	0.64378	< 0.0001
ID	Mico	0.37029	0.0002
ID	PSA	0.62388	< 0.0001

6.3. Prueba de crecimiento potencial de raíz

Se observó una gran respuesta de la planta para la generación de raíces nuevas, lo cual es un buen indicador de calidad de planta, ya que al generar abundantes raíces nuevas, el brinjal tendrá mayor facilidad para adaptarse al sitio de plantación y, por lo tanto, su desarrollo será mejor y, aumentará su porcentaje de supervivencia.

Cuadro 4. Prueba de crecimiento potencial de raíz.

Planta #	Raíces
1	51
2	37
3	66
4	35
5	62
6	53
7	49
8	29
9	73
10	38
11	84
12	86
Máximo	86
Mínimo	29
Promedio	55.25

Se considera que para el *Pinus montezumae*, estudiado, 55 raíces nuevas generadas en la prueba de crecimiento potencial de raíz, implican una supervivencia promedio de 88.6% para exposiciones norte y 83.3% para exposiciones sur, en las condiciones del estudio. Cabe mencionar que en otros trabajos, se señala una menor cantidad de raíces nuevas en periodos similares como, Simpson y Vyse

(1995), quienes con >10 raíces nuevas establecen una supervivencia en campo >70% en *Picea glauca* (Moench) Voss y *Pinus contorta* Douglas.

En ambientes favorables y con especies que son buenas productoras de raíces nuevas, la prueba de CPR proporciona sus mejores resultados (Ritchie y Landis, 2003). La cantidad de raíces nuevas referida en el párrafo anterior para las tres especies comparadas, deja ver que *P. montezumae* es un buen productor de raíces nuevas. El que el ambiente de plantación no haya sido limitativo, lo que muestra la buena supervivencia obtenida, deja ver que para esta especie y localidad estudiada, la prueba de CPR es apropiada.

De acuerdo con Folk y Grossnickle (1997), esta prueba, debe realizarse bajo condiciones similares al sitio de plantación o reforestación para tener un resultado más acercado a la realidad, tal como se hizo en el presente trabajo. Por otro lado, Ritchie (1985), menciona que la prueba puede realizarse en condiciones idóneas de crecimiento y se puede evaluar a los siete días.

6.4. Prueba de tensión hídrica

Se hallaron diferencias entre las lecturas de planta con y sin tensión hídrica ($p=0.029$). Las plantas regadas el día anterior a esta prueba, tuvieron una media de 0.71 MPa, mientras que las que permanecieron sin ser regadas durante una semana alcanzaron 1.36 MPa. De acuerdo con Landis *et al.* (1989), La primera cifra está dentro del intervalo recomendado para el periodo de endurecimiento, cuando se

cultivan especies forestales en contenedores. La segunda cifra supera la tensión a que se debe someter a las plantas en el vivero, incluso durante la etapa de endurecimiento, ya que no se debe rebasar de 1 MPa en vivero jamás, pues esto afecta el crecimiento y aumenta las probabilidades de daños y mortalidad. Por otra parte, esta prueba deja ver que, aproximadamente, y para las condiciones trabajadas en el vivero forestal donde se llevó a cabo la investigación, por cada día que pasa sin que se riegue la planta, aumenta la tensión en 0.19 MPa (Cuadro 5).

Cuadro 5. Prueba de tensión hídrica. La prueba 1 hace referencia a planta regada el día anterior, la 2 a planta no regada durante una semana.

Observación	Prueba	Presión (Bars)	Promedio
1	1	8.5	7.1
2	1	5.5	
3	1	7	
4	1	8	
5	1	6.5	
6	2	7.5	13.6
7	2	12	
8	2	11	
9	2	21.5	
10	2	16	

6.5. Evaluación de planta en la reforestación

De acuerdo a la comparación de evaluación de vivero y de campo, durante el tiempo de plantación los brinzales han tenido un crecimiento del orden de 1 cm en altura y de 1.5 a 2.5 mm en diámetro, en las distintas condiciones del experimento (Cuadro 6).

Cuadro 6. Evaluación de reforestación 22 meses después de establecida.

Exposición	Altitud	Altura promedio (cm)	Diámetro promedio (cm)	Supervivencia promedio (%)
Norte	Alta	19.07	17.63	89.3
Norte	Baja	18.65	16.65	88
Sur	Alta	18.94	16.67	80
Sur	Baja	18.83	17.19	86.6

Si bien la supervivencia es alta, el escaso crecimiento en altura obedece a que se trata de una especie cespitosa (Perry, 1991).

No se hallaron diferencias significativas por ningún factor individual, ni por su interacción, para la altura ni el diámetro. En el caso de la supervivencia, sí hubo efecto de la exposición ($P=0.0222$), con la norte (88.7%) superando a la sur (83.3%) (Cuadro 7). Datos de la estación meteorológica “Tetela del Volcán” muestran que los años 2013 y 2014 fueron húmedos, con 1293.5 y 1179.6 mm, respectivamente. Tal abundante precipitación pudo contribuir a que la diferencia de humedad entre exposiciones fuera menor, con una pequeña diferencia en supervivencia y sin diferencias en diámetro.

Cuadro 7. Significancia de factores para altura, diámetro y supervivencia.

Variable	Factor o Interacción	P
Altura	Exposición	0.958
	Altitud	0.5614
	Exposición * Altitud	0.7301
Diámetro	Exposición	0.7416
	Altitud	0.7097
	Exposición * Altitud	0.2459
Supervivencia	Exposición	0.0222
	Altitud	0.195
	Exposición * Altitud	0.0667

7. CONCLUSIONES

La calidad de planta de *Pinus montezumae* producida en el vivero Tetela del Volcán, es aceptable, arroja alta supervivencia.

Los parámetros de calidad obtenidos en el presente trabajo, pueden ser considerados como predictores de una supervivencia de por lo menos 80% en las condiciones del estudio, que incluyen años sin limitaciones de humedad.

A pesar de la elevada humedad durante el periodo de plantación del estudio, la exposición norte mostró mayor supervivencia, lo que puede relacionarse con la mayor humedad que tipifica a tal exposición en el hemisferio norte.

Es posible que tales indicadores también lo sean para años secos, aunque posiblemente con menor supervivencia, debido a que la planta es robusta y con diámetros y proporción de raíz altos. No obstante, sería recomendable micorrizar, ya que bajo las condiciones que produce el vivero actualmente, la planta producida exhibe bajos niveles de micorrización.

Durante el desarrollo del trabajo se evidenciaron prácticas de vivero que aunque no fueron motivo del estudio, pueden ser mejoradas, como las concentraciones objetivo de fertilizante. Asimismo, idealmente las especies cespitosas son producidas en año y medio y la etapa de cultivo de establecimiento debiera recortarse a dos meses, además de alargar la de crecimiento a por lo menos seis meses.

8. LITERATURA CITADA

CONAFOR. 2010. Prácticas de reforestación, manual básico. Marketing Group. Guadalajara, Jalisco. 66 p.

CONAFOR. 2014. Programa nacional forestal 2014 – 2018, 2014.

Disponible en:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/5382Programa%20Nacional%20Forestal%202014-2018.pdf>

Consultada el 22/06/2015

CONAFOR. 2015. Reforestación 2015.

Disponible en:

<http://www.conafor.gob.mx/web/reforestacion-2015/>

Consultada el 13/07/2015

CONAFOR. 2015. Reporte semanal de resultados de incendios forestales, 2014.

Disponible en:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/5842Estad%C3%ADstica%20Final%202014.pdf>.

Consultada el 20/06/2015

DURYEY, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. In: DURYEY, M. L. (Ed.). Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA. 143 p.

FAO. 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Septiembre de 2015

Disponible en:

<http://www.fao.org/news/story/es/item/327382/icode/>

Consultada el 25/09/2015

FOLK, R.S. y S.C. GROSSNICKLE. 1997. Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. New Forests 13: 121-138.

INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tetela de Volcán, Morelos. 2009.

Disponible en:

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/17/17022.pdf>

Consultada el 23/06/2015

INEGI. 2013. Estadísticas del día mundial forestal, 21 de marzo de 2013.

Disponible en:

<http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2013/bosques0.pdf>

Consultada el 20/06/2015

LANDIS, T. D.; TINUS R., W.; McDONALD S., E.; BARNETT J., P. 1989. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 4. The Container Tree Nursery Manual. Agriculture Handbook 674. Washington, D. C. USDA Forest Service. 119 p.

LANDIS, T. D.; TINUS R., W.; McDONALD S., E.; BARNETT J., P. 1990. Containers and Growing Media. Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. Agriculture. Handbook. 674. Washington, D.C. USDA. Forest Service. 88 p.

MEXAL y LANDIS. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: ROSE, CAMPBELL y LANDIS. (Eds.) Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. 13-17 agosto, Roseburg, Oregon, USA: pp 17-35.

MUNICIPIO DE TETELA DEL VOLCÁN.

Disponible en:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Tetela_del_Volc%C3%A1n_\(municipio\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tetela_del_Volc%C3%A1n_(municipio)).

Consultada el 30/06/2015.

NICOLAS, J.P.; ROCHE-HAMON, Y. 1988. El vivero. Versión al español de Rodríguez del Rincón & Mancebo, 1988. Mundi Prensa. España. 243 p.

PERRY Jr., J. P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland. 231 p.

PRIETO R., J. A.; VERA C., G.; MERLÍN B., E. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico 12. INIFAP. SAGAR. Durango, Dgo., México. 23 p.

RITCHIE, G. A. 1984. Assessing seedling quality. In: DURYEA, M. L.; LANDIS, T. D. (Eds.). Forest Nursey Manual: production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Netherlands. pp. 243-259.

RITCHIE, G. A. 1985. Root growth potential: principles, procedures and predictive ability. En: M.L. Duryea editor. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests, Páginas 93-104. Oregon State University, Corvallis

RITCHIE, G. A., T. D. LANDIS. 2003. Seedling quality tests: Root growth potential. Forest Nursery Notes. USDA, Forest Service. R6-CP-TP-01-03. pp. 4-6.

RODRÍGUEZ T., D. A. 2007. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa México. México, D. F. 156 p.

RODRÍGUEZ T., D. A. 2015. Incendios de Vegetación. Su Ecología, Manejo e Historia. Ed. C. P., UACH, C. P., Semarnat, Conafor, Conanp, PNIP, PPCIF, FMCN, Gob. Edo. Tab. México. 814 p.

ROJAS, F. 2002. Metodología para la evaluación de la calidad de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitánica* Mill.) en vivero. Universidad Autónoma Chapingo, Revista Chapingo, Ciencias Forestales y del Ambiente, México. 8 (1): 75-81.

SÁENZ, R. J. T.; MUÑOZ, F. H. J.; PÉREZ, D. C. M. A.; RUEDA, S. A.; HERNÁNDEZ, R, J. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 5, núm. 26, noviembre-diciembre, pp. 98-111.

SIMPSON, D. G., A. VYSE. 1995. Planting stock performance: site and RGP effects. The Forestry Chronicle 71(6): 739-742.

SOUTH, D. B.; BOYER, J. E.; BOSCH, L. 1984. Survival and growth of loblolly pine as influenced by seedling grade: 13 years results. Southern Forest Nursey Management Cooperative, Auburn University, Auburn, Ala. Rep. No 8. 12 p.

9.- ANEXOS

Anexo 1. Formato de evaluación de plántula en vivero antes de salir a reforestación.

Formato I Evaluación en vivero				
# de Planta	Dm en mm	Altura en cm	Micorrización	Arquitectura A y R
1				
2				
.				
.				
.				
.				
.				
.				
.				
200				

Anexo 2. Formato de evaluación de plántula en laboratorio, prueba destructiva.

Formato II Evaluación en laboratorio										Relación entre peso seco aéreo y peso seco de raíz (PSA/PSS).	Peso relativo de la parte aérea (PSA/PST)	Peso relativo de la raíz (PSS/PST)	Coficiente de esbeltez CE= A/D	Índice de Dickson ID= PST / ((PSA/PSS)+(AD)).
# de Planta	Dm. en mm	Alt. en cm	Micorrización	Long. Raíz cm	# de Raíces	Arquitectura A y R	P.S Acículas	P.S Tallo	P.S Raíz					
1														
2														
.														
.														
.														
.														
.														
.														
.														
.														
96														

Anexo 3. Formato de evaluación en reforestación.

Formato III Evaluación en reforestación							
Observación	Exposición	Altitud	Parcela	# Planta	Altura Cm	Diámetro Mm	Viva o Muerta
1							
2							
.							
.							
.							
.							
.							
.							
.							
300							