



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO FORESTAL

DESARROLLO Y VERIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES CRÍTICAS Y NORMAS
DRIS PARA BRINZALES Y LATIZALES DE *Pinus patula* Schl. et Cham.

AGUSTINA SÁNCHEZ PARADA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2013

La presente tesis titulada: **Desarrollo y verificación de concentraciones críticas y normas DRIS para brinzales y latizales de *Pinus patula* Schl. et Cham.**, realizada por la alumna: **Agustina Sánchez Parada** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
POSTGRADO FORESTAL**

CONSEJO PARTICULAR



CONSEJERO

DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ



ASESOR

DR. ARMANDO GÓMEZ GUERRERO



ASESOR

DRA. MARLÍN PÉREZ SUÁREZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo de 2013

DEDICATORIA

A mis amados padres:

Teresa y Ramiro

A mi amado José Antonio

A mis queridos hermanos:

Vicente, Nivardo, Genoveva, Livia, Rómulo y Catalina

A mis apreciables sobrinos por llenar de alegría mi vida

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por su excelencia académica, especialmente al Postgrado Forestal por haberme dado la oportunidad de continuar mi preparación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haber financiado mis estudios de maestría.

Al proyecto: Diagnóstico del estado nutrimental y recomendación de fertilización en *Pinus patula* en predios particulares de Fracción Rancho Chichicaxtla y Conjunto Predial Forestal de Aquixtla, Puebla.

Al Dr. Miguel Ángel López, por su excelencia como profesor y consejero, por todas sus enseñanzas y disposición en las asesorías brindadas durante la realización de esta investigación, por ser parte esencial de mi formación académica, gracias.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero y la Dra. Marlín Pérez Suárez quienes con sus acertadas sugerencias contribuyeron para enriquecer y mejorar el presente trabajo.

A todos los profesores del Postgrado Forestal quienes contribuyeron de alguna manera en mi formación académica, al personal administrativo, quienes siempre me mostraron su amistad y apoyo.

A los ingenieros León Jorge Castaños Martínez y salvador Castro Zavala, por el financiamiento brindado al proyecto de investigación.

A mí querida amiga M.C. Irma Vásquez García por estar a mi lado y darme ánimos siempre, y compartir no solo alegrías y éxitos sino también tristezas, gracias.

Al Ing. Nicolás Bautista Cruz y al Sr. Luis Méndez Hidalgo, por su gran apoyo en campo.

CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Taxonomía de <i>Pinus patula</i> Sch. et Cham.....	4
2.2. Distribución natural de <i>Pinus patula</i>	5
2.3. Plantaciones de <i>Pinus patula</i> en México y el mundo	7
2.4. Silvicultura de <i>Pinus patula</i>	8
2.5. Bosques naturales	9
2.5.1. Turnos.....	10
2.5.2. Método de tratamiento.....	10
2.5.3. Aclareos.....	11
2.6. Plantaciones	11
2.6.1. Densidades de plantación	12
2.6.2. Turnos.....	13
2.6.3. Aclareos y podas	14
2.6.4. Fertilización en plantaciones de pino	14
2.7. Generalidades de nutrición	16
2.7.1. Nitrógeno.....	18
2.7.2. Fósforo.....	18
2.7.3. Potasio	19
2.8. Diagnóstico nutrimental en <i>Pinus patula</i>	19
2.8.1. Concentraciones críticas	20
2.8.2. Normas DRIS	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22

3.1. Generación de concentraciones críticas y normas DRIS	22
3.2. Área de estudio	22
3.3. Procedimiento de muestreo y procesamiento de datos	23
3.4. Verificación de las concentraciones críticas y normas DRIS	26
3.4.1. Ubicación de los sitios de estudio	26
3.5. Diseño experimental	27
3.6. Fertilización	30
3.7. Colecta de follaje	30
3.8. Procesamiento de muestras	31
3.9. Análisis estadístico	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. Concentraciones críticas para <i>Pinus patula</i> en etapa de brinzal y latizal	33
4.2. Normas DRIS para <i>Pinus patula</i> en etapa de brinzal/latizal.....	35
4.3. Verificación	36
4.3.1. Verificación de concentraciones críticas.....	36
4.3.2. Verificación de normas DRIS	40
4.4. Respuesta del crecimiento de diámetro en árboles de <i>Pinus patula</i> de 17 años de edad a la aplicación de tratamientos de fertilización	42
5. CONCLUSIONES	45
6. LITERATURA CITADA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribución geográfica de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. en México (Modificado de Perry, 1991).	6
Figura 2. Localización del área de estudio para la generación de las concentraciones críticas y normas DRIS.	22
Figura 3. Distribución de la muestra de <i>Pinus patula</i> en los estados de Puebla, Hidalgo y Veracruz para el desarrollo de concentraciones críticas y normas DRIS. Fuente del mapa base: Google Earth (2012).	24
Figura 4. Ubicación del área de estudio para la verificación de concentraciones críticas y normas DRIS en la comunidad Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.	26
Figura 5. Ubicación del área de estudio para la verificación de concentraciones crítica y normas DRIS en el paraje La Tronconera, Conjunto Predial Forestal, Aquixtla, Puebla.	27
Figura 6. Ejemplo de la parte del árbol donde se colectó la muestra de follaje de <i>Pinus patula</i>	31

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Distribución de la superficie de plantaciones por genero en el mundo (FAO, 2001).	8
Cuadro 2. Factores de variación del experimento factorial utilizado en el estudio de Palo Bendito, Veracruz.....	28
Cuadro 3. Tratamientos de fertilización aplicados en el ensayo de fertilización para verificación de concentraciones críticas y normas DRIS.	29
Cuadro 4. Concentraciones críticas (CC) preliminares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B para árboles de <i>Pinus patula</i> de alrededor de 10 años de edad.....	34
Cuadro 5. Normas DRIS preliminares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B para brinzales/latizales de <i>Pinus patula</i>	36
Cuadro 6. Proceso de verificación de las concentraciones críticas de N, P y K mediante un experimento factorial en una plantación de <i>Pinus patula</i> de 17 años de edad en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.....	38
Cuadro 7. Proceso de verificación de las concentraciones críticas de N, P y K mediante un experimento factorial en una plantación de <i>Pinus patula</i> de 10 años de edad en el paraje La Tronconera, Aquixtla, Puebla.....	39
Cuadro 8. Proceso de verificación de las normas DRIS de N, P y K mediante un experimento factorial en una plantación de <i>Pinus patula</i> de 17 años de edad, ubicada en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.	41
Cuadro 9. Proceso de verificación de las normas DRIS de N, P y K mediante un experimento factorial en una plantación de <i>Pinus patula</i> de 10 años de edad en el predio La Tronconera del Conjunto Predial Forestal de Aquixtla, Puebla.	42
Cuadro 10. Análisis de varianza para diámetro inicial en árboles de <i>Pinus patula</i> de 17 años de edad en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.....	43

Cuadro 11. Análisis de varianza para incremento anual de diámetro en el ensayo de fertilización de la plantación de *Pinus patula* de 17 años de edad en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.44

**DESARROLLO Y VERIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES CRÍTICAS Y
NORMAS DRIS PARA BRINZALES Y LATIZALES DE *Pinus patula* Schl. et Cham.**

Agustina Sánchez Parada, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2013

RESUMEN

El diagnóstico nutrimental es una herramienta fundamental para el uso eficiente de fertilizantes. Ayuda a incrementar la productividad y a disminuir la contaminación de suelos y agua por exceso de fertilización. Se desarrollaron y verificaron concentraciones críticas y normas DRIS para árboles de *P. patula* Schl. et Cham. de aproximadamente 10 años de edad. Se generó una base de datos de 50 árboles de *P. patula* distribuidos en estados del centro de México. Las concentraciones críticas y normas DRIS se generaron a partir de los árboles de mayor incremento en diámetro. La verificación se realizó en dos plantaciones: (a) una plantación de 17 años de edad en Veracruz, la cual consistió en un experimento factorial 3×3×2 con 10 repeticiones por tratamiento, y (b) una plantación de 10 años de edad en Puebla, la cual consistió en 27 tratamientos con tres repeticiones por tratamiento. Los factores y niveles probados en (a) fueron N (0, 213, 425), P (0, 49, 99) y K (0, 35) Kg ha⁻¹ de urea, superfosfato triple de calcio y sulfato de potasio, respectivamente. En (b), los factores y niveles fueron N (0, 62, 84), P (0, 7, 9) y K (0, 54, 74) Kg ha⁻¹. Para ambas plantaciones se llevó a cabo un análisis foliar por tratamiento. Los resultados obtenidos indicaron que K fue el nutrimento limitante en la plantación ubicada en Veracruz y, N y P fueron los elementos limitantes en la plantación de Puebla. Las concentraciones críticas y las normas DRIS generadas, predicen adecuadamente el estado nutrimental en los diferentes tratamientos experimentales.

Palabras clave: Nutrición vegetal, fertilización química, diagnóstico nutrimental, plantación forestal.

**DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF CRITICAL LEVELS AND DRIS
NORMS FOR SEEDLINGS AND POLE STAGE *Pinus patula* Schl. et Cham.**

Agustina Sánchez Parada, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013

ABSTRACT

The nutritional diagnosis is a fundamental tool to use fertilizers efficiently, it also helps to increase productivity and reduce soil and water pollution caused by the excess of fertilization. Critical concentrations and DRIS norms were developed for ten-year old *P. patula* trees. A database was generated from fifty *P. patula* Schl. et Cham. trees distributed across central Mexico. DRIS norms were generated based on the trees that showed the highest diameter increment. The verification was done in two plantations: (a) A 17-year-old plantation in Veracruz, which consisted of a $3 \times 3 \times 2$ factorial experiment with 10 replicates per treatment and (b) a 10-year-old *P. patula* plantation in Puebla, which consisted of 27 treatments with three replicates per treatment. The levels and factors tested in (a) were N (0, 213, 425), P (0, 49, 99) y K (0, 35) Kg ha⁻¹ of urea, triple superphosphate, and potassium, respectively. The factors and levels tested in (b) were N (0, 62, 84), P (0, 7, 9) y K (0, 54, 74), in Kg ha⁻¹, respectively. Foliar analyses per treatment were done in both plantations. The results indicate that K was the limiting nutrient in the Veracruz plantation and N and P were limiting elements in the Puebla plantation. The results also indicate that critical concentrations and DRIS norms generated, adequately predicted the nutrient status for the different experimental treatments.

Keywords: Plant Nutrition, chemical fertilization, nutrient diagnosis, forest plantation.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes químicos en plantaciones forestales manejadas intensivamente es un factor clave para incrementar la productividad de especies de interés comercial como *Pinus patula* Schiede ex Schlechtendal & Chamisso. Cuando la adición de fertilizantes se combina con prácticas de manejo, el fertilizante ayuda a disminuir la competencia intra e interespecífica por recursos del suelo y de la parte aérea (nutrimentos, agua y luz) (Crous *et al.*, 2010).

Como práctica silvícola, la fertilización requiere del conocimiento previo del estado nutrimental del arbolado información que permitirá tomar decisiones sobre tipo, dosis y métodos de aplicación de los fertilizantes. La necesidad de evaluar el estado nutrimental del arbolado y del suelo se debe a que cada región, posee características propias en suelo y clima que influyen en la disponibilidad de nutrimentos en el suelo; además de las diferencias en los requerimientos nutrimentales entre especies. Por lo que la evaluación del estado nutrimental de árboles requiere de estándares de concentraciones para cada nutrimento y especie de interés.

Existen varios métodos de diagnóstico nutrimental. Entre los más usados en plantaciones forestales se encuentran las concentraciones críticas y el sistema DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) propuesto por Beaufils (1973). La concentración crítica es aquella concentración foliar por debajo de la cual el crecimiento está limitado por el elemento en cuestión. Por encima del nivel crítico no se espera una respuesta positiva en crecimiento ante la adición de dicho elemento (Zas, 2003). El sistema DRIS consiste en un conjunto de normas de diagnóstico que considera la relación entre los distintos elementos o nutrimentos. Se basa en la teoría de que el estado nutrimental de las plantas varía

menos cuando éstas alcanzan su crecimiento potencial (Rodríguez, 2000). Aunque el sistema DRIS ha sido extensamente aplicado a la agricultura, su utilidad también ha sido probada en plantaciones forestales (Romanya, 1995).

Una de las especies ampliamente utilizadas para reforestación y plantaciones forestales a nivel mundial es *P. patula* Schl. et Cham., una especie de rápido crecimiento altamente valorada por la calidad de su madera (Sáenz-Romero *et al.*, 2011). Sus múltiples usos van desde construcciones que requieren resistencia y durabilidad (e.g. postes, durmientes, pilotes, armaduras, vigas, cajas de empaque, etc.) hasta presentación estética (e.g. acabados en interiores y exteriores), y también es apreciada en la fabricación de papel debido a la longitud de sus fibras (Velázquez *et al.*, 2004; Castelán-Lorenzo y Arteaga-Martínez, 2009). Para obtener un adecuado rendimiento y productividad en las plantaciones forestales de esta especie es necesario asegurar una adecuada disponibilidad de nutrientes. Cuando esto no es posible de manera natural, se requiere de la aplicación de fertilizantes que incluyan los nutrientes que se encuentran por debajo de los valores críticos.

En la actualidad se desconocen los estándares nutrimentales para *P. patula*, que permitan realizar un manejo nutrimental pertinente en las múltiples plantaciones de esta especie que existen en los estados del centro y sur de México. La determinación de las concentraciones críticas y normas DRIS para árboles de esta especie coadyuvaría a incrementar los rendimientos de las plantaciones de *P. patula* de México y otras regiones del mundo. Además, ayudaría al cálculo adecuado de dosis de fertilización para proteger el suelo y la calidad del agua. Con la finalidad de subsanar la falta de información sobre el diagnóstico nutrimental sobre una especie forestal de gran importancia económica, el presente trabajo tubo

como objetivo elaborar y verificar dos tipos de estándares nutrimentales: (1) concentraciones críticas, y (2) normas DRIS, para brinzales y latizales de *P. patula*.

1.1. Objetivos

a) Objetivo general

Generar y verificar estándares nutrimentales preliminares para árboles de *Pinus patula* Schl. et Cham.

b) Objetivos específicos

1.- Generar las concentraciones críticas de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, y B para árboles de *P. patula*.

2.- Generar normas DRIS preliminares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, y B, para árboles de *P. patula*.

3.- Verificar las concentraciones críticas y normas DRIS para *P. patula*.

c) Hipótesis

1.2.1. La fertilización química basada en un diagnóstico nutrimental mediante las concentraciones críticas de nutrimentos mejorará el estado nutrimental de *P. patula*.

1.2.2. El diagnóstico nutrimental mediante DRIS, previo a la fertilización química mejorará el estado nutrimental de *P. patula*.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Taxonomía de *Pinus patula* Sch. et Cham

Pinus patula Sch. et Cham., conocido comúnmente con el nombre de pino patula, ocote, pino llorón, pino triste, pino colorado, pino chino, xalocote, pino macho y ocote liso. Es un árbol que puede alcanzar de 30 a 35 m de altura y de 50 a 90 cm de diámetro normal, aunque eventualmente es posible encontrar árboles de mayores dimensiones (CONAFOR, 2012). Su raíz es profunda y poco extendida. El fuste es recto y libre de ramas hasta 20 m de altura, su copa es abierta y redondeada. Es una especie de rápido crecimiento, 20 m³ /ha/año. Entre los 30 y 35 años de edad el crecimiento de esta especie se detiene sensiblemente (CONAFOR, 2012).

Dentro de la Subsección *Patula* se incluye también *Pinus radiata* var. *binata* Lemm., *Pinus muricata* D. Don, *Pinus attenuata* Lemm., *Pinus greggii* Engelm., y *Pinus patula* var. *Longipedunculata* (*Longepedunculata*) Loock. Las características distintivas de *P. patula*, como el carácter serótino de los conos y la presencia de dos haces fibrovasculares en las hojas ocurre esporádicamente a lo largo del área de distribución natural de esta especie y pueden observarse conos sésiles y pedunculados (Perry, 1991).

Según Wormald (1975) en el caso de la variedad *longipedunculata* Loock, sugiere que el carácter de conos con pedúnculo ocurre esporádicamente a lo largo de toda el área de distribución natural del pino patula.

2.2. Distribución natural de *Pinus patula*

En la República Mexicana *P. patula* se distribuye principalmente en la parte central abarcando los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tlaxcala y el Distrito Federal (Figura 1). Según Perry (1991), esta especie crece en rodales aislados y en bandas relativamente angostas a lo largo de la Sierra Madre Oriental, desde los 24° de latitud N hasta aproximadamente 17° de latitud N en la sierra de Pápalos en el estado de Oaxaca. El área principal de distribución de *P. patula* está restringida a una franja de orientación NW a SE que pasa por los estados de Hidalgo, Veracruz y Puebla donde ha sido considerada como una de las más importantes tanto por su abundancia como por su calidad de los rodales (Gillespie, 1992; Velázquez *et al.*, 2004).



Figura 1. Distribución geográfica de *Pinus patula* Schl. et Cham. en México (Modificado de Perry, 1991).

Pinus patula prospera en subtipos climáticos C(fm) templado húmedo y C(w₂) templado subhúmedo. *Pinus patula* crece mejor en lugares donde las lluvias son más frecuentes en verano, fenómeno que ocurre en su lugar natural de distribución. Sin embargo, aun cuando exista el régimen de precipitación adecuado, no crece satisfactoriamente en lugares donde la sequía estacional llega a ser muy severa (Wormald, 1975). En zonas donde prospera la especie la precipitación anual se mantiene por arriba de 1000 mm durante el año con nieblas frecuentes y lluvias invernales (Vela, 1980). Esta cantidad de lluvia se presenta durante junio a octubre, y luego durante abril a mayo.

La altitud en que se localiza la especie varía entre los 1600 y 3000 msnm (CONAFOR, 2012). La especie *P. patula* prefiere suelos profundos (Mayores a 90 cm) y texturas de migajón arcilloso. También se desarrolla sobre suelos ácidos, con valores de pH entre 4 y 6. El color del suelo es muy variable a lo largo de la zona de distribución de la especie, aunque se puede decir que predomina el color 7.5 YR 5/6 que corresponde a café con diversas tonalidades en el horizonte superficial, tornándose amarillo o rojo en los horizontes profundos (Vela, 1980; Muñoz-Flores *et al.*, 2010).

2.3. Plantaciones de *Pinus patula* en México y el mundo

La especie *P. patula* es ampliamente usada, no sólo en México, sino en todo el mundo, en 1977 fue introducida en Nueva Zelanda, posteriormente la especie ha sido llevada a otros lugares como Sudáfrica, Australia, Rodesia, Malawi, Kenia, Tanzania, India, Angola, Suazilandia y Brasil, entre otros (Wormald, 1975).

Pinus patula es una especie que ha sido utilizada en plantaciones forestales tanto comerciales como en aquellas con fines de reforestación; esto debido a su rápido crecimiento. En México, las primeras plantaciones y las más conocidas de *P. patula* son las establecidas en Necaxa, Puebla; San Cayetano, México y La Venta, D.F., así como también algunos lotes pequeños en Cuernavaca, Morelos; San Rafael, México y Uruapan, Michoacán (Valdez-Lazalde y Lynch, 2000; Velázquez *et al.*, 2004). En Ixtlán de Juárez, Oaxaca, se estableció en 1995 una plantación de 5 ha con fines comerciales, por la relevancia de esta especie de pino (Rodríguez-Ortíz *et al.*, 2011). En la actualidad, existe una infinidad de pequeñas plantaciones de *P. patula* principalmente en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. Se estima que en México hay aproximadamente 4,230 ha plantadas con esta especie (Sáenz-Romero *et al.*,

2011). A nivel mundial, en 1990 más de un millón de hectáreas en el Sur y Oeste de África y Oeste de América del Sur. Según Birks y Barnes (1990), esta especie fue una de las primeras de pinos mexicanos en ser plantados en Sudáfrica y actualmente ha sido usada en plantaciones de otros países (Dvorak *et al.*, 1980). El cuadro uno muestra la superficie de plantaciones forestales por genero a nivel mundial, ocupando el mayor porcentaje (20 %) el genero *pinus*.

Cuadro 1. Distribución de la superficie de plantaciones por genero en el mundo (FAO, 2001).

Género	Superficie en (%)
<i>Tectona</i>	3
<i>Acacia</i>	4
<i>Hevea</i>	5
<i>Eucalyptus</i>	10
<i>Otras coníferas</i>	11
<i>Otras hojosas</i>	18
<i>Pinus</i>	20
Sin especificar	29

2.4. Silvicultura de *Pinus patula*

Pinus patula es una especie altamente valorada por la calidad de su madera, dado que es una especie de rápido crecimiento por lo que se obtienen rendimientos en un corto plazo en

comparación con otras especies. De esta manera es una fuente constante de materia prima para la industria maderera y papelera (Wolrmald, 1975; Castelán, 2009).

En México la mayoría de las masas naturales de *P. patula* son manejadas empíricamente, dejando a un lado las herramientas para estimar el rendimiento esperado, como son los modelos de crecimiento, aun cuando pronosticar el rendimiento esperado facilita el proceso de la toma decisiones (Rodríguez *et al.*, 2011).

Pinus patula es una especie heliófita o intolerante a la sombra, por lo que frecuentemente se regenera mediante los métodos de tratamiento de árboles padres y matarrasa en bosques naturales. Los renuevos son sensibles a la competencia por malezas, por lo que precisan de que se lleve a cabo cierto control de las mismas (Gillespie, 1992).

2.5. Bosques naturales

El área de su distribución natural es parte de la Sierra Madre Oriental, que va desde Tamaulipas hasta Oaxaca. Por ejemplo, en Ixtlán de Juárez, Oax., Los bosques de pino patula son los de mayor extensión, y es la especie de mayor importancia económica. Su distribución es de aproximadamente 5000 ha (Castellanos *et al.*, 2008). El mismo autor menciona que para esta región el pino patula es la especie más importante en cada una de las condiciones silvícolas, al ocupar mayor área basal, mayor número de árboles por unidad de superficie y de mayor distribución.

Entre las especies más adaptadas para la regeneración natural están las del género *Pinus*, cuyos frutos conocidos por sus conos, al abrirse liberan la semilla que en condiciones favorables del suelo germinan con facilidad, dando lugar a su abundante regeneración, que con los adecuados trabajos silvícolas, aseguran la continuidad de los bosques (Buesa, 2003).

2.5.1. Turnos

Según Gillespie (1992), los turnos de *P. patula* son de alrededor de 30 años debido a su rápido crecimiento. Por su parte Castelán (2003), menciona que en la región de Zacualtipán, Hidalgo se ha venido aplicando un turno empírico de 40 años y un ciclo de corta de 10 años. No obstante, en esta misma región, los niveles de productividad que presenta *P. patula* pronosticados por el sistema de crecimiento y rendimiento maderable sugerido por Santiago (2009), permitirá, en lo sucesivo, reducir el turno técnico promedio a 25 años.

2.5.2. Método de tratamiento

En Hidalgo La regeneración natural bajo el método de árboles padres es de una manera regular y uniforme con 4,200 árboles ha⁻¹ quedando establecida a los cuatro años del aprovechamiento con una altura promedio de 2.7 m (Castelán- Lorenzo, 2009).

Castellanos-Bolaños *et al.* (2008) mencionan que en la región norte ubicada en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, la mayoría de los bosques de pino-encino se conforman de rodales de segundo crecimiento que han estado bajo aprovechamiento por décadas. Uno de los tratamientos silvícolas aplicados a esta región han sido las cortas selectivas y/o aclareos. En 1993 se incorporan las cortas de regeneración con el método de árboles padres.

En la actualidad, el método de tratamiento de árboles padres con plantación ha sido un procedimiento de regeneración recurrente en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, siendo un método inapropiado ya que la especie responde satisfactoriamente con repoblación a la apertura del dosel. Sin embargo, la permanencia de árboles padre en un área regenerada artificialmente no tiene justificación biológica.

2.5.3. Aclareos

Al hacer un aclareo selectivo por lo bajo en el que se extraen árboles de menor tamaño que el promedio, la altura media del rodal residual aumenta. Por lo tanto la altura dominante, basada en los árboles más grandes, varía menos (García, 1995).

Parcelas establecidas en la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla, se han utilizado para evaluar el efecto de aclareo por lo bajo en dos rodales de *P. patula*, además de realizar un análisis estructural de las masas antes y después de aplicados los aclareos, definidos en 60, 75 y 85% de arbolado residual más un testigo sin aclareo (Velázquez *et al.*, 1992).

Becerra (1986) construyó dos gráficas que constituyen una guía de densidad para *P. patula* en la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Esta permite caracterizar la densidad de los rodales de *P. patula* mediante el número de árboles/ha, el área basal ha^{-1} y el diámetro cuadrático promedio y, decidir en forma apropiada los tratamientos silvícolas que se requieran en cada caso.

Recientemente se estableció una serie de sitios experimentales de aclareos por lo bajo en el Conjunto Predial Forestal de Aquixtla, Puebla, dejando 600, 900 y 1200 árboles residuales por hectárea. Las últimas evaluaciones realizadas indican que el crecimiento de diámetro es mayor en los sitios con menor área basal residual (Ing. León J. Castaños, 2012; comunicación personal).

2.6. Plantaciones

La plantación se define como un cultivo forestal o rodal establecido artificialmente, ya sea por siembra o plantación. Puede parecer simple, pero las palabras "artificial" o "hecho por humanos" necesita más definición. Por ejemplo, cuando un nuevo bosque se establece en

pastizal, dicha forestación es claramente artificial y se le puede llamar plantación. Pero, en un bosque existente que es regenerado por enriquecimiento, aunque se planten árboles, el aspecto general no suele ser muy parecido a una plantación, por lo menos por muchos años (Evans, 1992).

La especie *P. patula* es de gran importancia en el mundo, cuenta con una tasa de plantación anual de 30 000 hectáreas. Las plantaciones de *P. patula* tienen un empleo extensivo en América, Australia, África y Asia. Además presenta buena plasticidad y capacidad de producir madera como lo demuestran los índices en la totalidad de las áreas plantadas (Muñoz *et al.*, 2010).

Las plantaciones forestales comerciales se consideran una alternativa para disminuir la presión que se ha ejercido sobre los bosques. El potencial de las especies mexicanas de pino dentro de los aprovechamientos de madera comercial y de proyectos de reforestación ubicados en latitudes tropicales similares, es un campo propicio, prácticamente inexplorado, que potencialmente tendría éxito económico. Por esto, diversas especies de pino mexicanas más frecuentemente tropicales han sido objeto de investigaciones encaminadas a la selección y mejoramiento genético. El esfuerzo se ha concentrado sobre todo en *Pinus caribae* Morelet, *Pinus oocarpa* Schied ex Schlecht, *Pinus tecunumanii* Eguluz & Perry, *Pinus pseudostrobus* Lind, *Pinus maximinoi* H.E. Moore y *Pinus chiapensis* Martínez y por supuesto *Pinus patula* Schl. *et* Cham (Arteaga, 2001).

2.6.1. Densidades de plantación

Nepomuceno (1994) menciona que el espaciamiento entre plantas puede definirse después de considerar algunos factores como: fertilidad del sitio, pendiente del terreno y el objetivo de la plantación. El mismo autor menciona que los mejores índices de supervivencia

y crecimiento se han obtenido con una densidad inicial de 2,500 plantas/ha es decir 2x2 m. también puede plantarse a 3x3 m. Se deben preferir los espaciamientos que permitan el paso de maquinaria para limpiar malezas y que se facilite la extracción de materia prima, producto de los aclareos que se hagan.

Gillespie (1992) menciona que, dado el rápido crecimiento que normalmente muestra la especie de *P. patula*, la plantación a un espaciamiento de 2.5 x 2.5 m, conduce a una ocupación total del espacio de crecimiento en aproximadamente 6 años, lo que implica que a esa edad será recomendable un primer aclareo, el espaciamiento se planea y modifica de acuerdo a los productos finales a obtener. Los productos de este tipo de aclareos generalmente no son comerciales y sí consumen recursos financieros para su implementación. En este sentido, debe considerarse la posibilidad de mayores espaciamientos.

2.6.2. Turnos

Las plantaciones de *P. patula* que son bien manejadas durante su primer año pueden alcanzar una altura de 0.9 a 1.5 m, dejando de crecer aproximadamente a los 25 años. Estudios en el estado de Oaxaca, México han reportado un incremento medio anual (IMA) en volumen en plantaciones para *P. patula* menores a $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Rodríguez, 2010). En la región forestal de Zacualtipán, se ha venido aplicando el Método de Desarrollo Silvícola, con un plan de manejo para 50 años, un turno de 40 años y un ciclo de corta de 10 años para la especie *P. patula* (Castelán-Lorenzo, 2009). Además si se realizan tratamientos intensivos como fertilización química u orgánica con un manejo adecuado de la densidad, se puede reducir el turno.

2.6.3. Aclareos y podas

Rodríguez (2010) menciona que el manejo de la densidad por medio del aclareo es el segundo factor en importancia para determinar la productividad de un sitio forestal. Con la intención de mejorar el crecimiento y la calidad de los árboles el aclareo es una técnica utilizada por el silvicultor. Mediante aclareos se redistribuye la capacidad productiva del sitio entre los individuos que quedan en pie, los cuales tienen una mayor disponibilidad de radiación fotosintética activa y mayor disponibilidad de nutrientes y agua en el suelo.

Valdivieso (1990) propone un esquema de manejo que consiste en ir integrando en forma progresiva mayores espaciamientos solamente a un número reducido de árboles podados y eventualmente fertilizados. El mismo autor menciona que el distanciamiento que se genera es por lo tanto irregular y orientado exclusivamente a los mejores individuos, procurando incrementar el volumen total, al hacer un mejor aprovechamiento del sitio y mantener al mismo tiempo una proporción de la producción de la madera para alta calidad.

En el manejo de plantaciones se recomienda la aplicación de podas desde una altura mínima de 2.5 m y una máxima de 4.0 m, las cuales permiten tener buena respuesta en el crecimiento en altura y calidad de la madera después de un año de ser aplicadas (Domínguez *et al.*, 1997).

2.6.4. Fertilización en plantaciones de pino

La aplicación de fertilizantes, para propiciar un mejor desarrollo, vigor y resistencia de las plantas dependerá de las condiciones del suelo y de la época en que se realiza y de la especie en cuestión. Por ejemplo, pino patula, es sensible a la falta de humedad y nutrientes, por lo que un inadecuado régimen de riego combinado con una aplicación de fertilizantes

puede inhibir el crecimiento en altura e incrementar la mortalidad de las plantas (Nepomuceno, 1994). Entre otros estudios sobre la fertilización de especies forestales, se encuentra el de Crous y colaboradores (2010) quienes realizaron un ensayo para determinar el momento óptimo y la tasa de aplicación de fósforo y potasio, para mitigar la disminución del crecimiento observada en *P. patula* del bosque Usutus. En el estudio, se tomaron muestras a la edad de rotación de 15 años. Los fertilizantes P y K se aplicaron en tres cantidades: 20/20, 40/40 y 80/80 kg/ha. Los niveles 40/40 y 80/80 se aplicaron: (a) al momento del establecimiento de la plantación, (b) después de una poda a los 5 años, y (c) en una aplicación dividida donde 20 Kg de P y K se aplicó por hectárea al momento de establecer la plantación y el fertilizante restante después de una poda (a los 5 años de edad) al voleo, el nivel 20/20 se aplicó al inicio de la plantación.

Las podas se aplicaron después a la edad de cinco años. La supervivencia de los árboles no se vio afectada por la cantidad o el tiempo de aplicación del fertilizante. La cantidad de fertilizante aplicado tuvo un efecto mayor sobre el aumento del crecimiento de los árboles y la producción de madera seca. La aplicación de fertilizantes a principios del ciclo de producción produjo más madera que la aplicación de fertilizante en etapas posteriores. La aplicación de 80/80 kg P/K ha⁻¹ incrementó significativamente el diámetro medio cuadrático a la altura del pecho de 20 cm a 23 cm, la altura del árbol de 19.6 m a 20.4 m, y la producción de volumen de 83 m³ ha⁻¹ (29%).

Lázaro-Dzul (2012), por su parte, evaluó los efectos de dosis de fertilización NPK con relación al crecimiento de follaje nuevo e incremento de área basal, en el crecimiento de un latizal maduro de *P. patula* de 10 años de edad en Aquixtla, Puebla. La fórmula recomendada

para el sitio experimental fue 185-0-0 kg ha⁻¹ para mejorar el volumen e incremento de área basal y 138-0-0 kg ha⁻¹ de NPK para optimizar peso seco.

En New South Wales, Australia Turner *et al.* (2002) estudiaron la respuesta a la aplicación de dos fertilizantes fosfatados, los cuales fueron superfosfato y roca fosfórica, aplicados a 96 kg ha⁻¹, después de 50 años en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. La biomasa superficial de las parcelas fue de 380 ton ha⁻¹ comparado con el testigo que fue de 278 ton ha⁻¹.

Donald y Glen (1974), realizaron un experimento de fertilización en *P. radiata* y *P. pinaster* Ait. usando N, P y K al establecimiento. Estas especies respondieron positiva y negativamente con el fosfato de potasio. El nitrógeno aumentó el crecimiento en altura de *P. radiata* en el primer año solamente. Por su parte, el volumen fue mayor en los tratamientos de fertilización, respecto a los controles. En términos generales el experimento mostró los siguientes resultados:

- *P. radiata* se puede cultivar en los sitios que se pensaba adecuados sólo para *P. pinaster*.
- Los fertilizantes inorgánicos puede mejorar significativamente el crecimiento de *P. radiata* y *P. pinaster* en los suelos arenosos de la Provincia Occidental del Cabo.

2.7. Generalidades de nutrición

Existen distintas formas de conocer el estado nutrimental de un árbol, por ejemplo Schroeder y colaboradores (2005) mencionan que a través de los análisis foliares es posible conocer el estado nutrimental de las plantas, lo que permite detectar carencias o excesos de

nutrimentos en distintas etapas fenológicas y en su momento realizar la fertilización adecuada a las necesidades de las plantas o árboles. Por tanto, el análisis foliar de la planta puede ser una herramienta útil para determinar el progreso de programas de fertilización en plantaciones forestales (Jayamadhavan *et al.*, 2000). Segura *et al.* (2006) mencionan que el proceso de diagnóstico a través del análisis de tejidos puede hacerse: (1) comparando las concentraciones de tejidos afectados y no afectados, (2) analizando la relación entre el estado nutricional (concentración en los tejidos) y el crecimiento de los árboles, (3) determinando el balance de nutrimentos en los tejidos, calculados a través de relaciones entre ellos y (4) mediante el desarrollo de técnicas que emplean reacciones bioquímicas en los tejidos. Los mismos autores mencionan que un aspecto importante es la selección de los árboles por clase diamétrica, su estado nutricional (árboles deficientes o con suficiencia nutricional), el número de árboles a muestrear o árboles dominantes o codominantes cercanos para reducir el tiempo de escalar los árboles, al tiempo de efectuar esta práctica.

Los elementos esenciales son el nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y cantidades insignificantes de manganeso (Mn), hierro (Fe), cloro (Cl), cobre (Cu), cinc (Zn), Boro (B) y molibdeno (Mo). Cada uno de ellos presenta un patrón único de origen, transformaciones y disponibilidad para las plantas en diferentes condiciones ambientales (Binkley, 1993). Los que se requieren que sean suplidos en forma artificial a través de fertilizantes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio, los cuales son consumidos en cantidades relativamente grandes. Un suelo fértil suministra suficientes cantidades de nutrimentos en balance razonable, para promover el desarrollo vegetal, los iones deben ingresar al sistema de la planta. La absorción de iones es eficiente cuando: 1) el suelo tiene una alta concentración de iones, 2) está bien aireado y permite la difusión de O₂ al suelo

y del CO₂ a la atmósfera, 3) está suficientemente húmedo para permitir el contacto de los iones en solución con una mayor superficie radical (Ortiz, 1984).

2.7.1. Nitrógeno

El N es uno de los elementos constituyentes más importantes y complejos en la planta, formando parte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, aminos, amidas, nucleoproteínas y clorofila (Zérega y Hernández, 1998). A pesar de que el N₂ comprende el 78% de la atmósfera, las plantas no lo pueden utilizar directamente porque la mayoría de ellas no tienen la capacidad de llevar a cabo la fijación biológica de este elemento. De esta manera el N es uno de los nutrimentos más limitantes para las plantas. Las formas disponibles de N que son asimiladas por las plantas son el nitrato (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺), provenientes de la materia orgánica del suelo (Zérega y Hernández, 1998).

2.7.2 Fósforo

Las formas absorbidas del P son los iones monofosfato (H₂PO₄⁻) y bibásico (HPO₄²⁻). La temperatura y el pH influyen en la absorción del P. Su deficiencia ocasiona un desarrollo débil, tanto de la parte aérea como del sistema radicular (Ruano, 2003).

Binkley (1993) indica que la forma del P en los ecosistemas es el anión fosfato. En las plantas, este permanece en forma libre o unido a los azúcares y lípidos, y desempeña una función importante en las transformaciones de energía de las células en forma de adenosín trifosfato (ATP). Las plantas requieren casi del 10 al 15% tanto de P como de N.

2.7.3 Potasio

El K es un elemento que permanece en estado iónico en la planta, equilibrando aniones y es muy móvil dentro de esta. Las plantas lo absorben bajo la forma K^+ . No es parte fundamental de las plantas (glúcidos, lípidos y prótidos) y sin embargo es absorbido en grandes cantidades por ellas (Ruano, 2003). Interviene entre otros procesos en la fotosíntesis, en la formación de prótidos, en el buen aprovechamiento del agua por la planta al mantener la turgencia celular. Según Ruano (2003) la deficiencia del K en el suelo se reconoce por un lento crecimiento de la planta, cuando este falta, aparecen en las hojas manchas cloróticas seguidas de necrosis en las puntas y bordes.

De acuerdo con Binkley (1993) los minerales de potasio (feldespatos) comúnmente se encuentran en las rocas y en limos y arcillas del suelo, y la intemperización de estos minerales constituyen una importante fuente de K para los bosques. El mismo autor menciona que las concentraciones de K en el follaje de las plantas son de 50 al 75% de las concentraciones de N, en los árboles el requerimiento de este elemento puede ser mayor a los porcentajes mencionados.

2.8. Diagnóstico nutrimental en *Pinus patula*

Hernández y Torres (2009) determinaron los niveles críticos de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn para facilitar el manejo nutrimental en etapa de vivero de *Pinus patula* entre otras especies. Estos autores reportan que dentro de los pinos, la especie *Pinus patula* tiene el valor más bajo de K. En coincidencia, López (1990) al determinar las curvas de abastecimiento nutrimental para *P. patula* en la etapa de vivero, encontró que el requerimiento de K por la especie es bajo.

2.8.1 Concentraciones críticas

Zas (2003) indica que el nivel crítico es aquella concentración foliar por debajo de la cual el crecimiento está limitado por ese elemento. Por encima del nivel crítico no se espera una respuesta positiva en crecimiento ante el aporte extra del nutrimento en cuestión. Cuando un nutrimento se encuentra en concentración suficiente para la planta, ésta tiene un crecimiento con un comportamiento constante. La relación entre el crecimiento de las plantas y los niveles de nutrimentos en los tejidos de la planta siguen un patrón característico hasta cierto punto, donde por más fertilizante que se aplique, los niveles de los nutrimentos ya no influyen en un mayor crecimiento. Más allá de este punto los nutrimentos se pueden acumular en la planta provocando toxicidad y el crecimiento de la planta puede disminuir. A la zona donde se da el mayor aprovechamiento de nutrimentos por parte de la planta se le conoce como nivel crítico (Landis, 1989). Para el caso de *P. patula* en etapa de plantación, no existen reportes sobre las concentraciones críticas.

2.8.2 Normas DRIS

Según Rodríguez *et al.* (2000) la palabra DRIS es un acrónimo de Diagnosis and Recommendation Integrated System. Este consiste en un conjunto de normas de diagnóstico, las cuales representan calibraciones de la composición de tejidos, la composición del suelo, parámetros ambientales y prácticas de manejo en función del rendimiento de un cultivo específico. El mismo autor menciona que para la realización de un diagnóstico nutrimental DRIS, es importante contar con los datos de análisis de tejidos y con las normas de diagnóstico previamente desarrolladas.

Similar a lo anterior Sumner (1977) señala que el DRIS es una técnica para la interpretación de análisis vegetal de acuerdo con un conjunto de normas generadas previamente para cada especie a partir de una base de datos de análisis foliares y rendimientos, de una muestra extraída de la especie en estudio, incluyendo datos procedentes de las parcelas experimentales con fertilizantes. Sumner (1977) recomienda que la muestra utilizada para la elaboración de las normas DRIS sea grande. No obstante, esto implica una gran inversión de tiempo y dinero, tal es el caso de especies forestales en las que los procedimientos de muestreo incrementan demasiado los costos debido a las condiciones topográficas y grandes áreas que comúnmente se manejan.

El DRIS podría ayudar a mejorar la fiabilidad de las interpretaciones. Los diagnósticos realizados usando DRIS se basan en concentraciones relativas de nutrimentos en tejidos de plantas, y como tal debe ser independiente de la edad del cultivo o plantación (Bailey *et al.*, 1997). La literatura actual no reporta la existencia de normas DRIS para *P. patula* a nivel mundial.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Generación de concentraciones críticas y normas DRIS

3.2. Área de estudio

El área de estudio para la generación de las concentraciones críticas y normas DRIS abarca algunos municipios del estado de Veracruz, Hidalgo y Puebla que se localizan en la región central de México tal como se muestra en la Figura 2.

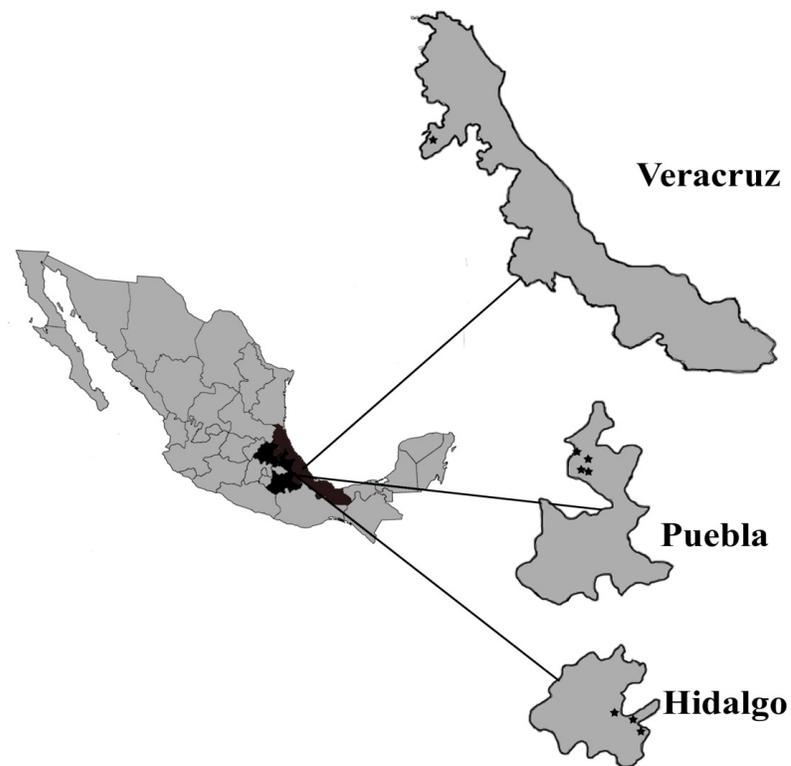


Figura 2. Localización del área de estudio para la generación de las concentraciones críticas y normas DRIS.

3.3. Procedimiento de muestreo y procesamiento de datos

El conjunto de concentraciones críticas se desarrolló siguiendo la metodología descrita por Hernández y Torres (2009), la cual se explica brevemente a continuación, con las adaptaciones pertinentes para plantaciones forestales o bosques naturales.

En enero del 2010 se hizo un recorrido en una parte importante del área de distribución natural de *Pinus patula*, abarcándose los municipios de Aquixtla, Chignahuapan, Zacatlán y Ahuazotepec, Puebla.; Acaxochitlán, Metepec, Agua Blanca y Zacualtipán, Hidalgo y Huayacocotla, Veracruz. Durante el recorrido se seleccionaron 50 árboles de *P. patula* con diámetro a la altura del pecho (DAP) entre 15 y 17 cm (Figura 3). Para cada árbol se registraron las coordenadas geográficas, DAP y altura total. Se obtuvo además una viruta de madera a la altura del pecho y se recolectó una muestra foliar siguiendo el protocolo indicado por Wells y Allen (1985).

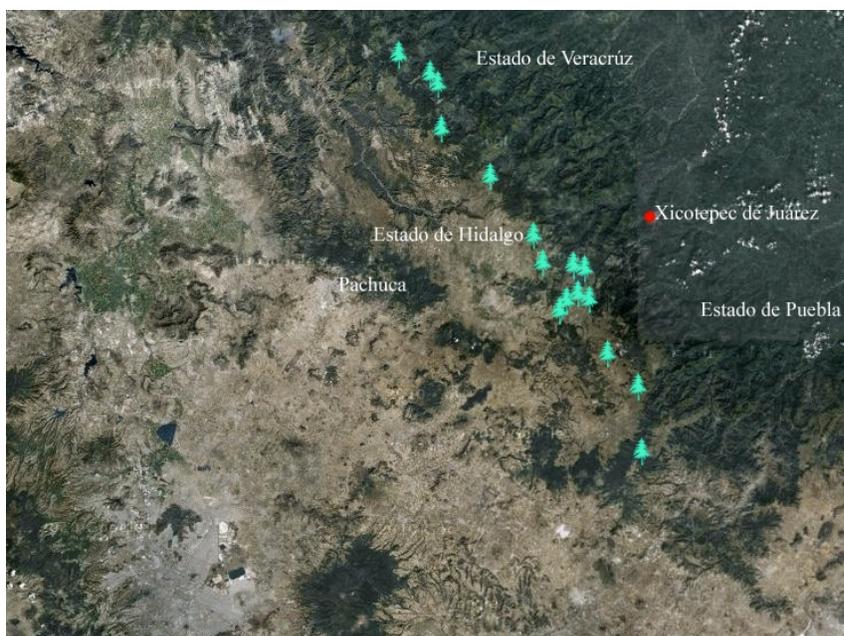


Figura 3. Distribución de la muestra de *Pinus patula* en los estados de Puebla, Hidalgo y Veracruz para el desarrollo de concentraciones críticas y normas DRIS. Fuente del mapa base: Google Earth (2012).

La viruta de incremento se utilizó para estimar, mediante el programa de cómputo WinDENDRO®, el ancho promedio de los últimos cinco anillos de crecimiento (APA) para cada uno de los árboles seleccionados. Adicionalmente en enero del 2011 se remidió el DAP con el objeto de verificar las estimaciones de incremento de DAP hechas mediante WinDENDRO®. La muestra foliar de cada árbol se enjuagó con agua corriente y después con agua destilada; se colocó en bolsas de papel y se secó a 70°C hasta peso constante (aproximadamente 48 h). Posteriormente, se llevó al laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados, donde se determinó la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B. Con esta información se generó la base de datos que se presenta en el Cuadro 10, a partir de la cual se desarrollaron las concentraciones críticas de *P. patula* para N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B.

Para determinar las concentraciones críticas y normas DRIS, la base de datos se ordenó en forma decreciente en función del incremento del DAP y se dividió en dos subpoblaciones con base en la misma variable: una subpoblación de bajo rendimiento (bajo incremento de DAP) y una de alto rendimiento (alto incremento de DAP). Se buscó que la subpoblación de alto rendimiento contuviera el 16% de los árboles de la base de datos general (Hernández y Torres, 2009), por supuesto, incluyendo sólo aquellos que mostraron los mayores incrementos de DAP.

Los árboles que conformaron la subpoblación de alto rendimiento mostraron los mayores incrementos debido a múltiples causas posibles. Es probable que estos árboles hayan crecido en condiciones de suelo, clima o manejo más adecuadas que las prevalecientes en los sitios donde crecieron los árboles de la subpoblación de bajo rendimiento. En lo relativo a la disponibilidad de nutrimentos, la elevada tasa de crecimiento de esos árboles sólo pudo tener lugar en la subpoblación de alto rendimiento si las concentraciones foliares de todos los nutrimentos fueron cercanas a las adecuadas para la especie (Svenson y Kimberley, 1988). Bajo el fundamento de que los altos rendimientos pueden ocurrir solamente en ausencia de limitaciones nutrimentales y de otros factores que afectan el crecimiento, se asumió que las concentraciones críticas de cada nutrimento estudiado, fueron las correspondientes a la subpoblación de alto rendimiento.

Las normas DRIS derivaron de los cocientes y coeficientes de variación de todas las posibles combinaciones entre nutrimentos obtenidas éstas a partir de la subpoblación de alto rendimiento.

3.4. Verificación de las concentraciones críticas y normas DRIS

3.4.1. Ubicación de los sitios de estudio

Una de las verificaciones se realizó a partir de marzo de 2011 a octubre de 2012, en Palo Bendito, en el municipio de Huayacocotla, Veracruz, México, que se ubica en la posición $20^{\circ} 27' 19.59''\text{N}$, $98^{\circ} 29' 30.59''\text{W}$ a 2409 m de altitud (Figura 4).

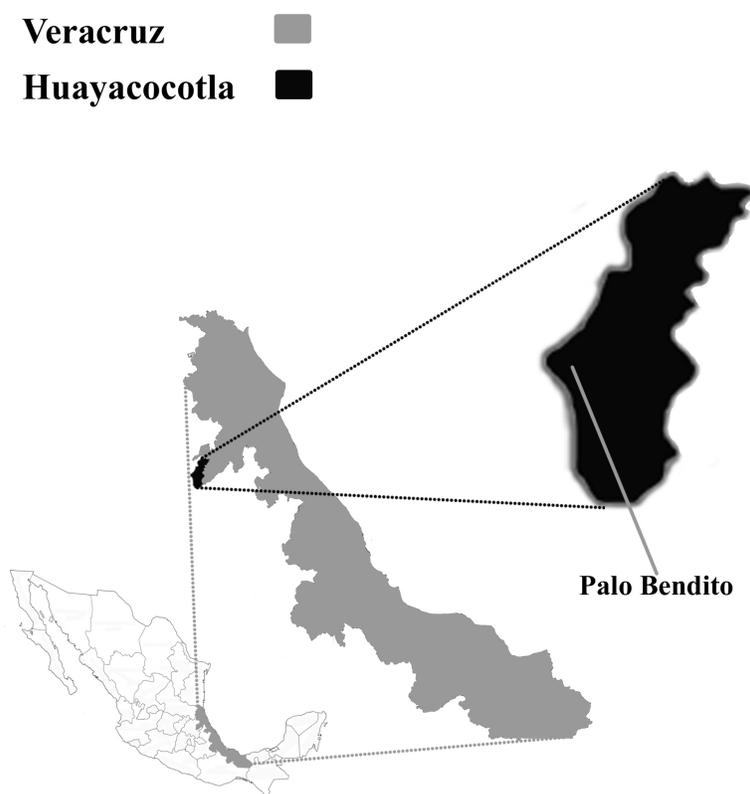


Figura 4. Ubicación del área de estudio para la verificación de concentraciones críticas y normas DRIS en la comunidad Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.

Otra de las verificaciones se realizó en un experimento de fertilización ya establecido en el Conjunto Predial Forestal, Fracción Rancho Chichicaxtla, en el predio Los Corrales, paraje La Tronconera, municipio de Aquixtla, Puebla, que se ubica a los 19° 43' 20.9" de Latitud Norte y 97° 59' 35.6" de Longitud Oeste, a 2,980 m de altitud (Figura 5).

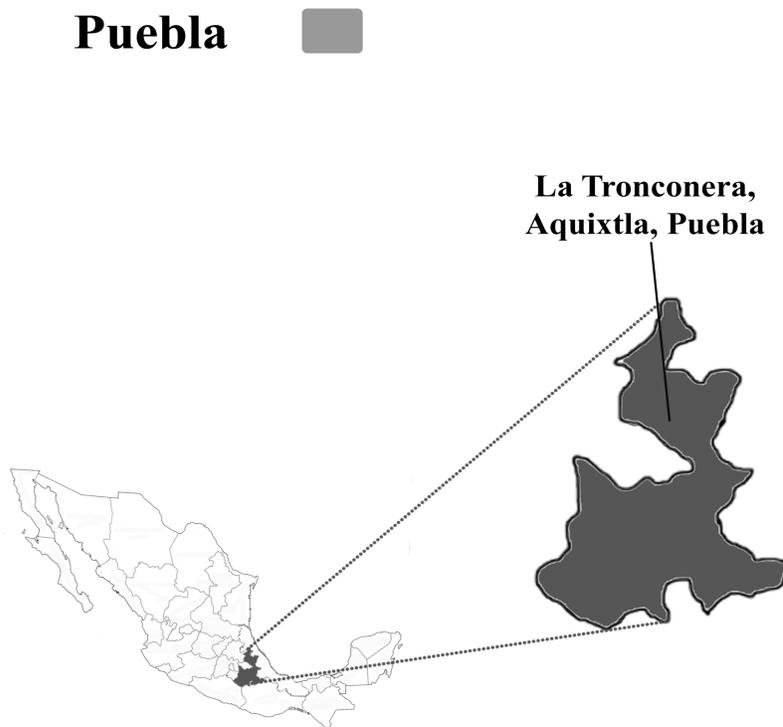


Figura 5. Ubicación del área de estudio para la verificación de concentraciones crítica y normas DRIS en el paraje La Tronconera, Conjunto Predial Forestal, Aquixtla, Puebla.

3.5. Diseño experimental

En Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, se realizó un experimento factorial $3 \times 3 \times 2 = 18$ tratamientos con un diseño experimental completamente al azar. Los factores

(nutrimentos) de variación que fueron probados fueron nitrógeno, fósforo y potasio y los niveles (dosis) de cada uno de ellos se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Factores de variación del experimento factorial utilizado en el estudio de Palo Bendito, Veracruz.

	Factores		
	N	P	K
Niveles (g)	0	0	0
	150	35	25
	300	70	
Material fertilizante	Urea	Súper fosfato tripe	Sulfato de potasio

La combinación de los niveles de los tres factores produjo un total de 18 tratamientos (Cuadro 3), con diez repeticiones, lo que originó un total de 180 unidades experimentales. La unidad experimental consistió en un árbol. El espaciamiento entre árboles fue de 2.30 m y el ancho entre filas fue de 3 m.

Cuadro 3. Tratamientos de fertilización aplicados en el ensayo de fertilización para verificación de concentraciones críticas y normas DRIS.

Tratamientos	Gramos por árbol		
	N	P	K
T1	0	0	0
T2	0	0	25
T3	0	35	0
T4	0	35	25
T5	0	70	0
T6	0	70	25
T7	150	0	0
T8	150	0	25
T9	150	35	0
T10	150	35	25
T11	150	70	0
T12	150	70	25
T13	300	0	0
T14	300	0	25
T15	300	35	0
T16	300	35	25
T17	300	70	0
T18	300	70	25

El experimento ya establecido en una plantación de *P. patula* de 10 años de edad en el paraje La Tronconera, Aquixtla, Puebla, consistió en un experimento factorial $3 \times 3 \times 3=27$ tratamientos, cada uno de los cuales se replicó en tres unidades experimentales, La unidad experimental consistió en una parcela de 13×4.5 m con un diseño experimental

completamente al azar. Los factores (nutrimentos) probados y los niveles (dosis) de cada uno de ellos fueron N (0, 62, 84), P (0, 7, 9) y K (0, 54, 74) Kg ha⁻¹ de materiales fertilizantes solubles, N (Nitrato de magnesio, fosfonitrato, nitrato de potasio, fosfato monoamónico y sulfato de amonio), P (Ácido fosfórico, fosfato monopotásico, fosfonitrato y fosfato monoamónico) y K (Sulfato de potasio, fosfato monopotásico y nitrato de potasio).

3.6. Fertilización

La determinación de la dosis de fertilización (Cuadro 2) se realizó en base a un programa de cómputo (NUTRIDRIS) elaborado por Miguel Ángel López López (2007, Posgrado Forestal Colegio de Postgraduados).

La selección de los árboles experimentales dentro de la plantación se hizo en función del DAP, seleccionando aquellos árboles cuyo DAP se ubicó entre 15 y 21 cm. Además, se procuró que los árboles experimentales quedarán separados entre sí por una distancia mínima de 5 m. La aplicación de los fertilizantes se realizó en forma granulada. En total los árboles que recibieron fertilizante fueron 170 con 10 árboles testigos. Los tratamientos de fertilización en el experimento de Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz se aplicaron el 22 de julio del 2011. Los materiales fertilizantes fueron aplicados al voleo en la zona de goteo de los árboles seleccionados.

3.7. Colecta de follaje

La colecta de follaje se realizó trepando a los árboles entre el 29 y 30 de octubre de 2012. Se seleccionaron tres árboles por tratamiento. De cada árbol se tomó una muestra de follaje del tercio superior de la copa, en ramas con exposición solar, se colectó follaje

correspondiente al último flujo de crecimiento. El follaje nuevo se identificó con base a la coloración clara presentada. El follaje del ciclo anterior se identificó fácilmente por el color verde oscuro que se observó en la muestra cortada (Figura 6).



Figura 6. Ejemplo de la parte del árbol donde se colectó la muestra de follaje de *Pinus patula*.

3.8. Procesamiento de muestras

Las muestras de follaje recolectadas se colocaron en bolsas de polietileno, previamente etiquetadas para su identificación y después se colocaron en una hielera. Estas fueron trasladadas al laboratorio y posteriormente enjuagadas con agua de la llave y por último con agua destilada. Una vez lavadas se colocaron en bolsas de papel y fueron puestas al horno a una temperatura de 70 °C durante 48 horas. Posteriormente los análisis se realizaron de acuerdo a los procedimientos del Laboratorio de Fertilidad del Colegio de Postgraduados (Etchevers-Barra, 1992) donde se determinó la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio.

La extracción del nitrógeno se determinó mediante el método de semimicro-Kjeldahl, el fósforo mediante el método colorimétrico con el complejo amarillo de vanadato, el potasio se determinó con espectrofotometría de emisión atómica (Reuter y Robinson, 1986).

3.9. Análisis estadístico

Obtenidas las mediciones de incremento de diámetro durante un año se procedió a realizar el análisis estadístico que consistió en un análisis de varianza para el incremento de diámetro. Para este análisis se usó el procedimiento GLM del programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc., 2011). El modelo estadístico empleado para analizar los tratamientos fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + N_i + P_j + K_k + NP_{ij} + NK_{ik} + PK_{jk} + NPK_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Respuesta en el tratamiento i y replica l .

μ = Media general.

ε_{ijkl} = Error aleatorio.

N_i = Efecto del nitrógeno

P_j = Efecto del fósforo

K_k = Efecto del potasio

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La meta de este estudio fue generar y verificar dos estándares nutrimentales preliminares, concentraciones críticas y normas DRIS para árboles de *Pinus patula* Schl. et Cham. Concentraciones críticas y normas DRIS fueron originalmente diseñadas para especies agrícolas. Se presentan aquí los resultados obtenidos de la elaboración y verificación de concentraciones críticas y normas DRIS para brinzales y latizales de *Pinus patula*, una especie forestal de gran importancia económica en la zona centro de México.

4.1. Concentraciones críticas para *Pinus patula* en etapa de brinzal y latizal

Los árboles que conformaron la subpoblación de alto rendimiento mostraron mayor ancho de anillos y correspondió al 16% del total de los árboles (8 observaciones). Las concentraciones críticas derivadas de esta subpoblación se indican en el Cuadro 4 para una muestra foliar independiente, concentraciones de nutrimentos en tejido foliar que se encuentren por debajo de las que se muestran en el Cuadro 4 indican deficiencia, lo cual implica que la aplicación de fertilizantes que contengan tales nutrimentos seguramente se reflejarán en mejoramiento del estado nutrimental de los árboles, con la consecuente disminución o desaparición de síntomas de deficiencia y un incremento en la tasa de crecimiento.

Cuadro 4. Concentraciones críticas (CC) preliminares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B para árboles de *Pinus patula* de alrededor de 10 años de edad.

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	%					ppm				
	1.37	0.12	0.58	0.40	0.14	82	2.54	44	253	14.00
	1.47	0.15	0.65	0.42	0.17	87	0.39	29	299	8.00
	1.42	0.13	0.70	0.21	0.08	82	4.20	32	194	10.00
	1.83	0.11	0.62	0.29	0.08	118	3.36	47	141	10.00
	1.61	0.14	0.60	0.33	0.16	60	---	21	214	16.00
	1.42	0.14	0.55	0.30	0.12	124	2.00	29	516	10.00
	1.56	0.15	0.80	0.51	0.26	256	0.35	30	410	12.00
	1.23	0.12	0.55	0.17	0.11	141	---	12	272	10.00
CC	1.49	0.13	0.63	0.33	0.14	118.69	2.14	30.60	187.47	11.25

Las concentraciones críticas desarrolladas son las primeras para *P. patula* de aproximadamente 10 años de edad y provienen de una base de datos de 50 observaciones, siendo estas una guía para ayudar en lo sucesivo, a interpretar análisis foliares a productores, instituciones y gobierno. La característica de “preliminar” de las concentraciones críticas significa que éstas pueden ser las ideales para determinar el estado nutrimental de árboles o plantaciones de la especie. Eventualmente, esto puede conducir a fallas en la predicción del estado que guardan los nutrimentos en el follaje de los árboles.

Se pretende que en el futuro se agreguen nuevas observaciones a la base de datos para mejorar la capacidad predictiva o precisión del conjunto de concentraciones críticas.

4.2. Normas DRIS para *Pinus patula* en etapa de brinjal/latizal

El Cuadro 5 muestra las normas DRIS generadas en el presente estudio. Este conjunto de normas DRIS está conformado por 45 formas de expresión entre nutrimentos en las que el aporte de cada nutrimento está balanceado. En el cálculo de las funciones interviene el coeficiente de variación (C. V) de la relación entre los elementos. Si el C. V es bajo indica que los elementos están bien correlacionados fisiológicamente y la función tendrá alta repercusión en el cálculo de los índices. Un buen balance nutricional es más importante para un alto rendimiento que el efecto de un único nutrimento (Shumway y Chappell, 1994).

Como en el caso de las concentraciones críticas las normas DRIS que se han desarrollado son las primeras para *P. patula* y provienen de una base de datos de sólo 50 observaciones, lo que les da un carácter de preliminares. Se pretende que en el futuro se agreguen nuevas observaciones a la base de datos y se generen nuevas normas DRIS con mayor precisión en la predicción del estado nutrimental de *P. patula*.

Cuadro 5. Normas DRIS preliminares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B para brinzales/latizales de *Pinus patula*.

FORMA DE EXPRESIÓN	MEDIA	C.V.	FORMA DE EXPRESIÓN	MEDIA	C.V.
N/P	11.40	18.9	K/B	0.05	25
N/K	2.38	14.1	Ca/Mg	2.45	24.2
N/Ca	4.99	32.6	Ca/Fe	0.00	49.4
N/Mg	12.33	43.9	Ca/Cu	0.49	122.5
N/Fe	0.01	42.6	Ca/Zn	0.01	35.6
N/Cu	1.71	107.6	Ca/Mn	0.00	39.2
N/Zn	0.05	40.5	Ca/B	0.03	40.1
N/Mn	0.00	51.9	Mg/Fe	0.00	53
N/B	0.13	23.6	Mg/Cu	0.21	133.5
P/K	0.21	12.9	Mg/Zn	0.00	52.5
P/Ca	0.44	32.4	Mg/Mn	0.00	31.8
P/Mg	1.06	32.8	Mg/B	0.01	44.1
P/Fe	0.00	43.5	Fe/Cu	181.97	151.1
P/Cu	0.16	112.6	Fe/Zn	4.62	52.2
P/Zn	0.00	45	Fe/Mn	0.44	52.1
P/Mn	0.00	33.3	Fe/B	11.03	48.1
P/B	0.01	26.4	Cu/Zn	0.05	74.5
K/Ca	2.12	35.9	Cu/Mn	0.01	99.6
K/Mg	5.15	41.1	Cu/B	0.20	76.1
K/Fe	0.00	39	Zn/Mn	0.13	72
K/Cu	0.79	115.9	Zn/B	2.82	40.5
K/Zn	0.02	43.3	Mn/B	26.92	49.7
K/Mn	0.00	41.2			

C.V.: Coeficiente de variación de la subpoblación de alto rendimiento.

4.3. Verificación

4.3.1. Verificación de concentraciones críticas

El Cuadro 6 muestra, en las primeras tres columnas, diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K correspondientes a un experimento de fertilización desarrollado en

Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz. Las siguientes tres columnas indican las concentraciones foliares de N, P y K obtenidas para cada tratamiento y las siguientes tres columnas muestran el estado que guarda cada uno de los tres nutrientes en los árboles que recibieron el tratamiento en cuestión. La última columna muestra el incremento de diámetro a un año de realizada la aplicación de fertilizantes.

Según el Cuadro 6, el tratamiento testigo que no recibió ninguno de los tres nutrientes en estudio presentó una concentración de N de 1.79 %, 0.16% de P y 0.52% de K. Comparando estos valores con las correspondientes concentraciones críticas (Cuadro 4) el N y el P resultaron ser suficientes, mientras que el K se encuentra en estado de deficiencia (Cuadro 6); es decir, la concentración de este en el follaje de individuos de pino sujetos al tratamiento 0N,0P,0K es menor que la concentración crítica (Cuadro 4).

La deficiencia de K encontrada significa que al agregar este nutriente a los árboles debe lograrse un incremento en diámetro (Sumner,1977; Pritchett,1986; Turner *et al.* 2002). En el experimento factorial de fertilización existe un tratamiento en el que solamente se agregó K. Si el conjunto de concentraciones críticas desarrolladas en este estudio predice correctamente el estado nutricional de *P. patula*, entonces la fertilización con K debe reflejarse en un mejoramiento del incremento de diámetro. En efecto el tratamiento 0N, 0P, 25K resultó en un ligero mejoramiento del incremento de diámetro aunque sigue siendo el K el nutriente deficiente en este tratamiento, lo cual significa que la dosis de K aplicada (25 g) fue insuficiente para enmendar la deficiencia detectada en el tratamiento 0N,0P,0K.

Con el tratamiento de K aplicado, junto con una dosis de 35 g de P, se logró subsanar la deficiencia de este nutriente, además de un ligero incremento en el rendimiento.

Cuadro 6. Proceso de verificación de las concentraciones críticas de N, P y K mediante un experimento factorial en una plantación de *Pinus patula* de 17 años de edad en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.

Tratamiento (g de material fertilizante por árbol)			Concentración foliar (%)			Estado nutrimental			Incremento anual de diámetro (cm)
N	P	K	N	P	K	N	P	K	
0	0	0	1.79	0.16	0.52	s	s	d	0.52
0	0	25	1.81	0.18	0.58	s	s	d	0.55

s= suficiente; d= deficiente

El incremento de diámetro mejoró de 0.52 a 0.55 cm del tratamiento 0N, 0P, 0K al tratamiento 0N,0P,25K. Esto significa que el conjunto de concentraciones críticas desarrolladas en este estudio predice adecuadamente el estado nutrimental de N, P y K.

Es menester hacer notar que el incremento de diámetro obtenido al enmendar la deficiencia de K detectada, fue ligero. Esto probablemente se debe a que la plantación donde se estableció el experimento es extremadamente densa, ya que fue establecida a un espaciamiento de 2.5 m entre árboles y actualmente los árboles tienen alturas cercanas a 20 m. Bajo estas condiciones, es altamente probable que otro factor limitante del crecimiento sea la escases de radiación solar incidente sobre la copa de los árboles, de tal manera que las deficiencias nutrimentales representan factores limitantes secundarios, cuya enmienda, de acuerdo con la ley del mínimo de Liebig, no se espera que se refleje en resultados significativos en términos de crecimiento.

Cabe advertir que el segundo tratamiento analizado (Cuadro 6) mostró concentraciones de N y P más elevadas que las del tratamiento 0N, 0P, 0K, aun cuando no se aplicó N ni P a

este tratamiento. Es probable que este comportamiento provenga de un problema de representatividad de la muestra foliar, dado que sólo fue posible coleccionar muestra foliar de tres repeticiones de cada tratamiento debido a limitaciones financieras. Otra posible explicación para los datos observados es la inherente variabilidad natural de los terrenos forestales.

Cuadro 7. Proceso de verificación de las concentraciones críticas de N, P y K mediante un experimento factorial en una plantación de *Pinus patula* de 10 años de edad en el paraje La Tronconera, Aquixtla, Puebla.

Tratamiento (Kg ha ⁻¹ de N, P o K)			Concentración foliar (%)			Estado nutrimental			Incremento anual de diámetro (cm)
N	P	K	N	P	K	N	P	K	
0	0	0	1.38	0.11	0.73	d	d	s	1.79
62	0	0	1.43	0.12	0.77	d	d	s	1.60
62	7	0	1.38	0.12	0.77	d	d	s	1.39
62	9	0	1.36	0.11	0.73	d	d	s	1.45
84	9	0	1.58	0.12	0.80	s	d	s	1.57

s= suficiente d= deficiente

Según el Cuadro 7, el tratamiento 0N, 0P, 0K tuvo un incremento de diámetro de 1.79 cm y los nutrientes deficientes fueron N y P. Al agregar N la concentración foliar de este nutriente aumentó pero el nutriente sigue siendo deficiente y el rendimiento disminuyó hasta 1.60 cm probablemente como consecuencia de un desbalance nutrimental resultado de aplicar solamente N y no P que también era un nutriente que estaba deficiente. Los siguientes dos tratamientos del Cuadro 7 corresponden a la adición de fósforo, sólo que por un error durante el cálculo de las mezclas de fertilizante las dosis de P fueron bajas y no se

reflejaron en mejora del rendimiento. En el tratamiento 62N, 9P, 0K los tratamientos deficientes siguen siendo N y P. Al incrementar el N a 84 kg ha⁻¹ aumentó la concentración foliar de N se subsanó la deficiencia de N y aumentó el rendimiento a 1.57 cm lo que indica que el conjunto de concentraciones críticas generado predice correctamente el estado nutricional, aunque la precisión parece no ser del nivel deseado.

Se debe señalar que en el área donde se estableció este experimento existen árboles viejos de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* en algunas parcelas. Es muy probable que la presencia de estos árboles haya significado supresión de algunos árboles de *P. patula* incluidos en el experimento con la respectiva alteración de los efectos de los fertilizantes aplicados.

4.3.2. Verificación de normas DRIS

El proceso de verificación de normas DRIS es similar al realizado para el caso de las concentraciones críticas. Los índices DRIS calculados para el tratamiento testigo (0N, 0P, 0K) indican que los árboles son deficientes en K (Cuadro 8). Esto coincide con el diagnóstico realizado mediante las concentraciones críticas. La enmienda de esta deficiencia a través del tratamiento 0N, 0P, 25K, mejoró ligeramente el incremento anual de diámetro, indicando que la predicción de las normas DRIS fue correcta. No obstante la correcta predicción del estado nutricional mediante las normas DRIS, el mejoramiento del incremento de diámetro fue ligero debido probablemente a la escasez de radiación solar en las copas de los árboles como ya se discutió en la sección 4.3.1.

Cuadro 8. Proceso de verificación de las normas DRIS de N, P y K mediante un experimento factorial en una plantación de *Pinus patula* de 17 años de edad, ubicada en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.

Tratamiento (g de material fertilizante por árbol)			Concentración foliar (%)			Índices DRIS			Incremento anual de diámetro (cm)
N	P	K	N	P	K	N	P	K	
0	0	0	1.79	0.16	0.52	14.0	19.0	-33.0	0.52
0	0	25	1.81	0.18	0.58	7.5	22.1	-29.6	0.55

El proceso de verificación de normas DRIS usando los datos del experimento de fertilización establecido en el predio La Tronconera del Conjunto Predial Forestal de Aquixtla, Puebla es similar al realizado para el caso del experimento ubicado en el ejido de Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz. Los índices DRIS calculados para el tratamiento testigo (0N, 0P, 0K) del experimento de Aquixtla, Puebla indican que los árboles son deficientes en P. La enmienda de esta deficiencia a través del tratamiento 0N, 7P, 0K no mejoró el incremento anual de diámetro y además presentó deficiencia de N, por lo que al enmendar esta deficiencia a través del tratamiento 62N, 7P, 0K mejoró considerablemente el incremento (3mm, Cuadro 9). Al enmendar la deficiencia de P con el tratamiento 62N, 9P, 0K mejoró el incremento (6mm, Cuadro 9). Corrigiendo la deficiencia de N a través el tratamiento 84N, 9P, 0K se obtuvo un incremento de 12 mm, lo cual indica que la predicción de las normas DRIS fue correcta.

Cuadro 9. Proceso de verificación de las normas DRIS de N, P y K mediante un experimento factorial en una plantación de *Pinus patula* de 10 años de edad en el predio La Tronconera del Conjunto Predial Forestal de Aquixtla, Puebla.

Tratamiento (Kg ha ⁻¹ de N, P o K)			Concentración foliar (%)			Índices DRIS			IDN	Incremento anual de diámetro (cm)
N	P	K	N	P	K	N	P	K		
0	0	0	1.38	0.11	0.73	-6.53	-18.17	24.70	49.40	1.79
0	7	0	1.40	0.13	0.73	-10.10	-5.62	15.71	31.42	1.36
62	7	0	1.38	0.11	0.73	-6.53	-18.17	24.70	49.40	1.39
62	9	0	1.36	0.11	0.73	-7.60	-17.75	25.35	5.71	1.45
84	9	0	1.58	0.12	0.80	-3.17	-19.86	23.03	46.07	1.57

IDN índice de desbalance nutrimental

4.4. Respuesta del crecimiento de diámetro en árboles de *Pinus patula* de 17 años de edad a la aplicación de tratamientos de fertilización

El Cuadro 10 indica que no existieron diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre tratamientos para el diámetro inicial de las unidades experimentales. Esto significa que el diámetro inicial fue estadísticamente igual en todos los tratamientos, lo que, a su vez, implica que el proceso de asignación de los tratamientos a las unidades experimentales fue correcto y que la variación del diámetro inicial se presentó por igual en todos los tratamientos. De acuerdo con esta interpretación, se puede descartar la necesidad de introducir una covariable como el diámetro inicial de las unidades experimentales al estudiar los efectos de los tratamientos sobre el incremento de diámetro.

Cuadro 10. Análisis de varianza para diámetro inicial en árboles de *Pinus patula* de 17 años de edad en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.

Fuente	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F
Modelo	17	65.39	3.85	1.21	0.2659
N	2	3.05	1.53	0.48	0.6194
P	2	16.26	8.13	2.56	0.0815
K	1	0.23	0.23	0.07	0.790
N*P	4	20.67	5.17	1.63	0.1718
N*K	2	13.90	6.95	2.19	0.1164
P*K	2	4.25	2.12	0.67	0.5141
N*P*K	4	7.04	1.76	0.55	0.6963
Error	118				

GL: Grados de libertad
 SC: Suma de cuadrados
 CM: Cuadrado medio

El análisis de varianza del Cuadro 11 muestra que el incremento anual de diámetro después de aplicados los tratamientos de fertilización fue estadísticamente igual ($\alpha=0.05$) en todos los tratamientos, no obstante que las concentraciones críticas (Sección 4.3.1) y el DRIS (Sección 4.3.2) muestran que el nutriente más limitante en la plantación es el K. La falta de significancia de los tratamientos de fertilización es congruente con los reducidos aumentos del incremento de diámetro, logrados al aplicar el nutriente deficiente (K) según el diagnóstico por concentraciones críticas y DRIS.

Como se discutió en las secciones 4.3.1 y 4.3.2 las reducidas respuestas a la corrección de las deficiencias durante los procesos de verificación de las concentraciones críticas y normas DRIS probablemente puedan atribuirse a la elevada densidad actual del arbolado,

misma que promueve la competencia por luz entre copas, siendo probablemente la luz el factor limitante del crecimiento. Si es así, de acuerdo con la ley del mínimo de Liebig, las respuestas a la aplicación de nutrimentos deben ser pobres, como sucedió en el ensayo realizado en el presente estudio.

Cuadro 11. Análisis de varianza para incremento anual de diámetro en el ensayo de fertilización de la plantación de *Pinus patula* de 17 años de edad en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.

Fuente	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F
Modelo	17	2.59	0.15	0.95	0.5148
N	2	0.56	0.28	1.77	0.1754
P	2	0.13	0.07	0.42	0.6561
K	1	0.17	0.17	1.08	0.3019
N*P	4	0.24	0.06	0.38	0.8225
N*K	2	0.22	0.11	0.69	0.5026
P*K	2	0.36	0.18	1.14	0.3242
N*P*K	4	0.89	0.22	1.39	0.2405
Error	118	18.85			

GL: Grados de libertad
 SC: Suma de cuadrados
 CM: Cuadrado medio

5. CONCLUSIONES

En este estudio se generó un conjunto de concentraciones críticas y normas DRIS de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, y B, aplicables a brinzales y latizales de *P. patula* en los estados de Puebla, Hidalgo y Veracruz, México. Dado que no existen reportes de estos métodos en la zona, el trabajo representa una base de diagnóstico que permite detectar elementos nutrimentales en el rango de deficiencia a suficiencia.

Los procesos de verificación del conjunto de concentraciones críticas y el DRIS se realizaron en los predios Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz y La Tronconera, Aquixtla, Puebla. Los métodos de diagnóstico predijeron correctamente el estado nutrimental de latizales de *P. patula*. Ambos métodos de estudio coincidieron en diagnosticar los nutrimentos limitantes del crecimiento en los sitios bajo estudio.

El nutrimento limitante del crecimiento en la plantación de *P. patula* ubicada en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz fue K. No obstante, se advierte que no se esperan resultados espectaculares ante la enmienda de la deficiencia, si no se disminuye previamente la densidad del arbolado. La corrección de tal deficiencia debe realizarse utilizando una dosis de sulfato de potasio superior a 25 g por árbol (35 kg ha^{-1}).

A pesar de la elevada densidad de arbolado en la plantación experimental de Palo Bendito, Veracruz, misma que probablemente promueve que el principal factor limitante del crecimiento sea la falta de radiación solar en el dosel, los procedimientos de concentraciones críticas y DRIS diagnosticaron correctamente la deficiencia nutrimental.

Los nutrimentos deficientes en el predio La Tronconera, Aquixtla, Puebla son N y P. Se espera que la corrección de estas deficiencias impacten positivamente en el crecimiento de

P. patula sólo si se disminuye previamente la densidad del arbolado y se libere la plantación de los árboles dominantes de otras especies presentes en el sitio. La corrección de las deficiencias de nitrógeno y fósforo debe realizarse utilizando una dosis de urea de aproximadamente 84 Kg ha⁻¹, en combinación con una dosis de superfosfato triple de calcio superior a 9 Kg ha⁻¹.

El manejo nutrimental puede contribuir en la sostenibilidad del manejo de plantaciones. Para ello se deben realizar mayores esfuerzos de investigación en métodos de diagnóstico que permitan, por un lado, reducir los nutrientes contaminantes y los costos, y por el otro, mejorar el rendimiento.

6. LITERATURA CITADA

- Arteaga, M. B. y C. A. Pérez. 2001. *Pinus maximinoi* H. E. Moore: Una especie prometedora para plantaciones forestales comerciales en el trópico. *Foresta Veracruzana*, Xalapa, Ver., México. 3(002): 63-70.
- Bailey, J. S., J. A. M. Beattie and D. J. Kilpatrick. 1997. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: I. Model establishment. *Plant Soil*. 197: 127-135.
- Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science. Bull. University of Natal. South Africa*. 132 p.
- Becerra, L. F. 1986. Determinación de una guía de densidad para *Pinus patula* Schl et Cham en la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 82 p.
- Binkley, D. 1993. *Nutrición Forestal. Prácticas de manejo*. Limusa. México. 340 p.
- Birks, J. S., and R. D. Barnes. 1990. Provenance variation in *Pinus caribaea*, *P. occarpa* and *P. patula ssp. Tecunnumanii*. *Tropical Forestry Papers* 21. Oxford Forestry Institute. Oxford. 40 p.
- Buesa, V. A. 2003. Regeneración de pino radiata después de un incendio en el monte de UP Núm. 147 "Posadero". *Montes. Revista de Ámbito Forestal* 3: 46-48.
- Castelán-Lorenzo, M. y B. Arteaga-Martínez. 2009. Establecimiento de regeneración de *Pinus patula* Schl. et Cham., en cortas bajo el método de árboles padres. *Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y de Ambiente* 15: 49-57.

- Castelán, L. M. 2003. Evaluación de la regeneración natural de *Pinus patula* Schiede ex Schldl. & Cham. En el ejido “La Mojonera”, Municipio de Zacualtipán, Estado de Hidalgo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 95 p.
- Castellanos-Bolaños, J. F., E. J. Treviño-Garza, O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, M. Musalem-Santiago y R. López-Aguillón. 2008. Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosque* 14:51-63.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. <http://www.conafor.gob.mx> (Consultado 20 de diciembre de 2012).
- Crous, J. W., A. R. Morris. and M. C. Scholes. 2010. Effect of phosphorus and potassium fertilizer on tree growth and dry timber production of *Pinus patula* on gabbro-derived soils in Swaziland. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* 71: 235-243.
- Domínguez, A. F., A. M. Rodríguez A. y C. Mallén R. 1997. Evaluación de cuatro intensidades de poda en una plantación de *Pinus patula* Schel. et Cham. en la región de Huayacocotla, Veracruz. *Ciencia Forestal en México* 22: 15-32.
- Donald, D. G. M and L. M. Glen. 1974. The response of *Pinus radiata* and *Pinus pinaster* to N, P and K fertilizer applied at planting. *South Africa Forestry Journal* 91:19-29.
- Dvorak, W. S., and J. K. Donahue. 1980. Camcore cooperative research review. Department of Forestry, College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, NC. USA. 93 p.
- Etchevers-Barra, Jorge D. 1992. Manual de Métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Laboratorio de Fertilidad, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. México.

- Evans, J. 1992. Plantation forestry in the tropics. Second ed. Clarendon Press, Oxford. pp. 404.
- FAO, 2001. Datos mundiales sobre los recursos de plantaciones forestales. <http://www.fao.org> (Consultado 25 de enero de 2013).
- García, O. 1995. Apuntes de Mensura Forestal I. Estadística. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 65 p.
- Gillespie, A. J. R. 1992. *Pinus patula* Schiede and Deepe. SO-ITF-SM-54. New Orleans, LA., USA. 5 p.
- Hernández, P. F. y S. Torres-Lamas. 2009. Niveles críticos nutrimentales preliminares para especies Forestales de México a nivel de vivero. Tesis profesional. UACH/DICIFO. Chapingo, México. pp. 151.
- Jayamadhavan A., K. Sudhakara. 2000. Methods of leaf sampling in teak (*Tectona grandis*) for nutrient analysis. Journal of Tropical Forest Science 12: 227-237.
- Landis, T. 1989. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen cuatro, capítulo 1, "Nutrimentos minerales y fertilización". Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Dasonomía Estatal y Privada, Oregon, E.U.A: pp. 7, 8 y 60.
- Lázaro-Dzul, M. O., J. Velázquez-Mendoza; J. J. Vargas-Hernández, A. Gómez-Guerrero, M. E. Álvarez-Sánchez, M. A. López-López. 2012. Fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* schl. et cham. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 18: 33-42

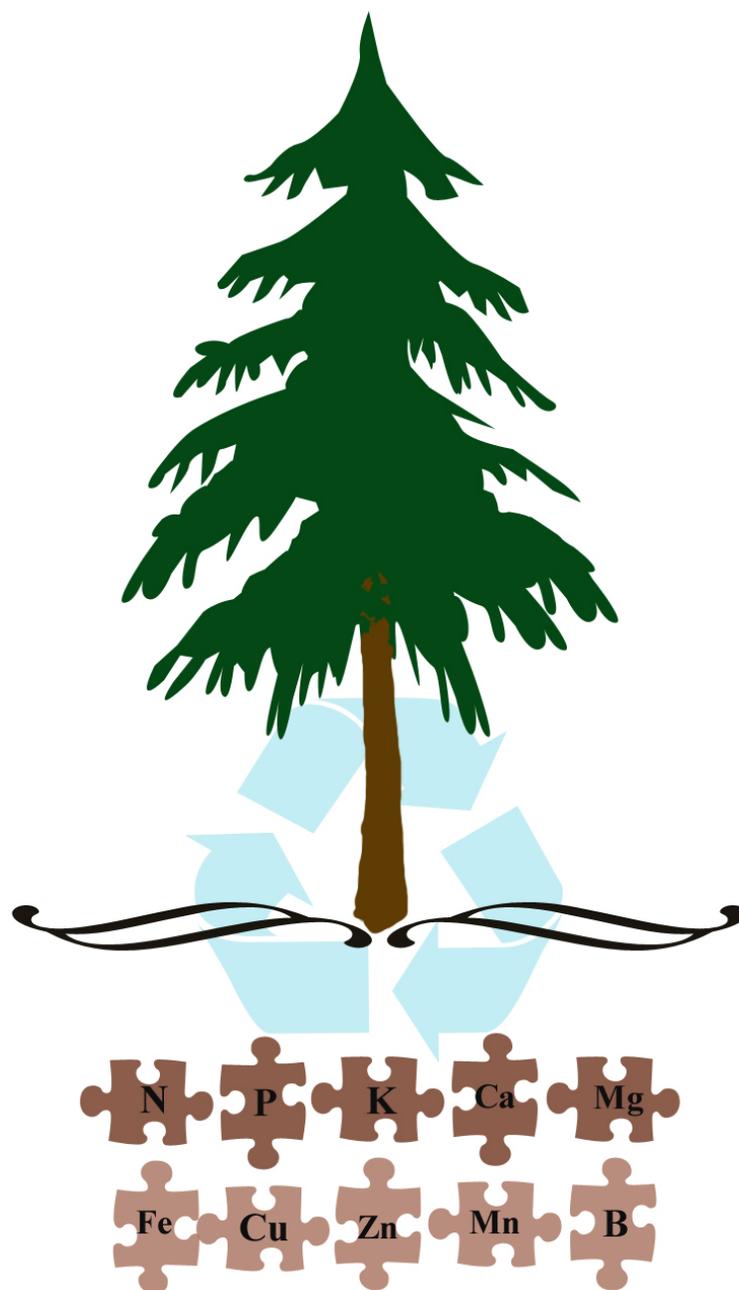
- López, L. M. A. 1990. Estudio de nutrición de *Pinus patula* Schl. et Cham. en sistema hidropónico. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 69 p.
- Muñoz, F. H. J., G. Orozco. G., V. M. Coria A. y J. J. García M. 2010. Factores ambientales de *Pinus patula* Schal. et Cham. y su adaptación a las condiciones de la Sierra Purépecha, Michoacán. Foresta Veracruzana, Xalapa, México 12: 27-33.
- Nepomuceno, M. 1994. Guía tecnológica para el establecimiento de plantaciones de Pino patula (*Pinus patula*) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. p. 48.
- Ortiz, V.B. 1984. Edafología. 4ta. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. México. 374 p.
- Perry, J. 1991. The pines of México and Central America. Portland Oregon. 231 p.
- Pritchett, W. L. 1986. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Traducido al español por José Hurtado-Vega. Limusa. México, D.F.
- Reuter, D. J., J. B. Robinson, K. I. Peverill and G. H. Price. 1986. Guidelines for collecting, handling and analysing plant materials. pp. 20-33.
- Rodríguez-Ortíz, G., V.A. González-Hernández, A. Aldrete, H. De Los Santos-Posadas, A. Gómez-Guerrero y A. M. Fierros-González. 2011. Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo. Fitotecnia 34: 205-212.
- Rodríguez, O. G. 2010. Efectos de aclareo en el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. en Ixtlán, Oaxaca. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 134 p.

- Rodríguez, O., y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutrimental en plantas. Rev. Fac. Agron. LUZ. 17: 449-470.
- Romanya, J. and V. R. Vallejo. 1995. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantations in Spain. Forest Science 422: 192-197.
- Ruano, M. J. R. 2003. Viveros forestales: manual de cultivo y proyectos. Madrid: Mundi prensa. 281 p.
- Sáenz-Romero, C., J. Beaulieu, Rehfeldt. 2011. Variación genética altitudinal entre poblaciones de *Pinus patula* de Oaxaca, México, en cámaras de crecimiento simulando temperaturas de calentamiento global. Agrociencia 45: 399-411.
- Santiago, G.W. 2009. Sistema de crecimiento y rendimiento para *Pinus patula* de Zacualtipán, Hidalgo, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 78 p.
- Schroeder, M. A. López, E. Alfredo y G. C. Martínez. 2005. Resultados preliminares del análisis foliar de algunas especies medicinales del noreste argentino. Aerotecnia 15: 8-11.
- Segura, M., A. Castillo, A. Alvarado y F. Blanco. 2006. Variación del contenido foliar de nutrimentos de *Alnus acuminata*. Agronomía Costarricense. 30: 53-63.
- Shumway, J. S., and H. N. Chappel. 1995. Preliminary DRIS norms for coastal Douglas-fir soils in Washington and Oregon. Canadian Journal of Forest Research 25 (2), 208-214.
- Sumner, M. E. 1977. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. Communications in Soil Science And Plant Analysis. 8:148-167.
- Sumner, M. E. 1977. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. Communications in Soil Science And Plant Analysis. 8(3):251-267.

- Svenson, G. A. and M. O. Kimberley. 1988. Can DRIS improve diagnosis of nutrient deficiency in *Pinus radiata*?. New Zealand Journal of Forestry Science 18: 33-42.
- Turner, J., M. J. Lambert., F. R. Humphreys. 2002. Continuing growth response to phosphate fertilizers by a *Pinus radiata* plantation over fifty years. Forestry Science. 48:556-568.
- Valdez-Lazalde, J., and T. B. Lynch. 2000. Ecuaciones para estimar volumen comercial y total en rodales aclareados de pino *patula* en Puebla, México. Agrociencia 34: 747-758.
- Valdivieso, J. A. 1990. Un método alternativo de manejo para plantaciones: espaciamiento concentrado en árboles selectos. Bosque 11: 3-8.
- Vela, G. L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schl. et Cham. Publicación especial No. 19. INIF/SARH. México. 109 p.
- Velázquez, M. A., G. Ángeles P; T. LLanderl; A. R. Román y V. Reyes. 2004. Monografía de *Pinus patula*. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 124 p.
- Velázquez, M. A., M. De J. González G.; y P. Hernández de la R. 1992. Análisis estructural de un bosque de *Pinus patula* como resultado de la aplicación de aclareos en la sierra norte de Puebla. Agrociencia 2:13-25.
- Wells, C., and L. Allen. 1985. When and where apply fertilizer. A loblolly pine management guide. Gen. Tech. Rep. SE-36. USDA Forest Service. 23 p.
- Wormald, T. J. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry 7. Commonwealth Forestry Institute. UK: Department of Forestry. Oxford. 212 p.
- Zas, R. 2003. Interpretación de las concentraciones foliares en nutrimentos en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don en tierras agrarias en Galicia. Investigaciones Agrarias: Sistema de Recursos Forestales. 12: 4 p.

Zérega, L. y T. Hernández. 1998. Efectos del nitrógeno orgánico y mineral sobre el rendimiento de la caña de azúcar. Revista Bioagro.. 10: 63-67.

DESARROLLO Y VERIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES CRÍTICAS Y NORMAS
DRIS PARA BRINZALES Y LATIZALES DE *Pinus patula Schl. et Cham.*



Agustina Sánchez Parada. Marzo de 2013