



Diagrama de Manejo de la Densidad basado en el modelo de Reineke para las masas mezcladas de Durango

PROCESO Y LOS RESULTADOS PRODUCTIVOS Y/O ECONÓMICOS DE LA ADOPCIÓN

Proceso Transferencia-Adopción

Adopción de la tecnología

Diagrama de manejo de la densidad (DMD) para mezcla de especies de los géneros *Pinus*, *Quercus*, *Arbutus*, *Juniperus* y las asociaciones de especies presentes en las masas forestales de la unidad de manejo forestal 1005 (UMAFOR) “Santiago Papasquiario y Anexos” en Durango. El DMD está basado en el modelo de Reineke ($N = \alpha \left[\frac{DCP}{25} \right]^{-\beta}$) para la relación Número de árboles por hectárea y el diámetro cuadrático promedio ($N - DCP$), donde α representa el parámetro del intercepto y β el de la pendiente. La ecuación de Reineke con los parámetros ajustados por regresión frontera estocástica (RFE), como un modelo Normal-Truncado es la siguiente: $N = 12.359 \left[\frac{DCP}{25} \right]^{-1.664}$.

Para calificar los rodales por índice de densidad de Reineke (IDR), a un DCP de referencia de 25 cm, se utiliza la expresión de $IDR = N(25/DCP)^{-1.664}$ y para obtener N de un IDR específico se utiliza $N = IDR(DCP/25)^{-1.664}$. El método de RFE ajusta la línea de máxima densidad a la frontera superior de los 1,785 sitios de inventario operativo utilizados, lo que elimina la subjetividad de MCO que ajusta la línea como una regresión promedio. El DMD ayuda a prescribir aclareos en las masas forestales tratadas con el método de desarrollo silvícola (MDS), a través de secuelas de aclareo y redistribución de volumen.

La adopción de la tecnología consideró el proceso de generación-validación-transferencia-adopción para el manejo de la densidad en rodales con manejo regular a través del Método de Desarrollo Silvícola (MDS) en predios forestales de la región e Santiago Papasquiario, Durango. La tecnología se adoptó en el manejo forestal de ejido San Diego de Tezains. En el proceso de adopción se realizó un Curso-Taller del uso de modelos de densidad y ecuaciones de volumen para la ejecución de programas de manejo forestal como herramientas de silvicultura de precisión (18 personas).

de la tecnología se basó en un proceso de seguimiento desde la generación-validación-transferencia-adopción en el manejo de la densidad de rodales mezclados de la UMAFOR 1005 y específicamente en los bosques del Ejido San Diego de Tezains, en Santiago Papasquiario, Durango. Para esto se realizó una demostración forestal; Proceso de estimación, extrapolación, seguimiento y control de volumen y manejo de la densidad en la planeación y ejecución de Programas de manejo forestal. En la demostración participaron técnicos y silvicultores (20 personas).

La adopción de la tecnología consideró el proceso generación-validación-transferencia para llegar a la adopción y el uso en la aplicación de tratamientos silvícolas de aclareos. La tecnología fue generada en 2015, transferida en 2019 y utilizada en 2020—2021 en rodales mezclados del ejido San Diego de Tezains, Santiago Papasquiario, Durango. Los modelos de densidad máxima y el índice de densidad de rodales se han aplicado en una superficie de 1,803.70 ha de rodales mezclados, con una producción de 78,509.84 m³ de volumen total árbol para los grupos de pino, encino, otras coníferas y otras hojosas y se ha beneficiado a 374 productores.

Resultados productivos

Los resultados de la adopción de la tecnología Diagrama de Manejo de la Densidad basado en el modelo de Reineke para las masas mezcladas de Durango, aplicada en el manejo forestal de bosques de la región de Santiago Papasquiario, Durango son los siguientes:

1. Uso del DMD en la aplicación de aclareos en bosques con manejo forestal a través del MDS.



2. Optimización de la intensidad de corta hasta un 10% superior a la utilizada de manera convencional para aplicar aclareos y la obtención de productos comerciales menores.
3. Aplicación de aclareos para regular la densidad y favorecer el crecimiento de los árboles residuales, así como la redistribución de volumen para generar ganancias económicas en los tratamientos silvícolas siguientes.
4. Proceso de transferencia y adopción con silvicultores y técnicos forestales, así como alianzas para la gestión de tecnologías nuevas.
5. Aplicación de los modelos de densidad e índice de densidad para la ejecución de tratamientos silvícolas con la representación del estado de crecimiento natural de los rodales y la definición de zonas de crecimiento para aplicar aclareos.

DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD BASADO EN EL MODELO DE REINEKE PARA LAS MASAS MEZCLADAS DE DURANGO

AUTO-ACLAREO, MODELO DE REINEKE, DENSIDAD

1. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA. Diagrama de manejo de la densidad (*DMD*) para mezcla de especies de los géneros *Pinus*, *Quercus*, *Arbutus*, *Juniperus* y las asociaciones de especies presentes en las masas forestales de la unidad de manejo forestal 1005 (*UMAFOR*) “Santiago Papasquiaro y Anexos” en Durango. El *DMD* está basado en el modelo de *Reineke* ($N = \alpha DCP^\beta$) para la relación Número de árboles por hectárea y el diámetro cuadrático promedio ($N-DCP$), donde α representa el parámetro del intercepto y β el de la pendiente. La ecuación de *Reineke* con los parámetros ajustados por regresión frontera estocástica (*RFE*), como un modelo Normal-Truncado es la siguiente: $N = 12.359DCP^{-1.664}$.

Para calificar los rodales por índice de densidad de *Reineke* (*IDR*), a un *DCP* de referencia de 25 cm, se utiliza la expresión de $IDR = N \left(\frac{25}{DCP}\right)^{-1.664}$ y para obtener *N* de un *IDR* específico se utiliza $N = IDR \left(\frac{DCP}{25}\right)^{-1.664}$.

El método de *RFE* ajusta la línea de máxima densidad a la frontera superior de los 1,785 sitios de inventario operativo utilizados, lo que elimina la subjetividad de *MCO* que ajusta la línea como una regresión promedio. El *DMD* ayuda a prescribir aclareos en las masas forestales tratadas con el método de desarrollo silvícola (*MDS*), a través de secuelas de aclareo y redistribución de volumen.

2. PROBLEMA, OPORTUNIDAD, NECESIDAD ATENDIDO. La densidad y el índice de sitio son los aspectos más importantes en el manejo forestal sustentable. Los sistemas biométricos utilizados en el estado de Durango carecían del componente de densidad y específicamente la prescripción de los aclareos, con el *MDS*, se realiza sin el conocimiento del estado de la relación densidad-tamaño, lo que conlleva a la aplicación de tratamientos sin conocer la zona de crecimiento en la que se encuentra la masa forestal (crecimiento libre, crecimiento constante o mortalidad). Por lo anterior el *DMD* basado en el modelo de *Reineke* ha representado una oportunidad para generar secuelas de aclareos en las masas mezcladas de la *UMAFOR* 1005.

3. RESULTADOS OBTENIDOS POR LOS PRODUCTORES AL UTILIZAR LA TECNOLOGÍA.

Con la aplicación del *DMD* en los rodales mezclados de bosques de Durango se ha optimizado la intensidad de corta en aclareos a través del *MDS*. La intensidad corta se incrementó a más del 30% de existencias

maderables por hectárea en comparación con los modelos convencionales y sin poner en riesgo la sustentabilidad de los recursos forestales. Los beneficios directos para los productores se basan en la obtención de ganancias económicas por la venta de este 30% en productos maderables provenientes de brinzales y latizales en la aplicación de intensidades de corta superiores en aclareo 1 (*ACL1*), aclareo 2 (*ACL2*), aclareo 3 (*ACL3*), y aclareo 4 (*ACL4*).

4. APOYOS RECIBIDOS POR LOS PRODUCTORES PARA PROMOVER SU ADOPCIÓN. Los técnicos y ejidatarios dueños del bosque, no recibieron apoyos de gobierno para la adopción de la tecnología, los gastos generados por el uso de la tecnología en la aplicación de los programas de aclareos fueron cubiertos por los usuarios. La tecnología fue incluida en los tratamientos silvícolas prescritos en el programa de manejo forestal para la optimización del volumen maderable por hectárea.

5. SOPORTE DOCUMENTAL DE LA ADOPCIÓN. La adopción de la tecnología consideró el proceso generación-validación-transferencia para llegar a la adopción y el uso en la aplicación de tratamientos silvícolas de aclareos. La tecnología fue generada en 2015, transferida en 2019 y utilizada en 2020—2021 en rodales mezclados del ejido San Diego de Tezains, Santiago Papasquiaro, Durango.

Los modelos de densidad máxima y el índice de densidad de rodales se han aplicado en una superficie de 1,803.70 ha de rodales mezclados, con una producción de 78,509.84 m³ de volumen total árbol para los grupos de *pino*, *encino*, *otras coníferas* y *otras hojosas* y se ha beneficiado a 374 productores.

6. VINCULACIÓN ACTUAL Y REQUERIDA. Vinculación con los servicios técnicos forestales de la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 14 “San Diego de Tenzaenz”, la Unidad de Administración Forestal Santiago Papasquiaro, los Servicios Técnicos Asociados del Noroeste S. de R.L. de C.V., y Consultoría Forestal Ing. Roberto Trujillo. A través de estas relaciones se ha promovido el uso de la tecnología en la generación de programas de manejo forestal (*PMF*). Además, se seguirá con la vinculación con técnicos y productores de otros estados como Chihuahua y Puebla.

7. APLICACIÓN POTENCIAL A PROGRAMAS DE DESARROLLO. El uso y aplicación del *DMD* basado en el modelo de *Reineke* sería parte del sistema de planeación usado en la elaboración de los *PMFs* de los

Tecnología adoptada en 2021 y reportada en agosto

ejidos y comunidades con aprovechamiento forestal maderable, en los proyectos de transferencia de tecnología de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y en la ejecución y seguimiento de PMFs que implementa la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), así como en las instituciones de investigación y educación en ciencias forestales.

[Mayor información](#)

Dr. Gerónimo Quiñonez Barraza¹, Dr. Juan Carlos Tamarit Urias, M.C. Xavier García Cuevas.

¹CE Valle del Guadiana, CIR Norte-Centro.

Carretera Durango-Mezquital km 4.5, Durango, Dgo., México 34170

Tel. (55)3871 8700 Ext. 82716

correo: quinonez.geronimo@inifap.gob.mx

Fuente financiera: INIFAP, Fondos Fiscales 2014.

www.inifap.gob.mx



Uso y aplicación de Diagramas de Manejo de la Densidad para la aplicación de un Cuarto Aclareo (ACL4) en un rodal de *Pinus arizonica* Engelm. en la región de Santiago Papasquiaro, Durango.



DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD BASADO EN EL MODELO DE REINEKE PARA LAS MASAS MEZCLADAS DE DURANGO

AUTO-ACLAREO, MODELO DE REINEKE, DENSIDAD

1. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA.

Diagrama de Manejo de la Densidad (DMD) para mezcla de especies de los géneros *Pinus*, *Quercus*, *Arbutus*, *Juniperus* y las asociaciones de especies presentes en las masas forestales de la Unidad de Manejo Forestal 1005 (UMAFOR) "Santiago Papasquiario y Anexos" en Durango. El DMD está basado en el modelo de REINEKE ($N = \alpha Dq^\beta$) para la relación Número de árboles por hectárea y el Diámetro cuadrático (N-Dq), donde α representa el parámetro del intercepto y β el de la pendiente. La ecuación de REINEKE con los parámetros ajustados por Regresión Frontera Estocástica (RFE), como un modelo Normal-Truncado es la siguiente: $N = 12.359 Dq^{-1.664}$. Para calificar los rodales por Índice de Densidad de Reineke (IDR), a un Dq de referencia de 25 cm, se utiliza la expresión de $IDR = N \left(\frac{25}{Dq}\right)^{-1.664}$ y para obtener N de un IDR específico se utiliza $N = IDR \left(\frac{Dq}{25}\right)^{-1.664}$. El método de RFE ajusta la línea de máxima densidad a la frontera superior de los 1,785 sitios de inventario operativo utilizados, lo que eliminó la subjetividad de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) que ajusta la línea como una regresión promedio.

2. PROBLEMA, OPORTUNIDAD, NECESIDAD A RESOLVER.

La densidad y el índice de sitio son los aspectos más importantes en el manejo forestal sustentable. Los sistemas biométricos usados en el estado de Durango carecen del componente de densidad y específicamente la prescripción de los aclareos, con el Método de Desarrollo Silvícola (MDS), se realiza sin el conocimiento del estado de la relación densidad-tamaño, lo que conlleva a la aplicación de tratamientos sin conocer la zona de crecimiento en la que se encuentra la masa forestal (crecimiento libre, crecimiento constante o mortalidad). Por lo anterior el DMD basado en el modelo de REINEKE representa una oportunidad para generar secuelas de aclareos en las masas mezcladas de la UMAFOR 1005.

3. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA.

La transferencia de la tecnología se desarrolló a través de una exposición oral y resumen in extenso en memoria de las Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal y Acuicola Pesquera. En la validación se utilizó información de 10 rodales (3 de primer aclareo, ACL1; 3 de segundo aclareo, ACL2; 2 de tercer aclareo, ACL3; y 2 de cuarto aclareo, ACL4) con aplicación de aclareos a través del MDS. La información fue colectada en rodales de la

región de Santiago Papasquiario y se incluyó en el proceso de atención a profesionales del sector, y la transferencia se realizó a través de una demostración de campo en el esquema de capacitación a los profesionales forestales.

4. SOPORTE TÉCNICO DE LA TRANSFERENCIA.

EL proceso de transferencia de la tecnología se encuentra documentado en el resumen in extenso de la Memoria de la X Reunión Nacional de Investigación Forestal Chiapas 2019. El resumen considera el proceso de transferencia a través de la comparación de las intensidades de corta en número de árboles por hectárea, volumen y área basal de 10 rodales mezclados con la aplicación de aclareos a través del MDS. El desarrollo del trabajo de transferencia y que fue incluido en la memoria científica consideró el proceso de la aplicación de la tecnología en rodales mezclados con aplicación de aclareos, lo cual fue desarrollado en el esquema de atención a profesionales del sector forestal a través de prácticas de campo y demostraciones en el proceso de capacitación.

5. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA TRANSFERENCIA.

Para todos los casos el DMD sugiere intensidades de corta superiores a las del Programa de Manejo Forestal (PMF). Las diferencias mínima y máxima de las intensidades de corta sugeridas con el DMD fueron 2.8% y 27.7%, respectivamente. Lo que implica que el DMD puede ser utilizado para aplicar silvicultura intensiva en rodales tratados con manejo regular través del Método de Desarrollo Silvícola El DMD sugiere intensidades de corta superiores al 30% en los rodales seleccionados través de aclareos y promoviendo la sostenibilidad de los recursos.

6. AGENTES DE CAMBIO ATENDIDOS.

Los agentes de cambio atendidos durante la transferencia de la tecnología, fueron de la Unidad de Conservación de Desarrollo Forestal No. 14 (6 técnicos) del municipio de Santiago Papasquiario, Durango. El periodo de atención fue de abril a noviembre de 2016 (Teléfono 674 864 4017). La transferencia no sólo consideró el resumen in extenso de la publicación asociado, sino también el proceso de capacitación para la aplicación del DMD en bosques mezclados de la región de Santiago Papasquiario, Durango.

7. SOPORTE DOCUMENTAL.

Resumen in extenso denominado "*Transferencia de un diagrama de manejo de la densidad en rodales mezclados de Durango, México*", publicado en la Memoria de la X Reunión Nacional de Investigación Forestal, en el marco de las Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal



y Acuícola pesquera, Chiapas 2019 (64-67). Además, se consideró el proceso de capacitación a los profesionales del sector a través de la aplicación del DMD en rodales mezclados con tratamientos de aclareos en el PMF.

8. VINCULACIÓN ACTUAL Y REQUERIDA.

En la transferencia de la tecnología se estableció la vinculación con investigadores del INIFAP, así como técnicos forestales de Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 14 "San Diego de Tenzaenz" (6 técnicos), esto con el propósito de generar mecanismos de transferencia y adopción de la tecnología en el proceso siguiente. Las prácticas de transferencia de la

tecnología se realizaron con los técnicos y silvicultores del ejido San Diego de Tezains.

Mayor información

Dr. Gerónimo Quiñonez Barraza¹, Dr. Juan Carlos Tamarit Urías y M.C. Xavier García Cuevas.

¹CE Valle del Guadiana, CIR Norte-Centro.

Carretera Durango-Mezquital km 4.5

C.P. 34170 Durango, Dgo., México.

Tel. IP. 01 (55) 387 18700 Ext. 82716

Correo-e: quinonez.geronimo@inifap.gob.mx

Fuente financiera: INIFAP, Fondos Fiscales 2018.

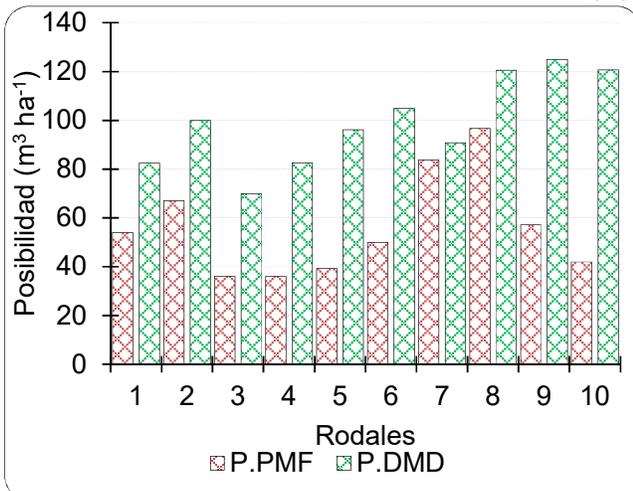
www.inifap.gob.mx.



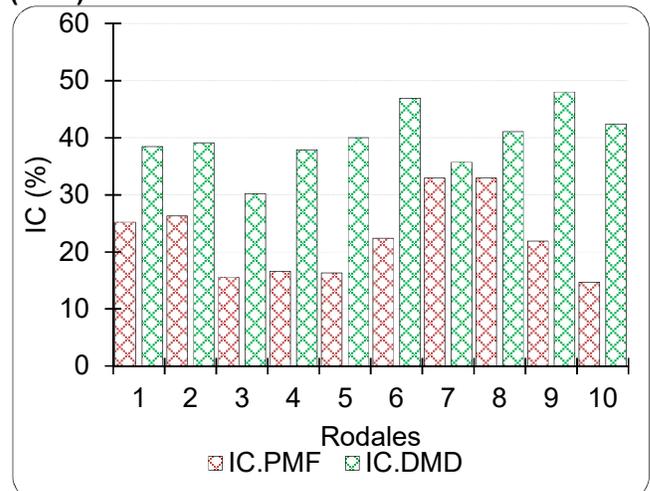
Rodal con densidad alta para aplicar un segundo aclareo (ACL2) visitado en el proceso de la transferencia de la tecnología.

Atención a agentes de cambio en el proceso de transferencia de la tecnología.

El DMD sugiere intensidades de corta superiores a las planeadas en el Programa de Manejo Forestal (PMF)



Posibilidad de corta (m³ ha⁻¹) prescrita en el PMF y del DMD para los 10 rodales mezclados analizados en la transferencia de la tecnología bajo el enfoque del Método de Desarrollo Silvícola (MDS).



Intensidad de corta (%) para número de árboles por hectárea, volumen por hectárea y área basal por hectárea prescrita en el PMF y sugerida con el DMD para los 10 rodales mezclados analizados en la transferencia de la tecnología bajo el enfoque del Método de Desarrollo Silvícola (MDS).