

APTITUD DE TERRENOS PARA PLANTACIONES DE EUCALIPTO (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): DEFINICIÓN MEDIANTE EL PROCESO DE ANÁLISIS JERARQUIZADO Y SIG.

J. Antonio Bustillos-Herrera, J. René Valdez-Lazalde, Arnulfo Aldrete, Manuel de J. González-Guillén.

RESUMEN

En la actualidad el mercado nacional e internacional exige una gran cantidad y calidad de materia prima forestal, por lo que surge la necesidad de complementar este esquema de aprovechamiento de bosques naturales con plantaciones forestales comerciales manejadas con criterios sostenibles. Este tipo de producción permitirá abastecer la materia prima, proveniente de terrenos con mayor aptitud a la industria forestal, disminuyendo la presión por el uso y aprovechamiento de los bosques naturales. En este caso el uso de los suelos forestales difiere de los usos agrícolas y pecuarios, una de las diferencias es el periodo de tiempo entre el establecimiento de la masa forestal y su cosecha, la cual es mayor a seis años y algunas veces hasta de 100. Lo que quiere decir que la producción forestal sostenida debe tomar en cuenta el largo plazo, por lo que la aptitud del suelo para uso forestal debe definirse de manera adecuada para minimizar el riesgo de tomar decisiones equivocadas.

El objetivo de la estimación de la aptitud del suelo es identificar la capacidad inherente de una unidad de tierra para apoyar el uso más apropiado, basado en los requerimientos más específicos (suelo, precipitación, temperatura).

Esta investigación se desarrolló en el centro sur del Estado de Sinaloa en los municipios de Culiacán, Cosalá, San Ignacio, Mazatlán, Concordia, Rosario y Escuinapa y se usaron mapas digitales de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, textura y profundidad el suelo escala 1:1 000 000 y el mapa de pH escala 1:250 000, también se uso el modelo de elevación digital con resolución espacial de 30 m.

E. grandis Hill ex Maiden (eucalipto rosado) es considerada una de las especies exóticas más importantes del mundo, crece de 2 a 3 m. anuales en los primeros 10 años, su madera tiene diversos usos como la chapa, madera aserrada, embalaje, pulpa y papel. Algunos de los criterios importantes de la especie, para definir la aptitud de un terreno para plantar esta especie se definen en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Requerimientos ambientales de *E. grandis*.

Table 1. Environmental requirements of *E. grandis*.

Criterio	Subcriterio	Intervalo	
		Mínima	Máxima
Clima	Precipitación	1020	1780 mm
	Temperatura mínima promedio	2	10 °C
	Temperatura máxima promedio		30 °C
Factores edáficos	pH	Ácido	
	Profundidad del suelo Textura	40 cm	Limosa, franca o ligeramente arcillosa
Aspectos fisiográficos	Altitud	0	600 m
	Pendiente	0	30%

El Proceso de Análisis Jerarquizado (PAJ) es un conjunto de conceptos, modelos y métodos para auxiliar a los tomadores de decisiones a describir, ordenar, jerarquizar, evaluar, seleccionar o rechazar alternativas con base en una evaluación de acuerdo con varios criterios. Dado que no todos los criterios son igualmente importantes y que cada uno contribuye de manera diferente hacia la aptitud o decisión en diversos grados, estos deben ser bien definidos, agrupados y organizados en varias jerarquías. El PAJ desintegra una situación compleja y no estructurada en sus componentes y los ordena en una jerarquía. Una vez descompuesto o jerarquizado el problema, se utilizan técnicas de comparación pareada (par a par) dentro de cada jerarquía con la finalidad de permitir a los tomadores de decisión realizar juicios simples en cada nivel de la jerarquía. Luego se calculan las prioridades globales para cada alternativa de decisión mediante la agregación de los resultados dentro de cada jerarquía. Las preferencias o pesos definidos por los tomadores de decisión para cada elemento de la jerarquía se convierten en valores cuantitativos usando la escala fundamental (1 al 9). El conjunto de todos los juicios se representa en una matriz de comparación por pares en la cual el conjunto de elementos se compara consigo mismo.

Al construir la jerarquía se debe considerar el ambiente que afecta el problema e identificar los aspectos o criterios que mejor describen la solución, los factores asociados con el problema, las posibles alternativas de solución y todo aquel factor relevante que intervengan en el problema, en la siguiente figura se muestra la jerarquización realizada para implementar la metodología PAJ para identificar la aptitud de las áreas para plantar *E. grandis*.

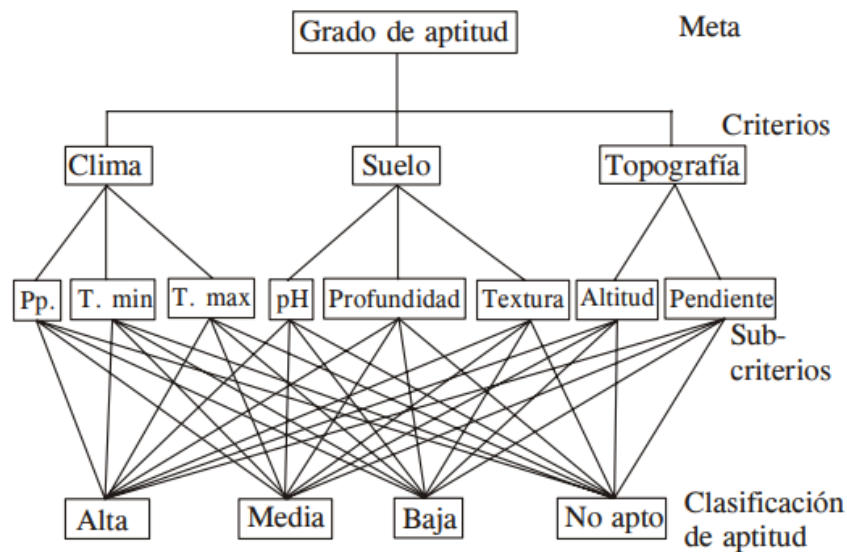


Figura 2. Organización jerárquica de la meta, criterios y subcriterios considerados para definir áreas aptas para plantar *E. grandis* en el área de estudio.

A partir de los mapas de subcriterios identificados como importantes (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, pH, profundidad y textura del suelo, altitud y pendiente) se llevo a cabo el proceso de evaluación. Estos mapas fueron estandarizados mediante funciones de membresía y ponderados en función del peso o importancia calculado con datos obtenidos de plantadores expertos mediante la aplicación directa de encuestas. Los subcriterios fueron adicionados dentro de cada uno de los criterios (clima, suelo y topografía), y luego fueron agregados y ponderados para obtener un mapa de valores continuos de aptitud. En la última fase se discriminaron del mapa de aptitud final las áreas con baja o nula posibilidad de cambio de uso por razones legales (áreas forestales arboladas), uso permanente definido (urbano, carreteras, cuerpos de agua), mayor rentabilidad (agricultura intensiva). Finalmente, el mapa fue clasificado en categorías de aptitud para facilitar su uso.

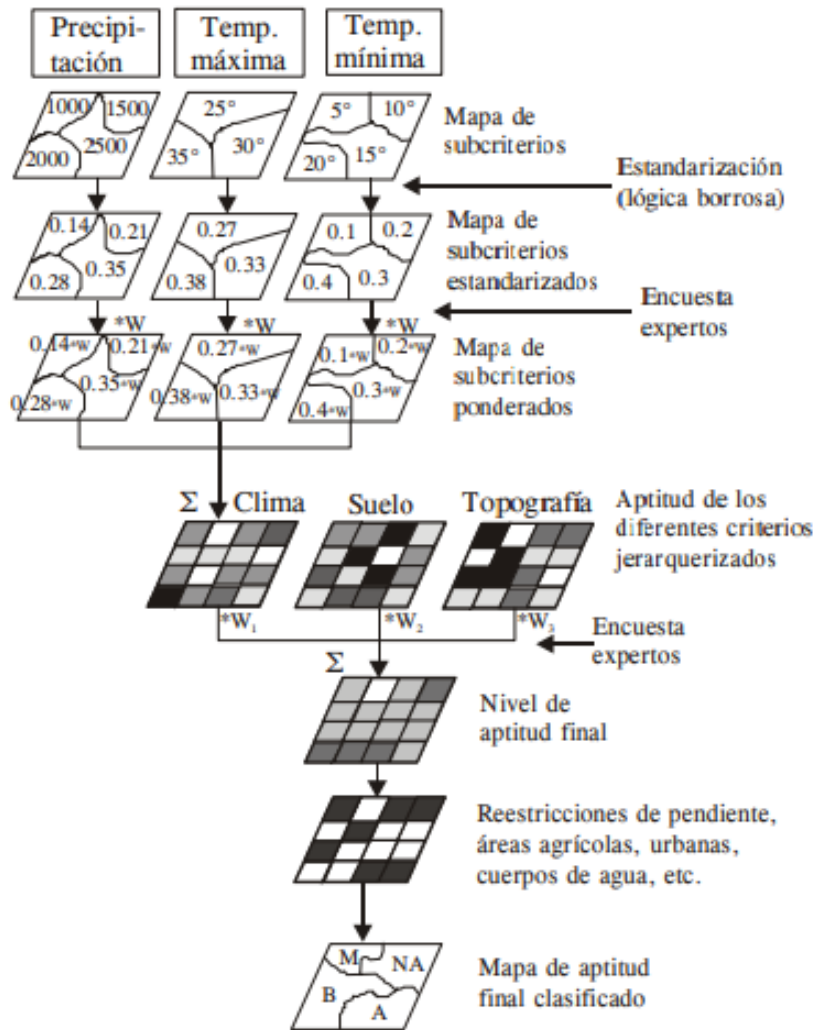


Figura 3. Secuencia de agregación de clases y pesos (ponderaciones) sobre las jerarquías definidas en la aplicación del PAJ para definir áreas para plantar *E. grandis*.

Los subcriterios fueron estandarizados a una unidad común para su análisis. Para lo cual se utilizaron funciones de membresía definidas mediante el método de lógica borrosa. Estas funciones permiten definir el grado de pertenencia de cada píxel de un mapa a un determinado conjunto o fenómeno. En este caso, para definir el grado o conveniencia de que cierta característica del ambiente (subcriterio) sea adecuada (apta) para el establecimiento de *E. grandis*.

Por su forma, existen tres tipos básicos de funciones de membresía: lineal, en forma de J, y sigmoideal; todas se usan para representar la pertenencia de cada píxel en una escala de baja (0) a alta (1). La definición específica para cada subcriterio se realizó con base en los requerimientos de la especie mediante la designación de puntos de control en la función, que limitan la pertenencia de los píxeles. En la siguiente figura se muestran las funciones de membresía, con sus respectivos puntos de control.

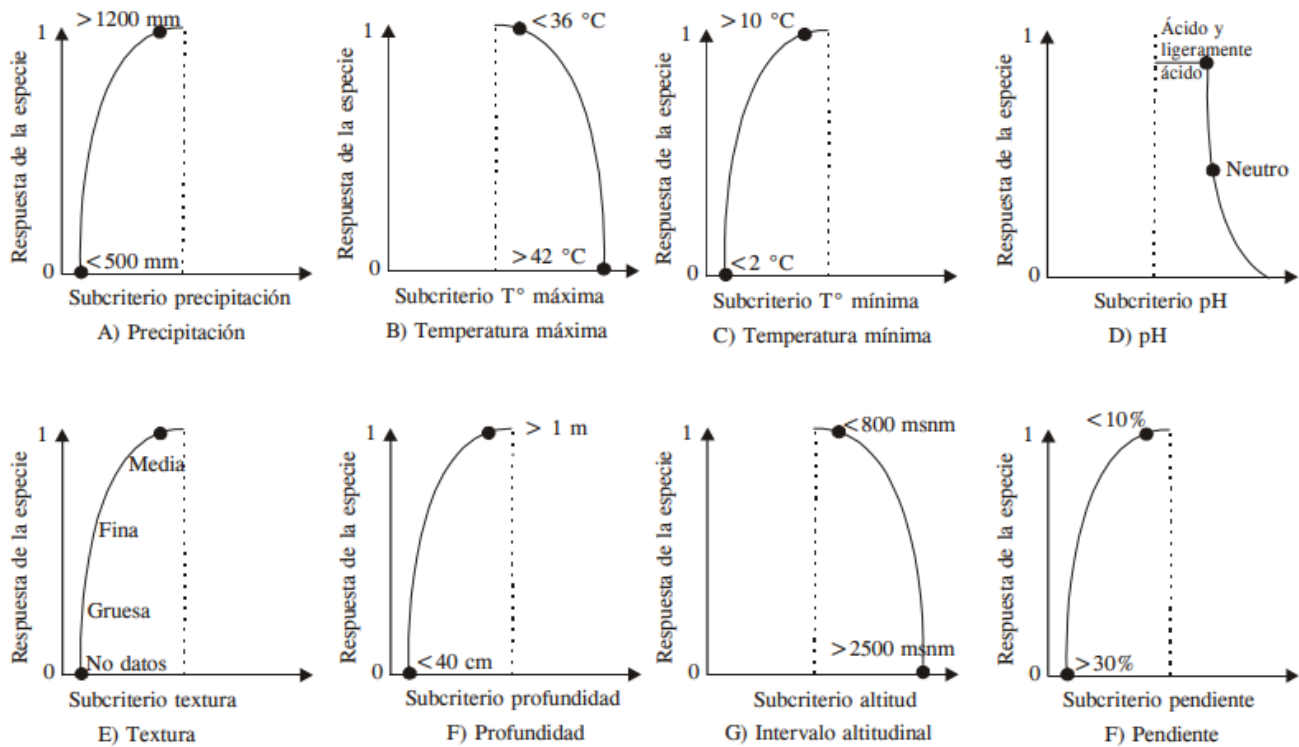


Figura 4. Funciones de membresía utilizadas para la estandarización (mediante lógica borrosa) de los subcriterios asociados a *E. grandis* en el área de estudio.

Ponderación de los criterios y subcriterios

Se realizaron cuatro matrices de comparación pareada diseñadas ex profeso según Saaty (1980). Una sirvió para ponderar los criterios considerados (clima, suelo, topografía); las tres restantes se usaron para ponderar los subcriterios que conforman cada criterio. Tres matrices fueron de dimensión 3x3 (hileras y columnas); sólo la matriz para ponderar topografía fue 2x2. Los datos obtenidos mediante las encuestas (matrices de comparación pareada) se procesaron en el programa IDRISI Kilimanjaro, con el módulo GIS Analysis/Decision Support/Weight.

Existe el riesgo de que el peso asignado por los expertos a cada criterio o subcriterio resulte inadecuado como resultado de comparaciones pareadas erróneas o incongruentes. Para eliminar tal riesgo, la metodología incluye el cálculo de un índice de consistencia (IC) que mide la solidez de las comparaciones en donde un valor de IC menor de 0.10 se considera adecuado. Una vez obtenidos los resultados, se eliminaron las ponderaciones con una consistencia inadecuada ($IC > 0.10$), obteniéndose el promedio de las ponderaciones consistentes (cuatro). Lo anterior dio el peso para cada criterio y subcriterio que se puede observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Pesos de los criterios y sub-criterios obtenidos mediante entrevistas con expertos para usar mediante la técnica PAJ-Fuzzy para *E. grandis* Hill.

Table 2. Weights of the criteria and sub-criteria obtained through interviews with experts to be used with the AHP-Fuzzy technique for *E. grandis* Hill.

Criterios principales		Clima	
Criterio	Peso	Subcriterio	Peso
Clima	0.539	Precipitación	0.625
Suelo	0.355	Temp. máxima	0.171
Topografía	0.106	Temp. mínima	0.204
Suelo		Topografía	
Subcriterio	Peso	Subcriterio	Peso
Profundidad	0.433	Intervalo altitudinal	0.568
Textura	0.244	Pendiente	0.432
pH	0.323		

Los mapas de subcriterios estandarizados se multiplicaron por los pesos derivados del análisis de las encuestas, dando como resultado los mapas de subcriterios ponderados. Estos mapas se adicionaron para obtener un mapa de aptitud del terreno cuando se considera un criterio único. El procedimiento se repitió de manera similar con los subcriterios que componen los criterios suelo y topografía. Los tres criterios considerados se ponderaron y se agregaron para obtener el mapa de aptitud final. Éste se multiplicó por un mapa binario para eliminar áreas con restricción para el desarrollo de plantaciones (uso urbano, cuerpos de agua, carreteras, pendientes mayores a 30%, vegetación natural). Para facilitar la interpretación de los resultados, el mapa se reclasificó en cuatro clases de aptitud: alta (de 0.9 a 1), media (de 0.8 a 0.9), baja (de 0.7 a 0.8) y marginal o nula (de 0 a 0.7).

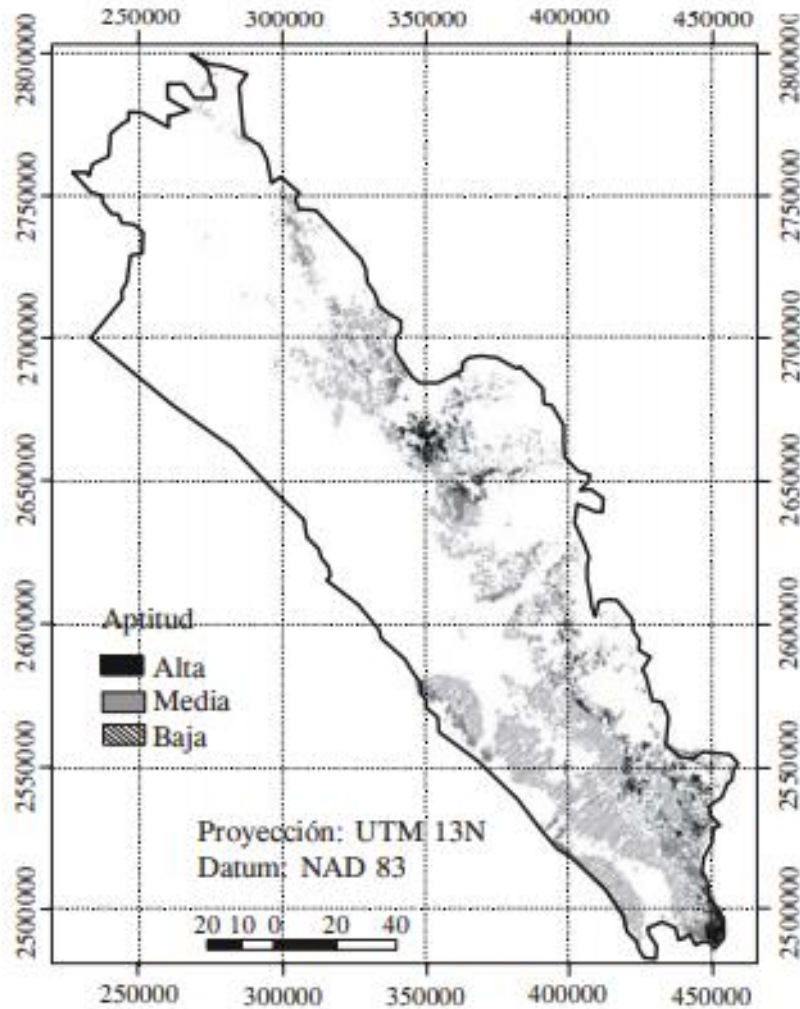


Figura 5. Distribución de las superficies aptas para el establecimiento de *E. grandis* en el centro-sur de Sinaloa, México.

Los expertos identificaron el clima como el criterio más importante a considerar (0.539) seguido del suelo (0.355). Dentro del clima identificaron a la cantidad de precipitación como el subcriterio más importante (0.625), seguido de la temperatura mínima (0.204). En relación con el suelo, se identificó a la profundidad como el subcriterio más importante (0.433), seguido del subcriterio pH.

En la Figura 5 se muestra la localización espacial de las áreas identificadas como aptas para el establecimiento de la especie en este estudio. En las superficies mostradas hay 38 863 ha con aptitud alta, la cual se considera relativamente reducida, a nivel regional, para el desarrollo de la especie de interés en la región. Pero se identificaron 121 932 ha con aptitud media y 302 551 ha con aptitud baja. El factor más limitante en el PAJ implementado fue la temperatura mínima, para ello se aplicó una restricción a todo el mapa de aptitud generado

para la especie. Áreas con temperatura mínima menor al umbral establecido para la especie (2 °C) no fueron consideradas debido a los daños irreversibles que estas temperaturas ocasionan a las plantas.

Conclusiones

Los resultados del análisis permiten aseverar que las condiciones climáticas, edáficas y fisiográficas en la región centro-sur del Estado de Sinaloa, aunado a información espacial de opiniones de expertos, se combinan para definir 38 863, 121 932 y 302 551 ha de aptitud alta, media y baja, para el establecimiento de plantaciones de *E. grandis*. Lo anterior permite concluir que la región analizada no tiene las mejores condiciones para el desarrollo masivo de plantaciones con la especie, pero tiene una superficie considerable de tierras aptas para desarrollar plantaciones en los municipios de San Ignacio, Rosario y Escuinapa.

La definición precisa del grado de aptitud de los terrenos depende en gran medida de la calidad de la información usada, la cual en el presente estudio fue muy general. No obstante, los resultados son útiles para una planificación regional de las áreas a plantar con *E. grandis* en el centro-sur de Sinaloa.