

Determinación de áreas aptas para el aprovechamiento de Biomasa Forestal Residual en la Umafor 1008: “El Salto”, Durango, México

ESTRADA-TORRES, Dora*†, ORDÓÑEZ-PRADO, Casimiro, BUENDÍA-RODRÍGUEZ, Enrique y ÁGUILAR-SÁNCHEZ, Patricia

Recibido Junio 03, 2017; Aceptado Septiembre 03, 2017

Resumen

Se determinaron las zonas aptas para el uso de residuos forestales en la UMAFOR 1008 “El Salto”, Durango, México, mediante una evaluación espacial multicriterio. Los criterios: vegetación, superficie, cantidad de biomasa, pendiente, distancia a vías de transporte y cercanía a centros urbanos, se obtuvieron procesando información cartográfica e imágenes de satélite. Cada variable se reclasificó en intervalos y generó un mapa indicando las zonas óptimas, subóptimas y restringidas para la extracción de residuos. Se estimó la importancia de cada variable (W_j) mediante ecuación y también asignados por el tomador de decisiones. Se usó el programa ArcMap 9.0[®] para integrar las variables utilizando los métodos de suma lineal y suma lineal ponderada. Se estimaron zonas óptimas y subóptimas del 6% y 8% mediante la suma lineal; y mediante la suma lineal ponderada zonas de 4% y 12%. Utilizando la variable cercanía a los centros urbanos en la evaluación multicriterio, las zonas óptimas y subóptimas bajan a un 3%. Aplicando los métodos de suma lineal, suma lineal ponderada por el tomador de decisiones y suma lineal ponderada por fórmula se obtuvo que, entre un 2 y 10% de la zona presenta condiciones óptimas para la extracción de residuos.

Residuos forestales, evaluación espacial multicriterio, suma lineal, suma lineal ponderada

Abstract

It determined the suitable zones for the use of forest residues in UMAFOR 1008 "El Salto", Durango, Mexico, through a multicriterial spatial evaluation. The criteria: vegetation, surface, quantity of biomass, slope, distance to transport routes and proximity to urban centers, they were obtained by processing cartographic information and satellite images. Each variable was reclassified in intervals and generated a map indicating the optimum, suboptimal and restricted zones for the extraction of waste. The importance of each variable (W_j) was estimated by an equation and also assigned by the decision maker. The ArcMap 9.0[®] program was used to integrate the variables using the linear sum and weighted linear sum methods. Optimal and suboptimal zones of 6% and 8% were estimated by linear addition; and by the weighted linear sum areas of 4% and 12%. Using the variable closeness to urban centers in the multicriteria evaluation, optimal and suboptimal zones decrease to 3%. Applying the methods of linear sum, linear sum weighted by the decision maker and linear sum weighted by formula was obtained, that between 2 and 10% of the area presents optimal conditions for the waste extraction.

Forest residues, multicriterial spatial evaluation, linear sum, weighted linear sum

Citación: ESTRADA-TORRES, Dora, ORDÓÑEZ-PRADO, Casimiro, BUENDÍA-RODRÍGUEZ, Enrique y ÁGUILAR-SÁNCHEZ, Patricia. Determinación de áreas aptas para el aprovechamiento de Biomasa Forestal Residual en la Umafor 1008: “El Salto”, Durango, México. Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017, 3-9: 1-9.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ordonez.casimiro@inifap.gob.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

1. Introducción

Los residuos forestales son una fuente de dendroenergía que se pueden utilizar como leña, carbón vegetal, licor negro, metanol y aceite pirolítico. De acuerdo a la FAO 2017 más de 2,000 millones de personas dependen de la dendroenergía para cocinar y/o calentarse, especialmente en los hogares de los países en desarrollo. En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) reporta un consumo aproximado de 38 Mm³ por año. Ante las políticas públicas del gobierno mexicano sobre la reducción de emisiones de CO₂ y la generación de energías limpias, la biomasa de residuos forestales surge como una alternativa para la generación de energía (Elías, X., 2012).

La biomasa forestal se puede clasificar en: productos forestales primarios, los cuales son extraídos de los frentes de corta y son llevados a los aserraderos para la obtención de tablas, tablones, polines, vigas, tableta para cajas de embalajes y tarima, entre otros. Los residuos forestales primarios, son los restos procedentes del aprovechamiento maderable de los bosques y de los tratamientos silvícolas que en ellos se practican, tales como: cortas, podas, desbroces, apertura de vías, acciones para prevención de incendios, cortas intermedias, de saneamiento entre otras; estos residuos forestales pueden ir del orden del 10 al 18% en especies de coníferas y de un 30 a 48% en especies de bosques tropicales (Carrillo *et al.*, 2012).

Los residuos forestales secundarios son los remanentes de la industria de procesamiento de madera, como: aserrín, recortes, costeras ó capotes, astilla, corteza entre otros, estos residuos forestales pueden alcanzar entre 50 y 60%, es decir del volumen total rollo que ingresa a un aserradero, solo la mitad sale como producto y el resto son residuos (Flores *et al.*, 2013). Los residuos de maderas posconsumo son los generados cuando el producto de madera cumple su vida útil, por ejemplo: las tarimas de madera tienen una vida útil en promedio de cuatro años, después de este tiempo, la madera comienza a ser un residuo (European Commission 2017).

La utilización de la biomasa de residuos forestales como una fuente de energía permite reducir las emisiones de CO₂ y disminuir la dependencia en el consumo de combustibles fósiles, siendo una alternativa energética disponible en los bosques que son aprovechados de forma sustentable (Smith *et al.* 2017). La utilización de esta fuente de biomasa ofrece ventajas como: la emisión neutra de CO₂ a la atmosfera durante su combustión, reducción de incendios forestales y la presencia de plagas forestales. Pese a las ventajas que tienen el aprovechamiento de los residuos forestales, aún existen inconvenientes como su elevada dispersión territorial y su baja densidad energética, por lo cual, el conocimiento de su disponibilidad resulta prioritario para determinar la viabilidad técnica económica de los proyectos que pretendan utilizarlos.

Para realizar un adecuado aprovechamiento se tiene que tomar en cuenta variables como la cantidad de biomasa, distribución en frentes de corta y áreas con tratamientos silvícolas; sin dejar de lado los criterios de tipo técnico, ecológico y económico.

La extracción de los residuos forestales está condicionada a las características y la existencia de diversas variables, que influyen de manera directa en la logística de extracción, costos económicos e impactos ambientales, una de ellas es la cantidad de biomasa forestal, que está relacionada con la superficie forestal y el tipo de vegetación presente (García, *et al.*, 2011).

La cantidad de biomasa forestal presenta una correlación directa con la rentabilidad porque a mayor cantidad de esta, el costo de extracción es menor y, por lo tanto, mayor es la rentabilidad (Esteban *et al.*, (2004); Respecto a la superficie de la masa forestal, según Asikainen, *et al.*, (2002), los costos de operación son menores cuando las operaciones forestales se centran en una zona extensa, ya que se reducen los tiempos de desplazamiento de un lugar a otro (García, *et al.*, 2011).

El impacto ecológico que se genera durante la gestión de la biomasa se relaciona con la fertilidad de los suelos y la presencia de materia orgánica (McNeil Technologies, 2003); este impacto ambiental se relaciona de forma directa con la pendiente del terreno, variable que también es necesario tomar en cuenta (García, *et al.*, 2011).

Ante el creciente interés sobre la utilización de la biomasa de residuos provenientes del aprovechamiento forestal, es necesario realizar estudios que permitan conocer la disponibilidad, distribución, así como la factibilidad para la gestión de los mismos. Por lo que, el presente estudio tiene como objetivo la determinación de áreas aptas para el aprovechamiento de residuos forestales en la Unidad de Manejo Forestal (UMAFOR) 1008 en el Estado de Durango, mediante la aplicación e integración de herramientas tecnológicas, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la percepción remota.

2. Materiales y método

El estudio se realizó en la UMAFOR 1008, “El Salto” ubicada al suroeste del Estado de Durango, México. Esta unidad de manejo se conforma por los municipios de Pueblo Nuevo, San Dimas y Durango. Tiene una extensión superficial de más de 558 mil hectáreas, y se localiza entre las coordenadas 23° 06' 59" y 24° 11' 38" de latitud norte y 105° 55' 56" y 105° 10' 31" de longitud oeste. Está conformada por 37 ejidos, seis comunidades y 52 particulares (Pro Floresta, 2008).

La vegetación está compuesta por bosque de pino, pino encino, encino, selva baja caducifolia, selva mediana caducifolia, mezquital, pastizal inducido, matorral crasicaule y agricultura de temporal (INEGI 2009). Para la realización del estudio se integro un SIG y con ayuda de ArcMap 9.0[®] se recopiló, editó y generó información vectorial del área de interes como:

Las cartas topográficas (donde se extrajo la información de distancia de vías de transporte), serie IV de uso del suelo y vegetación, municipios (cercanía a centros urbanos), información generada por el INEGI, además de predios con aprovechamientos forestales (volumen de biomasa forestal), modelo digital de elevación (pendiente) e imágenes de satélite SPOT 4 sensor HGR, cada una abarcando una superficie de 3,600 km² con cuatro bandas del espectro electromagnético.

Se realizó una corrección geométrica de las imágenes de satélite utilizadas, donde se reasignaron coordenadas (X, Y) a cada una de ellas, la información base para la corrección fueron las cartas topográficas del INEGI escala 1:50,000; una vez finalizada la corrección geométrica, se unieron las distintas imágenes formando un mosaico, el cual fue recortado con el vector límite de la unidad manejo forestal (área de estudio).

Definida el área de estudio, se realizó una clasificación supervisada con la herramienta *imagen clasification*, de ERDAS Imagine 9.0[®] y con el editor de firmas se delimitaron sobre la imagen zonas o áreas representativas de los distintos tipos de vegetación que se pretendían discriminar. Estas áreas se conocen como training fields (áreas de entrenamiento) y sirven para entrenar al ordenador para que pueda reconocer las distintas categorías. Con la finalidad de combinar las categorías de vegetación y eliminar redundancias, se realizó una recodificación de píxeles, asignado un valor numérico a cada tipo de vegetación (tabla 1).

Tipo de vegetación y usos del suelo	Valor numérico
Asentamientos humanos	1
Agricultura de temporal	2
Bosque de pino-encino	3
Bosque de pino	4
Bosque de encino	5
Bosque de encino-pino	6
Pastizal inducido	7
Mezquital	8
Matorral crasicaule	9
Selva baja caducifolia	10
Selva media caducifolia	11

Tabla 1 Valores utilizados en la recodificación de píxeles, para cada tipo de vegetación

Para finalizar los tratamientos de las imágenes de satélite, se realizó un proceso de filtraje, donde se transformaron los Niveles Digitales (ND) originales de cada pixel, de tal forma que se asemejen o diferencien más de los correspondientes a pixeles vecinos (Chuvieco, 2008). Para el presente estudio se utilizó un filtro de peso bajo que tiene por objetivo asemejar el ND de cada pixel al de los pixeles vecinos, reduciendo la variabilidad espacial de la imagen. El filtraje se llevó a cabo por medio de la herramienta *Neighbor* del ERDAS Imagine 9.0®. Se probaron matrices de 3 x 3, 5 x 5 y 7 x 7, y se utilizó la de menor variabilidad y mayor homogeneidad.

Para la determinación de las áreas potenciales para el aprovechamiento de residuos forestales, se utilizó la información cartográfica, ingresada en el SIG, variables presentadas en la Tabla 2, y se analizó empleando una evaluación espacial multicriterio, la cual permitió evaluar diferentes alternativas, basadas en una serie de criterios que se definieron conforme a la influencia que estos ejercían en la viabilidad técnica, económica y ecológica. Para llevar a cabo la evaluación espacial multicriterio, se siguió la metodología propuesta por Martínez y Martín (2003).

Para la evaluación espacial multicriterio se utilizaron las variables: vegetación, pendiente, volumen de biomasa forestal, superficie forestal, distancia a vías de transporte y distancia a centros urbanos, sugeridos por expertos tomadores de decisiones asignándole pesos (W_j) iniciales (Tabla 2).

Variable	Orden de importancia	Peso (W_j) por tomador de decisiones
Volumen de biomasa forestal	1	0.25
Superficie forestal	2	0.25
Pendiente	3	0.2
Tipo de vegetación y usos del suelo	4	0.2
Distancia a vías de transporte	5	0.1
Total		1

Tabla 2 Importancia de las variables de acuerdo al su peso sugeridos por tomadores de decisiones

Estas variables fueron estandarizadas, es decir, colocadas en una misma escala para hacerlos compatibles (De la Paz, 2012). Con la información sugerida por los tomadores de decisión y la revisión de literatura, se especificaron las variables y sus respectivos valores a diferentes intervalos, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Una vez estandarizados los criterios, se realizó un mapa para cada una de ellas.

variable	Rango	Valor numérico
Tipo de vegetación y usos del suelo	Agricultura y Asentamientos Humanos, Pastizales y Matorrales	0
	Bosque y Selvas	1
Pendiente (%)	0 - 10	4
	10 - 20	3
	20 - 35	2
	> 35	1
Volumen de biomasa forestal ($t \cdot ha^{-1}$)	> 10	3
	5 - 10	2
	0 - 5	1
Superficie forestal (ha)	≥ 18.5	5
	15 - 18.5	4
	10 - 15	3
	5 - 10	2
	0 - 5	1
Distancia a vías de transporte (m)	0 - 200	5
	200 - 400	4
	400 - 600	3
	600 - 800	2
	800 - 1000	1
Cercanía a centros urbanos (Km)	> 15	0
	10-15	1
	0-10	2

Tabla 3 Estandarización y rango de las variables para la determinación de áreas potenciales para aprovechamiento de residuos forestales

Se realizó una ponderación de variables, ya que estas, frente a un problema de toma de decisiones pueden tener diferente importancia, es decir, una variable tiene mayor influencia que otra. Este hecho hace que en muchos problemas decisionales sea necesario obtener pesos o indicadores de las preferencias relativas del centro decisor entre criterios (Romero 1996). Para el presente estudio se clasificaron las variables por orden de importancia, y se calcularon los pesos con la ecuación 1.

$$W_j = \frac{\frac{1}{r_j}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_j}} \quad (1)$$

Donde:

r_j es el lugar o posición que ocupa el criterio.

j -ésimo en la clasificación establecida por el tomador de decisiones.

En adición a este método de ponderación, también se utilizó una ponderación donde los pesos para cada variable fueron asignados con base a la revisión de literatura (tomador de decisiones).

Tomando en cuenta el carácter de las variables empleadas para el estudio, se eligió como método de evaluación multicriterio la suma lineal ponderada, donde el valor obtenido por cada alternativa es el producto del peso de la variable y los valores de las variables (Gómez D.M. y J. Barredo. 2005). La evaluación multicriterio (EMC) se basa en la ponderación y compensación de variables, ya sean determinantes o factores de aptitud. La EMC permite obtener mapas que expresan las zonas óptimas, subóptimas y restringidas para el aprovechamiento de residuos forestales siendo la alternativa que obtenga el valor más alto la más adecuada. A modo de comparación, se realizó una suma lineal de los cinco factores y una suma lineal ponderada, donde los pesos fueron asignados a criterio del tomador de decisiones.

La integración de las variables se realizó de dos formas, utilizando la variable cercanía a centros urbanos y sin ella. Para ambas, se realizaron: suma lineal, suma lineal ponderada por el tomador de decisiones y la suma lineal ponderada por medio de la ecuación 1. La combinación de las variables se efectuó con la herramienta *Raster Calculator* (calculadora raster) que permite crear y ejecutar una expresión de álgebra de mapas que generará como salida un ráster. Para el presente estudio se realizó una suma lineal de las variables antes mencionadas.

Las sumas lineales ponderadas se realizaron con *weighted sum* (suma ponderada) la cual superpone varios rásteres al multiplicar cada uno por su peso y sumar los resultados, ambas herramientas del software ArcGIS 9.0®. Una vez realizado el análisis multicriterio se obtuvieron mapas donde se muestran las zonas óptimas, subóptimas y restringidas para el aprovechamiento de residuos forestales.

3. Resultados

El uso de suelo y vegetación de la UMAFOR se constituye por 5,580 ha para agricultura y asentamientos humanos, los bosques representan el 88% de la superficie con 491,040 ha, las selvas bajas un 8%, los pastizales y matorrales un 2% y 1%, respectivamente. En cuanto a la topografía de los terrenos, 273,420 ha presentan pendientes superiores al 50%; 100,440 ha con pendientes entre 30 y 50%; 117,180 ha en el rango de pendientes de 10 y 30%, y los terrenos con pendientes menores a 10% ocupan una superficie de 66,960 ha. El 45% de la superficie forestal se encuentra alejada a una distancia superior de un kilómetro, este dato es muy importante y es un reflejo de la baja densidad de caminos con los que cuentan los aprovechamientos forestales, el 25% de se encuentra a una distancia entre 800 y 1000 metros de distancia; el 15% y 9% de la superficie se encuentra a una distancia de 600 y 400 m de distancia y solo el 6% de la superficie se encuentra a una distancia óptima de 200 m.

El 83% de la superficie forestal cuenta con manejo forestal sustentable, es decir, cuentan con la documentación necesaria para el aprovechamiento y la extracción de la biomasa forestal; es en esta superficie donde se pueden desarrollar proyectos para su aprovechamiento. Esta área de manejo se concentra en 40 predios o ejidos, donde más del 85% del volumen aprovechado se concentra en el municipio de Pueblo Nuevo, el 6% en Durango y resto en San Dimas, además se encontró que anualmente se aprovechan aproximadamente 587,767.23 m³ de madera de pino, encino, otras coníferas, otras hojas y maderas muertas.

El predio con mayor volumen aprovechado fue Pueblo Nuevo con 190, 957.54 m³ seguido de San Pablo con 63,185 m³. Con base al volumen autorizado de extracción, especies aprovechadas y distribución de productos, el 83% de la superficie bajo manejo tiene una presencia menor a 5 t·ha⁻¹ de residuos forestales, el 11% presenta un volumen de entre 5 y 10 t·ha⁻¹ y el 6% un volumen superior a 10 t·ha⁻¹. El 87% de las áreas donde se puede aprovechar los residuos se encuentran a una distancia superior a los 15 km, el 6% a una distancia de entre 10 y 15 km y solo el 7% se encuentra a una distancia menor a 10 km de los centros urbanos.

En cuanto a la importancia de las variables para el análisis multicriterio, de acuerdo con la ecuación 1, la cantidad de biomasa tuvo el mayor peso con 0.44, seguido por la superficie y la pendiente (Tabla 4).

Variable	Orden de importancia	Peso (Wj) por ecuación
Volumen de biomasa forestal	1	0.44
Superficie forestal	2	0.22
Pendiente	3	0.15
Tipo de vegetación y usos del suelo	4	0.11
Distancia a vías de transporte	5	0.09
Total		1

Tabla 4 Importancia de las variables de acuerdo al su peso estimado por ecuación

De acuerdo al análisis espacial multicriterio, utilizando la suma lineal, donde todos los criterios tienen el mismo peso, la superficie óptima para la extracción de residuos forestales es del 6%, el 8% de zonas subóptimas y el 86% de zonas restringidas. Los resultados obtenidos mediante la suma lineal, utilizando los Wj estimados por la ecuación 1, muestran una reducción de zonas óptimas en un 2%, las zonas subóptimas aumentan a un 12%. Mientras que utilizando los Wj por el tomador de decisiones, las áreas óptimas incrementan a un 8% y las subóptimas se mantienen (figuras 1 y 2).

Si en el análisis espacial multicriterio se agrega la variable cercanía de los centros urbanos, la clasificación mediante suma lineal de las superficies óptimas para aprovechamiento de residuos disminuye hasta un 3%, al igual que las zonas óptimas. Estos resultados son 8% menores que la clasificación de zonas de aprovechamiento sin tomar en cuenta la variable distancia a centros urbanos.

En este análisis, asignando los Wj por el tomador de decisiones, las zonas óptimas aumentan un 4% y las subóptimas disminuyen a un 2%. Mientras que asignando los Wj estimados por la ecuación 1, las zonas óptimas se mantienen en un 3% y las subóptimas en un 2% (figura 3 y 4).

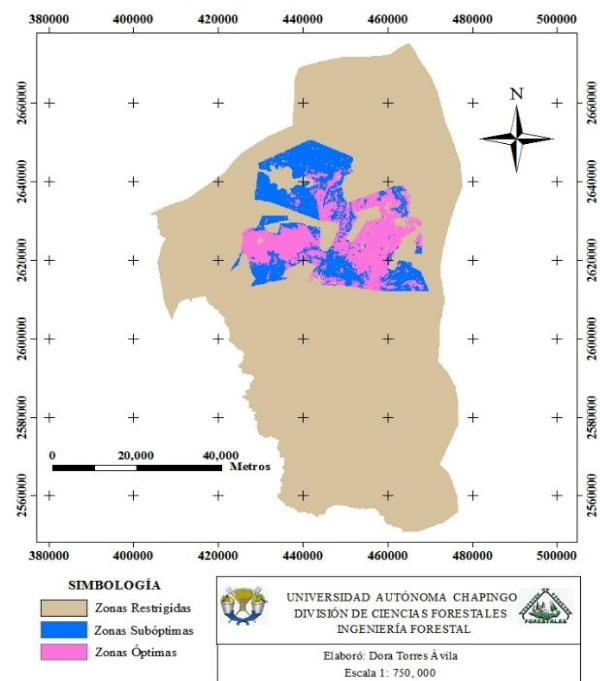


Figura 1 Distribución de áreas óptimas estimadas mediante la evaluación espacial multicriterio utilizando la suma lineal ponderada por el tomador de decisiones.

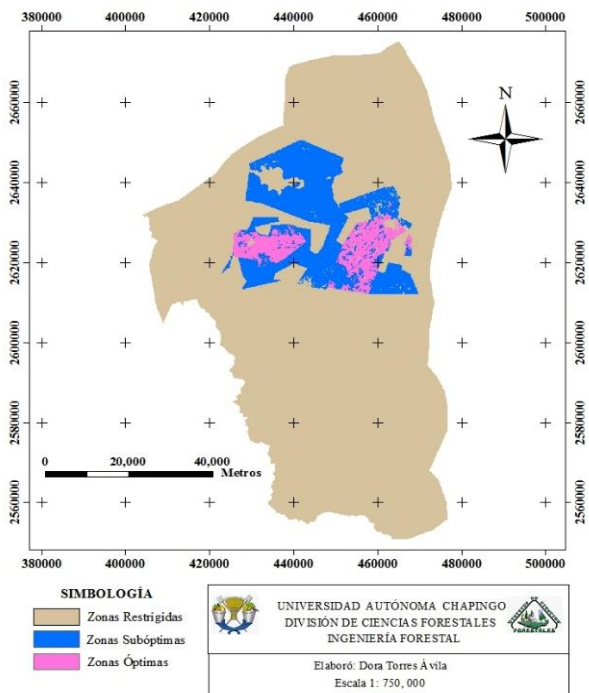


Figura 2 Distribución de áreas óptimas estimadas mediante la evaluación espacial multicriterio utilizando la suma lineal ponderada por ecuación

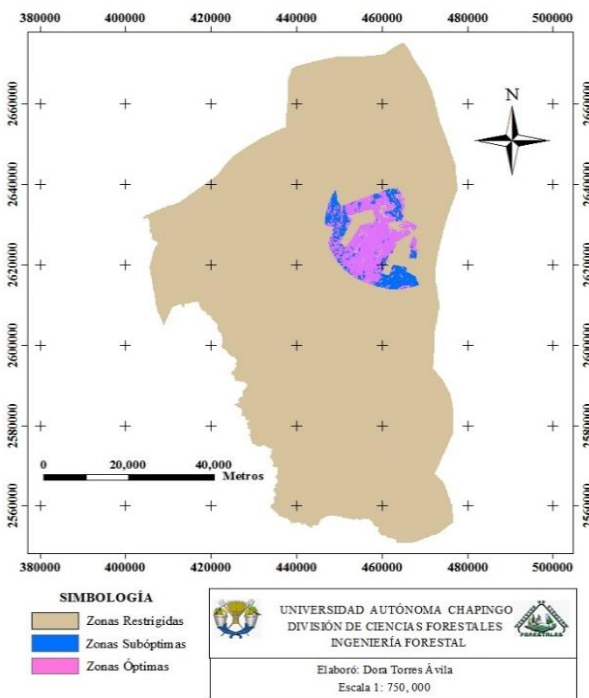


Figura 3 Distribución de áreas óptimas estimadas mediante la evaluación espacial multicriterio tomando en cuenta el criterio cercanía a centros urbanos y utilizando la suma lineal ponderada por el tomador de decisiones.

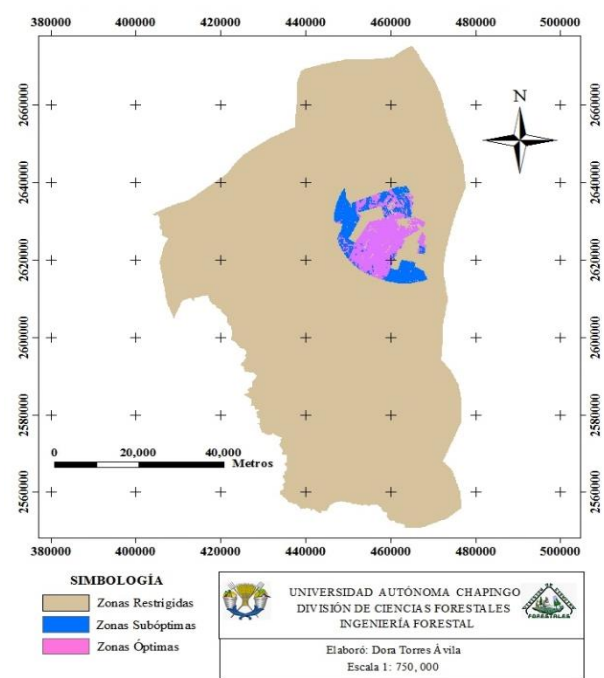


Figura 4 Distribución de áreas óptimas estimadas mediante la evaluación espacial multicriterio tomando en cuenta el criterio cercanía a centros urbanos y utilizando la suma lineal ponderada por ecuación

4. Conclusiones

Mediante el uso de herramientas SIG e imágenes de satélite se ha logrado delimitar las zonas aptas para el aprovechamiento energético de la biomasa residual, sin perjudicar la sostenibilidad ecológica de los bosques. Esto se ha logrado, mediante la integración de las diferentes variables espaciales básicas identificadas, que intervienen en el grado de aptitud de un bosque para hacer rentable y sostenible la extracción del recurso.

Entre el 2 y 10% de la superficie de la UMAFOR 1008 presenta características idóneas para la extracción de residuos, seguidas por aproximadamente un 12% de zonas subóptimas. Se observó que al agregar la variable cercanía a centros urbanos, las superficies se vieron disminuidas, aunque entre uno y otro método no existieron grandes diferencias.

Se considera que la variable más restrictiva fue la cantidad de biomasa, ya que en el método donde se le asignó un mayor peso (aproximadamente un 40%), las zonas óptimas se redujeron, al contrario de las variables superficie y vegetación que no tuvieron gran influencia, ya que todos los predios forestales superaron las 18.5 ha y en todos existe vegetación que garantice la producción de residuos. La suma lineal ponderada por fórmula, fue el método en el que más se restringieron las zonas óptimas.

5. Referencias

- Asikainen, A., Björheden, R., Nousiainen, I., Richardson, J., Björheden, R., Hakkila, P., Lowe A., T., Smith, T. (2002). Cost of wood energy. In (Ed.): Bioenergy from sustainable forestry: Guiding principles and practice. Dordrecht, Kluwer Academic Pub. USA. pp. 125-157.
- Carolyn, S., Werner, K., Greg, R., Tony, C., Lemprier, E., Olaf, S. (2017). Climate change mitigation potential of local use of harvest residues for bioenergy in Canada. *Global Change Biology*. Bioenergy 9, 817–832, doi: 10.1111.
- Carrillo-Ávila, N., Fuentes-López, M. E., Aguilar-Sánchez, P., Flores-Velázquez, R., Ordóñez-Prado, C., Buendía-Rodríguez, E. (2012). Uso de los residuos forestales en la producción de bioenergía. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Martinito Tlahuapan, Puebla. 30 p.
- Chuvienco, S. E. (2008). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio (3ª ed.). Barcelona España: Ariel.
- Cruz, C. (2012). Residuos generados del aprovechamiento maderable en el Estado de Durango. Tesis de Licenciatura de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. pp 63.
- De la Paz, C. 2012. Metodologías para la localización óptima de centrales de biomasa y minihidráulica como recursos energéticos renovables en la Comarca El Bierzo. Tesis de maestría de la Universidad Complutense de Madrid. Españ. pp 15.
- Dhore, K., Khare, D., Chaube, C., Garg, P. (2005). Spatial decision support system architecture: evolution and application for watershed planning and management In Map India. International conference and exhibition in the field of GIS and remote sensing. Institute of Technology Roorkee. New Delhi, Indian.
- Elías, X. (2012). Biomasa y Bioenergía: monografía de capítulos del libro Energía, Agua, Medio Ambiente, territorialidad y sostenibilidad. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. pp 742.
- Esteban, L. S., Pérez, P., Ciria, P., Carrasco, G. J. E. (2004). Evaluación de los recursos de biomasa forestal en la provincia de Soria. Análisis de alternativas para su aprovechamiento energético CIEMAT, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid, España.
- European Comisión. 2017. Sustainable and optimal use of biomass for energy in the EU beyond. (2020). Disponible en: ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/biosustain_annexes_final.pdf. Consultado el 19 de octubre de 2017.
- FAO. (2017). Dendroenergía. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/energy/es/http://www.fao.org/forestry/energy/es/>. Consultado el 19 de octubre de 2017.
- Flores-Velázquez, R., Fuentes-López, M. E., Carrillo-Ávila, N., Aguilar-Sánchez, P., Buendía-Rodríguez, E., Ordóñez-Prado, C. (2013). Índices de coeficientes de aserrío en 19 aserraderos de Michoacán. Memoria de la Octava Reunión Nacional de Innovación Forestal.

García, A., García, D., Pascual, J., De la Riva, J., Pérez, C. F., Montorio, R. (2011). Determinación de zonas adecuadas para la extracción de biomasa residual forestal en la provincia de Teruel mediante SIG y teledetección, Revista GeoFocus (Artículos), No. 11. ISSN: 1578-5157. España. pp. 19-50.

Gómez, D. M., Barredo, J. (2005). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2a ed. Ed. Ra-Ma. Madrid, España. 279 p.

INEGI. (2009). Predios con aprovechamientos forestales del País. Escala 1: 250, 000. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. México, D.F.

Martínez, J., Martín, A. (2003). Métodos para la planificación de espacios naturales protegidos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España. pp 128 -132.

McNeil Technologies. (2003). Biomass resource assessment and utilization options for three counties in eastern Oregon. Department of Energy. Oregon, USA.

Pro Floresta. (2008). Estudio regional forestal de la UMAFOR 1008, Pueblo Nuevo. Pro Floresta. Victoria Durango, México. pp 18,26, 36, 39 y 46.

Romero, C. (1996). Análisis de decisión multicriterio. Ed. Ingeniería de Sistemas Madrid. España. pp 14-66.

Trofymow, J. A., Gougeon, F., Kelley, J. (2017). Determination of Dispersed and Piled Post-Harvest Residues in Coastal Douglas-fir Cutblocks Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery and Ground-based Surveys. Natural Resources Canada Canadian Forest Service Canadian Wood Fibre Centre Information Report FI-X-15.