

EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DEL CULTIVO DE CHACHAFRUTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MONAICITO, TRUJILLO-VENEZUELA, A TRAVÉS DE SIG Y EMC.

Lisbeth Segovia*

José Roa**

RESUMEN

*El propósito de esta investigación fue determinar la potencialidad que para el cultivo del Chachafruto (*Erythrina edulis*), posee la microcuenca del Río Monaicito, municipio Pampán, estado Trujillo-Venezuela, mediante el diagnóstico y evaluación de algunos parámetros ambientales favorables al desarrollo de la especie. Metodológicamente, la potencialidad fue evaluada a través de las técnicas y procedimientos de la Evaluación Multicriterio (EMC), que fue a su vez integrada con el uso de Sistema de Información Geográfica (SIG). Como resultado se produjo un mapa de aptitud del área de estudio en la cual alrededor de 15.22% (Aproximadamente 416 ha) del territorio estudiado posee Alta o Muy Alta potencialidad para el cultivo del Chachafruto.*

*Licenciada en Educación, Mención Geografía y Ciencias de la Tierra, ULA-NURR-Trujillo. Ha trabajado como asistente en Sistemas de Información Geográfica para varios proyectos de Educación Ambiental en Educación Básica. Email: lisbeth.segovia@gmail.com.

**Profesor titular de la Universidad de Los Andes, Trujillo. Miembro del Grupo de Investigación Geociencia; ULA-NURR. Especialista en Sistema de Información Geográfica y Teledetección. MS.c en Geomorfología Aplicada, ITC - Holanda. PHD en Geografía, Universidad de Maryland -EEUU. Email: roajose@ula.ve.

Recibido: 16/09/2011

Aprobado: 04/05/2012

Palabras clave: *Evaluación de potencialidad, Chachafruto (Erythrina edulis). Evaluación Multicriterio (EMC). Sistemas de Información Geográfica (SIG), Río Monaicito, Trujillo-Venezuela.*

GIS AND MULTICRITERIA EVALUATION TO CROP *Erythrina edulis* IN TRUJILLO-VENEZUELA

ABSTRACT

The aim of this paper was the assessing of the suitability to grow Chachafruto (Erythrina edulis), in the Monaicito river basin, state of Trujillo-Venezuela, which lies in the diagnostic and assessment of the basin environmental factors considered favorable for the full developed of this specie. For this purpose, a set of Multi-criteria evaluation (MCE) procedures were applied to classify the study area into several levels of spatial potentiality for Chachafruto tree planting. This practice was full supported by a free Geographical Information System (GIS) (ILWIS 3.7). As final result, a study area suitability map showed that only 15.22% of a total of 2733 ha, was classified as high to very high potentiality for Chachafruto planting.

Key words: suitability evaluation, Chachafruto (Erythrina edulis), multi criteria evaluation (MCE), GIS, Monaicito river, Trujillo-Venezuela.

1.- INTRODUCCIÓN

El deterioro de las cuencas hidrográficas, con la consecuente disminución de la capacidad de éstas para producir agua en cantidad y calidad, para el desarrollo de todas las actividades humanas y más aun como elemento indispensable para el sostenimiento de la vida en el planeta, representa un gran peligro. Igualmente la erosión del suelo que afecta más del 80.5% (106.440.000 km²) de la superficie del planeta es originada tanto por causas naturales como antrópicas, incide en la pérdida de retención de agua en el suelo y la disminución de la productividad de los procesos agrícolas, mientras indirectamente influye en la acumulación de sedimentos en ríos, lagos o humedales, deteriorando tal vez su calidad (Alvarado et al., 2007-2008).

La deforestación es un problema ambiental que tiene relación directa con lo planteado anteriormente y es causa primaria de éstos; ella es capaz de producir reducción en cantidad y calidad del recurso hídrico; pérdida del suelo, disminución de la biodiversidad y como su nombre lo indica, la pérdida de la vegetación arbórea, la cual es capaz de fijar altas tasas de dióxido de carbono (CO₂) contribuyendo a su disminución atmosférica, con la consecuente reducción del calentamiento planetario y cambio climático. Sin embargo la superficie forestal de América Latina, estimada en 870 millones de hectáreas en 1990, está desapareciendo. En el caso específico de América del Sur, los bosques desaparecen a un ritmo anual del 0.8% (Comunidad Económica Europea, 1997).

Los andes venezolanos y específicamente el territorio andino trujillano no escapa a ésta realidad. La microcuenca del Río Monaicito es un caso que reviste particular interés; ya que presenta un acelerado proceso de deterioro de sus zonas altas, lo que podría estar generando graves consecuencias en las áreas ubicadas aguas abajo, debido a los daños ocasionados por los procesos de degradación física, tanto en las vertientes como en los cauces y a los cambios en el régimen hídrico de la cuenca (Becerra et al., 2006).

El propósito de esta investigación fue determinar la potencialidad para el cultivo del Chachafruto (*Erythrina edulis*), mediante el diagnóstico y evaluación de algunos parámetros ambientales favorables para el cultivo del árbol en áreas de la microcuenca del Río Monaicito, municipio Pampán, estado Trujillo, Venezuela.

El Chachafruto representa, sin duda, excelentes ventajas en lo que concierne a conservación y manejo adecuado de suelos, al ser una leguminosa fijadora de nitrógeno y que además acumula potasio y minerales en sus tejidos, su sola presencia enriquece el suelo, las hojas que caen del árbol cuando se descompone participan en la fertilización y en el mejoramiento de la calidad del suelo y en la retención de la humedad (Barrera, 1998). La semilla de *E. edulis* es parte integral de muchas dietas y los árboles de ésta especie vegetal proporcionan también la cortina en plantaciones de café y cacao, ayuda para las cosechas mixtas de árboles frutales y no frutales, además sirve de abono orgánico, cercas vivas, maderas para la construcción y combustible y, además, por si fuera poco,

se utiliza como preparado medicinal para algunas dolencias humanas y animales (Pérez y Rojas, 2006). Las hojas y ramas tiernas pueden darse como alimento forrajero a las cabras, caballos, cerdos y conejos. Las hojas contienen 24% de proteínas, 29% de fibra cruda (en peso seco), 21% de hidratos de carbono y son ricas en potasio (Surco, 1987). El cultivo de *Erythrina edulis* supera con dimensiones extraordinarias la productividad de proteína utilizable por hectárea de cualquier otro renglón conocido; es 14,4 veces mayor que la del frijol de soya y 336 veces mayor que la de la carne (Ramírez, 2006).

2.- OBJETIVO

Determinar cinco niveles de potencialidad (*muy baja, baja, moderada, alta, muy alta*) para el cultivo del Chachafruto (*Erythrina edulis*) en la microcuenca del Río Monaicito, mediante:

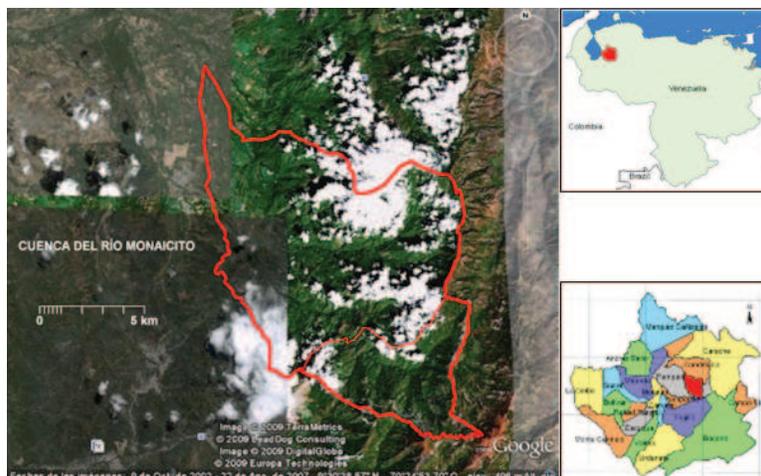
2.1.- OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Diagnóstico, selección y clasificación de factores ambientales del área, considerados influyentes para el desarrollo del Chachafruto (Altitud, Pendientes, Drenajes, Áreas de Vida / Vegetación, Rugosidad del relieve, Litología).
2. Jerarquización y evaluación de los factores ambientales seleccionados mediante las técnicas de evaluación multi criterio (EMC).
3. Producción final de un mapa de la microcuenca del Río Monaicito, demostrando los cinco niveles de potencialidad para el cultivo del Chachafruto.

3.- ÁREA DE ESTUDIO

Como área objeto de la investigación se seleccionó una porción del territorio de la microcuenca del Río Monaicito (Figura 1).

Figura 1. Localización de la microcuenca del Río Monaicito, coordenadas centrales: 9°30' - 70°24' (cortesía de Google Earth, última consulta May/2011). (La imagen a color esta disponible en la versión electrónica de este artículo)



4.- EL CHACHAFRUTO (*Erythrina edulis*)

Hoyos (1994), señala que el Chachafruto es un árbol de tamaño mediano, con una altura máxima de 10 metros de alto, de tallo principal y secundarios con agujijones cortos y de base ancha. Las flores se agrupan en racimos, de color rojo-oscuro y rojo-anaranjado, y es de esta particularidad que recibe su nombre genérico *Erythrina*, que proviene del griego *erythrós*, que significa rojo, el nombre específico *edulis*, es vocablo latino que significa comestible, en alusión al fruto, los cuales son vainas lampiñas, nudosas, y más o menos cilíndricas, las semillas son de color café, arriñonadas y de 2 a 3,5 cm de largo; cada vaina contiene alrededor de 2 a 6 semillas. En Colombia es conocido con el nombre de Balú, Chachafruto, Baluy o Sachaporoto, en Ecuador como Guato, y se denomina Pashuro, Pajuro, Sachaporoto del Basul, o Poroto del Sacha en Perú y Bolivia. La Figura 2 muestra una imagen de la especie arbórea *Erythrina edulis*, con algunos de sus elementos botánicos.

Figura 2. Árbol de Chachafruto (*Erythrina edulis*). (La imagen a color esta disponible en la versión electrónica de este artículo)



Esta especie que se encuentra de forma natural y cultivada en la cordillera de Los Andes, no se la ve creciendo en el bosque climax sino que es pionera y colonizadora en aquellos sitios en que la selva subandina ha sido derribada (Acero y Barrera, 1996). Su distribución va desde Venezuela, hasta Bolivia pasando por Colombia, Ecuador y Perú. En Venezuela es muy escaso, y es conocido entre sus habitantes con el nombre de Frijol o Frijol Mompás y crece en forma de cultivo en las partes altas de la Cordillera de la Costa y de los Andes (Hoyos, 1994).

La propagación de *Erythrina edulis* a través de la reproducción vegetativa o asexual es exitosa por acodo en un 85% aproximadamente; cuando ésta se realiza mediante estacas, con dimensiones de tres a cinco centímetros de diámetro, se da un porcentaje de éxito en la reproducción del 90% aproximadamente, y es también muy exitosa la reproducción por semilla sexual, siempre y cuando se siembre rápidamente después de la cosecha; ensayos realizados mostraron 89% de emergencia en semillas sembradas a los diez días después de la cosecha, 65% a los 20 días y 51% a los 30 días (ob. cit.). El Cuadro 1 presenta algunas de las condiciones óptimas para el desarrollo de *Erythrina edulis*.

Cuadro 1. Exigencias ecológicas-ambientales del Chachafruto

Altitud:	1200 a 2600 msnm
Temperatura promedio:	15 a 20 °C
Precipitación media anual:	1500 a 2000 mm (bien distribuidos)
Textura de suelo	Franco-arcillosos y/o Franco-arenosa
pH	No crece bien en suelos muy ácidos (<4,5)

Nota. Datos tomados de Chachafruto, Cultivo y Aprovechamiento (p. 13) por L. Acero y N. Barrera, 1996, Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

5.- METODOLOGÍA

La base para la elaboración del Diagnóstico fue el uso de las técnicas y procedimientos de EMC; entendida ésta como “un modelo de evaluación que afronta el problema de la preferencia o la selección (la valoración, en suma) entre un conjunto de alternativas reales, en presencia de criterios diversos, delimitados entre sí.” (Galacho y Ocaña, 2006).

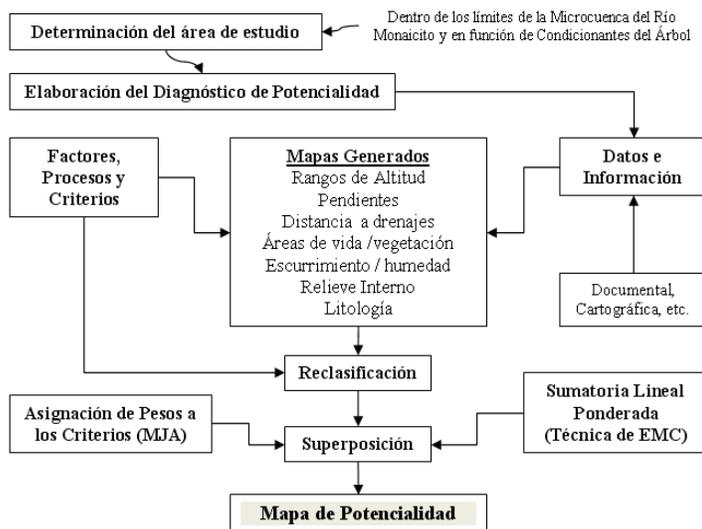
La metodología de EMC, fue a su vez integrada con SIG; los cuales pueden definirse como “*un sistema de información utilizado para ingresar, almacenar, recuperar, manipular, analizar y obtener datos geoespaciales, a fin de brindar apoyo en la toma de decisiones*”. (Cartaya et al., 2006: 640). En tal sentido, Barredo (1996: 58) apunta que:

La integración de EMC y SIG genera una potente herramienta para asistir en procesos de análisis espacial a través del modelado, en especial para la asignación/localización de actividades, generándose así una serie de posibilidades de aplicación en los SIG... o bien realizando operaciones de localización/asignación tomando en cuenta diversos criterios...

Es importante resaltar que todos y cada uno de los mapas que se generaron en el diagnóstico, fueron digitalizados, georeferenciados, procesados, clasificados, estandarizados y combinados, mediante el uso del SIG: ILWIS 3.7 (Disponible en www.itc.nl/ilwis/downloads/default.asp).

La metodología utilizada para la realización del diagnóstico de potencialidad consistió, en primer lugar, en determinar el área de estudio dentro de los límites de la microcuenca del Río Monaquito en función de condicionantes del árbol. Seguidamente con el uso de diversas fuentes de información se crearon los mapas respectivos, los cuales fueron posteriormente reclasificados. Esta fase de generación y reclasificación de las capas temáticas estuvo definida por los factores, procesos y criterios involucrados en la investigación. Finalmente se asignó peso a los criterios y se combinó toda la cartografía por medio de procedimientos de EMC, obteniendo así el Mapa de potencialidad. La figura 3 sintetiza la metodología descrita.

Figura 3. Esquema general metodológico para la realización del diagnóstico de potencialidad, mediante técnicas de EMC y SIG. Elaboración propia.



5.1.- DATOS Y FUENTES

Para establecer si el área cumple con las condiciones de: rango altitudinal, temperatura promedio, nivel de precipitación y extensión superficial, se usó información recolectada a partir de dos fuentes principales. Se empleó información cartográfica de la microcuenca, obtenida de Cartografía Nacional (Cartografía Nacional, 1979). Se aprovechó además, información documental o bibliográfica, proveniente de las estaciones meteorológicas presentes y adyacentes al área de la microcuenca y dependientes de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPPA, 2008); a partir de ésta se obtuvo información referida a la temperatura promedio y a los niveles de precipitación.

Los mapas que se generaron para la realización del diagnóstico de potencialidad son los de Rangos de Altitud, Pendientes, Distancia a drenajes, Áreas de vida/vegetación, Escurrimiento/humedad, Relieve Interno y Litología. Los mapas de Rangos de Altitud, Relieve Interno y Pendientes, se extrajeron de un Modelo de Elevación Digital (MED). Éste MED, se construyó a partir de la digitalización de información cartográfica (Mapa de Curvas de Nivel), obtenido de Cartografía Nacional (1979).

En el caso de los mapas: Distancia a drenajes y Escurrimiento/humedad; éstos se generaron produciendo un MED Optimizado, mediante la combinación del MED y un Mapa de Drenajes del área de estudio. El Mapa de Drenajes se construyó a partir de la digitalización de la información cartográfica (Cartografía Nacional, 1979) y se mejoró mediante el uso de un Ortofotomapa del área de estudio obtenido del Sistema Hidráulico Trujillano (SHT) (1996). El Mapa de Litología se generó con base en el mapa geológico-estructural de Venezuela de Bellizzia, Pimentel y Bajo (1976); y la información aportada por el Código Estratigráfico de Cuencas Petroleras de Venezuela elaborado por Pdvs – Intevp (2009).

Para crear el mapa de Áreas de vida/vegetación, fue indispensable generar un mapa de Precipitación Anual, un mapa de Tasa de Evapotranspiración Potencial y un mapa de Biotemperatura. El primero

de ellos se construyó a partir de información de precipitación; generando un mapa de isoyetas (curvas con el mismo índice de pluviosidad media anual). El mapa de Biotemperatura se generó con información térmica, creando así un mapa de isotermas (curvas de igual temperatura media anual) para el área analizada. La tercera y última capa temática (mapa de Tasa de Evapotranspiración Potencial) se creó con datos de temperatura y precipitación, generando un mapa de isolíneas de igual tasa de evapotranspiración potencial. Cabe señalar que los datos climatológicos para la elaboración de ésta cartografía fueron obtenidos de estaciones meteorológicas presentes o aledañas al área de estudio, bajo la tutela del MPPPA (2008).

Cuadro 2. Datos y fuentes utilizados en la generación de las capas temáticas

Fase de la Investigación	Mapas Generados	Procedimiento para creación de mapas	Fuentes	Significado del mapa
Determinación del Área de Estudio	Área de Estudio		IC, DC	Poligonal del área de estudio
	Rangos de Altitud	MED	IC	Pisos altitudinales
	Pendientes	MED	IC	Inclinaciones del terreno
Determinación de la Potencialidad	Distancia a Drenajes	MED Optimizado (MED + Mapa de Drenajes)	IC, OFM	Separación a cursos de agua permanentes
	Áreas de Vida/ Vegetación	Mapa de Precipitación Anual + Mapa de Tasa de Evapotranspiración Potencial + Mapa de Biotemperatura + NDVI	DC, ZVH, IS	Zonas de Vida, según Holdridge para el área de estudio
	Escorrentamiento/ Humedad (ITH)	MED Optimizado (MED + Mapa de Drenajes)	IC, OFM	Concentración de agua en función de la pendiente
	Relieve Interno	MED	IC	Rugosidad del relieve
	Litología	Mapa Geológico-Estructural de Venezuela + Código Estratigráfico de Cuencas Petroleras de Venezuela	ID	Diversas Unidades Litológicas

Nota. Elaboración propia. MED=Modelo de elevación digital; IC=Información cartográfica de Cartografía Nacional; IS=Imagen satelital de Global Land Cover Facility (GLCF); ID=Información documental de Bellizzia, Pimentel y Bajo, y de Pdvsa-Intevep; DC=Datos climatológicos (Dirección de Hidrología y Meteorología del MPPA); ZVH=Sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge; ITH=Índice topográfico de humedad; OFM=Ortofotomapa de Sistema Hidráulico Trujillano.

Seguidamente estos mapas fueron reclasificados utilizando como criterio el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge; creando mapas reclasificados de Precipitación Anual, Tasa de Evapotranspiración Potencial y Clases Altitudinales; los cuales se combinaron para obtener el mapa de zonas de vida/vegetación. Finalmente se estimó la cobertura vegetal del área de estudio a través del cálculo del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) de una imagen satelital LANDSAT ETM+ del 3 de Agosto de 1996, de 30x30 metros de resolución, de la zona analizada que se consigue libremente en el Global Land Cover Facility (2009), conocido por sus siglas en inglés como GLCF (www.landcover.org). Éste NDVI se utilizó como capa adicional con el fin de confirmar y afinar las clases logradas en el mapa de zonas de vida/vegetación; creando así el mapa definitivo. El Cuadro 2 resume los datos y las fuentes.

5.2.- INSUMOS

En cuanto a la selección de los factores ambientales favorables al cultivo del Chachafruto y producción de la cartografía representativa de éstos, Barredo (1996), indica que los factores de localización inciden de manera trascendental en los usos del suelo o actividades a evaluar; a partir de estos factores se establecen las características deseables que debe reunir un lugar del territorio para acoger el uso o actividad planteada. En virtud de lo expuesto, el elemento que especifica cuáles criterios utilizar, corresponde al grupo de factores de localización. Así, a través del objetivo (En éste caso: identificar la potencialidad de los diferentes sectores del área de estudio para el cultivo de *Erythrina edulis*) y de los factores de localización, se definen los criterios (variables) que inciden en cada modelo de capacidad; representado por las capas temáticas (mapas generados) definidas en cada caso.

Son muchos los factores y criterios del medio susceptibles de ser tenidos en cuenta para la realización de estudios del territorio y su capacidad, dependiendo en cada caso de una serie de particularidades del territorio en estudio, objetivos del trabajo, disponibilidad de información y otros aspectos anexos al tipo de estudio que se pretenda llevar a cabo (ob. cit.). Atendiendo estas consideraciones, en el Cuadro 3 son estructurados y presentados los factores, procesos y criterios involucrados en la potencialidad del cultivo del Chachafruto.

En vista de que cada uno de los mapas generados: Rangos de Altitud, Pendientes, Distancia a Drenajes, Áreas de Vida/Vegetación, Escurrimiento/Humedad, Relieve Interno y Litología; posee diferentes valores y distintos significados, lo cual impide combinar la cartografía para crear el Mapa de potencialidad. Además, es preciso crear un modelado cartográfico que represente de manera idónea los factores y criterios involucrados en la potencialidad del cultivo del Chachafruto en el área analizada; surge la necesidad de que toda la cartografía generada sea reclasificada, normalizada o estandarizada.

Cuadro 3. Factores, procesos y criterios involucrados en la potencialidad del cultivo del Chachafruto en el área analizada

Factores		Procesos	Criterios
Precipitaciones y Temperaturas	Distribución	Balace	Zonas de Vida (Holdridge)
	Espacio - Temporal de la Precipitación y Temperatura	Espacio - Temporal de la Precipitación y Temperatura	
Hidrología de la Cuenca	Escurrimiento Superficial	Concentración del Escurrimiento	Índice Topográfico de Humedad
	Drenajes	Flujos Hidricos	Distancia a Cursos de Agua
Morfología de la Cuenca	Vertientes	Pendientes	Inclinación de las Pendientes
	Altitud	Pisos Altitudinales	Rangos de Altitud
	Relieve	Disección del Relieve	Relieve Interno
Aptitud del Suelo	Geología	Unidades Litológicas	Litología
Susceptibilidad a la Erosión	Vegetación	Distribución de la Cobertura vegetal	Densidad de la Vegetación (NDVI)

En éste orden de ideas, los valores de los mapas se estandarizaron en una misma unidad de medida; adquiriendo estos valores en un rango comprendido entre 0 y 1, donde el valor 1, representa el máximo potencial para cultivo del Chachafruto en el área objeto de estudio; y el valor 0, simboliza el mínimo potencial para el cultivo del árbol. Bajo éste esquema, la normalización de la cartografía se hizo utilizando el método del valor máximo (sólo para los mapas con dominio de valor), el cual se fundamenta en dividir los valores de cada mapa por su máximo valor a encontrar; éste método es señalado por Roa (2007).

Tal es el caso del mapa de Escurrimiento/Humedad; en el cual el máximo valor del mapa o máximo valor de índice topográfico de humedad es el común divisor de todos y cada uno de los valores del

mapa. Obteniendo el mapa normalizado de Escurrimiento/Humedad con una gama de valores entre 0 y 1, donde los valores tendentes a cero representan un nivel bajo de concentración de agua (con menor potencial para el cultivo del árbol), en virtud de las elevadas pendientes; y los valores que tienden a uno, reflejan una alta concentración de humedad (con mayor potencial para el cultivo del árbol), producto de pendientes menos pronunciadas en dicha zonas.

Los mapas de Pendiente, Distancia a Drenajes y Relieve Interno, se normalizaron siguiendo el método anterior; con la salvedad de que en éstos se invirtieron los índices acordados. En ésta perspectiva; en el mapa de pendientes, los valores más elevados de pendiente (con menor potencial para el cultivo del árbol) adoptaron valores tendentes a cero y en el caso de valores de pendiente menos elevadas (con mayor aptitud para el cultivo del Chachafruto) valores propensos a uno. Igual sucedió con el mapa de Distancia a Drenajes y con el de Relieve Interno.

El mapa de Rangos de Altitud se estandarizó asignando valores tendentes a 1 a las alternativas que se ubiquen en el rango óptimo de altitud para el desarrollo del árbol; y valores propensos a 0, a aquellas áreas que se alejen de éste. En éste sentido se usó el método del valor máximo desde la altitud más baja hasta el valor óptimo de altitud; y de aquí hasta el valor más elevado de altitud, se usó el mismo método, con la excepción que se invirtieron los índices acordados.

Para la estandarización de los mapas de Litología y Áreas de Vida/Vegetación se construyó una escala arbitraria, con valores comprendidos en el rango de 0 a 1. En el caso particular del mapa de Litología la asignación de pesos a las unidades litológicas presentes en el área de estudio; que reflejen diferentes grados de aptitud de éstas al desarrollo de sembradíos de Chachafruto, se evaluaron en este trabajo a partir de los siguientes supuestos:

- Que las unidades litológicas conforman el material parental del que se forman los suelos y/o perfiles superiores que sostendrán e interactuarán con el árbol del Chachafruto.
- Que en gran medida este material parental es responsable directo que estos suelos y/o perfiles superiores difieran en ciertas características físicas y químicas como homogeneidad, estabilidad estructural, textura/pedregosidad y acidez.

- Que el Chachafruto según la literatura (Acero y Barrera, 1996) es poco tolerante a los suelos ácidos y de alta pedregosidad, creciendo muy bien en suelos de texturas franco arenosa e inclusive muy arcillosos o pesados pero con buen drenaje.

Si bien el área de estudio no posee un levantamiento detallado de suelos (de aquí que este análisis utiliza el mapa litológico del área), fue posible a partir de la literatura investigada, extrapolar características físicas y químicas de suelos conformados a partir de condiciones litológicas y bioclimáticas similares a las presentes en el área de estudio. El Cuadro 4 muestra la opinión de diversos especialistas en lo concerniente a algunas particularidades edáficas que presentan las unidades geológicas en el área analizada y cuyas opiniones fueron tomadas en consideración en la elaboración de la escala arbitraria para reclasificación del mapa de Litología.

Estas características fueron evaluadas en una escala de clases (*baja, moderada, alta, muy alta*), que representan su potencialidad a generar condiciones edafológicas proclives o no al buen crecimiento del Chachafruto. El Cuadro 5 describe esta evaluación, observándose valores propensos a cero en las unidades litológicas que presentaron un menor potencial para el desarrollo de la especie y tendentes a uno, cuando ostentaron mayor aptitud para el cultivo del árbol.

Cuadro 4. Literatura investigada de diversos autores sobre algunas características de los suelos en las formaciones geológicas del área analizada

Característica	Opinión Especializada	Autor
Homogeneidad	... Los suelos de la formación Mucuchachí presentaron la mayor homogeneidad pedogeomorfológica de las tres formaciones geológicas estudiadas... Los suelos de la formación La Quinta resultaron con la menor homogeneidad pedogeomorfológica... En relación con los suelos de la formación Río Negro poseen una homogeneidad pedogeomorfológica intermedia.	Pineda et al., 2008.
Estabilidad estructural	... Los suelos derivados de las formaciones La Quinta y Aguardiente, pertenecientes a clases texturales gruesas, a pesar de su alto contenido de carbono orgánico, presentaron una estabilidad estructural muy baja posiblemente asociada a sus menores contenidos de arcilla, situación contrastante se apreció en los suelos derivados de la formación Mucuchachí y del Terciario Indiferenciado, los de mayores valores de estabilidad estructural, donde además de la riqueza en arcilla se presentan los mayores contenidos de carbono orgánico.	Vera y López, 1995.
Textura / pedregosidad		
Acidez	... Al discriminar los perfiles en las diferentes formaciones, observamos que los suelos desarrollados sobre materiales del Cretáceo, en un 86,9% son ácidos y en algunas de ellas: formaciones Capacho y Colón en un 100% son ácidos. En los suelos desarrollados sobre la formación La Quinta el 96,88% de los perfiles poseen un carácter ácido. En las formaciones Mucuchachí y los depósitos cuaternarios el 82% de los suelos analizados son ácidos.	Ochoa et al., 2004.

Cuadro 5. Pesos establecidos para las unidades litológicas presentes en el área analizada

Código	Jr	Kc	Kl	Kn	Pcm	
Formación Geológica	La Quinta	Colón	La Luna	Aguardiente	Río Mucuchachí	
Litología* (Tipo)	Limolita y Arenisca	Lutitas	Calizas y Lutitas Calcáreas	Areniscas Calcáreas y Cuarzosas	Pizarras Laminadas y Limosas	
Valor Asignado**	Homogeneidad	1	4	7	1	10
	Estabilidad estructural	1	4	4	1	10
	Textura / pedregosidad	1	10	10	1	4
	Acidez	1	1	4	4	4
	Valor Promedio	1	4,75	6,25	1,75	7
	Valor Normalizado	0,10	0,48	0,63	0,18	0,70

Nota.*Información de formaciones geológicas y datos litológicos tomados del Código Estratigráfico de Cuencas Petroleras de Venezuela, Pdvsa-Intevep, 2009. **[Baja proclividad=1, Moderada proclividad=4, Alta proclividad=7, Muy alta proclividad=10].

En lo que concierne a las unidades del mapa de áreas de vida / vegetación, éstas se estandarizaron con base en los siguientes razonamientos:

- El mapa generado de Zonas de Vida de Holdridge divide el territorio estudiado en tres zonas de Bosque Tropical, a saber: Bosque Húmedo Montano Bajo, Bosque Seco Montano bajo y Bosque Seco Premontano. Esta situación trae como consecuencia que en todo el territorio analizado existan características bioclimáticas benéficas; y además similares, para el cultivo del árbol de Chachafruto.
- Lo antes expuesto supone que cualquier lugar del territorio estudiado es propicio para el cultivo de *E. edulis*, desde el punto de vista del comportamiento bioclimático global del área analizada.
- La literatura señala que el árbol de Chachafruto es una planta pionera y colonizadora de aquellos espacios donde que el

Bosque Andino ha sido degradado o destruido y posee poca probabilidad de prosperar en ecosistemas de Bosque climax (Acero y Barrera, 1996).

- La capa temática NDVI puede entenderse como una gradación de las diferentes formas de cobertura vegetal presentes o existentes en el área analizada; y es usada para afinar y confirmar las clases logradas mediante el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge.

Las consideraciones anteriores llevan a establecer una escala de valores en la cual se evalúa principalmente la susceptibilidad a la erosión que presenta el territorio analizado. En este sentido, las áreas con menor cobertura vegetal (de mayor susceptibilidad a la erosión) reciben valores tendentes a 1; mientras que las áreas con mayor nivel de cobertura vegetal (mayor grado de conservación) adquieren valores tendentes a 0. En el Cuadro 6 se establecen las ponderaciones hechas para cada caso.

Cuadro 6. Valores asignados a cada una de las clases de cobertura vegetal para la estandarización del mapa de áreas de vida/vegetación

Clases de Cobertura Vegetal	Pesos Establecidos
Bosque Alto Ombrofilo Premontano	0.17
Bosque Claro con Cultivos de Café	0.33
Bosque Seco Medio Denso Premontano	0.50
Matorral Montano Bajo	0.67
Matorral Seco Premontano	0.83
Suelo Desnudo	1
Uso Urbano*	~

Nota. *Las áreas de uso urbano fueron excluidas del análisis.

5.3.- PRODUCTOS

A manera de síntesis, el Cuadro 7 esboza los valores asignados y cartografía generada y reclasificada en la fase de determinación de la potencialidad. La Figura 4 ilustra de manera general la combinación de capas temáticas que originan el Mapa de potencialidad.

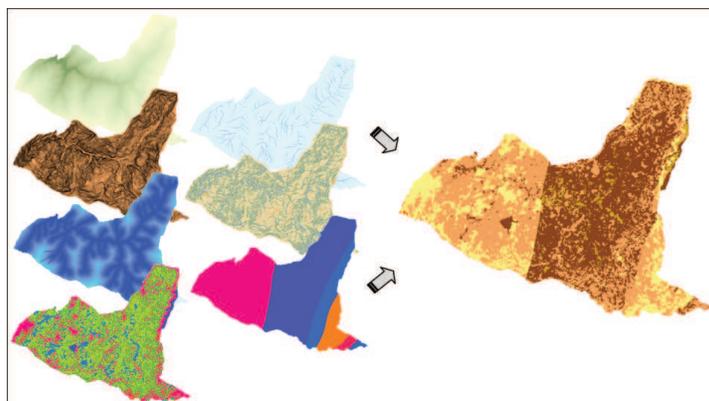
Cuadro 7. Resumen de los valores obtenidos en cada capa

temática generada y normalizada

Etapa del Diagnóstico	Capas Temáticas*	Generadas		Estandarizadas	
		Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Determinación de la Potencialidad	Rangos de Altitud ^A	860	2360	0.45	1
	Pendientes ^B	0	73.98	1	0
	Distancia a Drenajes ^B	0	2090	1	0
	Litología ^C	Clases Litológicas		0.1	0.7
	Escurrimiento / humedad ^A	1	18784	0	1
	Relieve Interno ^B	0	4	1	0
	Áreas de vida /vegetación ^C	Clases de Cobertura Vegetal		0	1

Nota. ^A Asignación de pesos mediante método del valor máximo. ^B Asignación de pesos mediante método del valor máximo (valores invertidos). ^C Asignación de pesos mediante escala arbitraria (Cuadros 5 y 6). *En la Figura 4 se ilustran capas temáticas normalizadas utilizadas.

Figura 4. Capas temáticas normalizadas y Mapa de potencialidad. (La imagen a color esta disponible en la versión electrónica de este artículo)



6.- INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Un vez generada y estandarizada toda la cartografía, surgió la necesidad de asignarle valores cuantitativos, designados con el apelativo de peso o ponderación, a todos y cada uno de los criterios involucrados en el diagnóstico de potencialidad. Así pues, para la asignación de pesos a los criterios se usó el procedimiento desarrollado por Saaty y empleado por Roa (2007) denominado Método de Jerarquización Analítica o Matriz de Jerarquización Analítica (MJA); que se fundamenta en la elaboración de una matriz de doble entrada en la cual el número de filas y columnas está determinado por la cantidad de criterios a ponderar, así se constituye una matriz de cotejo entre pares de criterios, confrontando la importancia de uno sobre cada uno de los demás (Galacho y Ocaña, 2006).

Huang et al., (citado en Roa, 2007) señalan que después de reconocer los pares de criterios, éstos son cualificados y cuantificados a través de ciertos parámetros. En el caso particular de este estudio, cada parámetro concede una calificación entre 1 y 4 dependiendo del nivel de importancia concedido por el investigador a la relación de pares estudiados (Cuadro 8).

Cuadro 8. Escala de medida usada para la calificación/cuantificación de los pares en concordancia de los criterios involucrados en la determinación de la potencialidad para el cultivo del Chachafruto en el área analizada

Nivel de Importancia	Definición	Descripción
1	Igual primacía	Ambos criterios (x, j) favorecen de igual forma el cultivo de Chachafruto
2	Moderada primacía	Anteriores experiencias benefician levemente al criterio (x) sobre el otro (j)
3	Fuerte primacía	Prácticamente la preferencia del criterio (x) sobre el otro (j) está demostrada
4	Absoluta primacía	Existen pruebas que establecen la superioridad del criterio (x)

Nota. Adaptado de Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del Río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela por J. Roa, 2007, Revista Geográfica Venezolana.

Una vez establecidos los pesos para cada relación de pares de criterios, estos valores son incorporados a la MJA, transformando esta apreciación subjetiva en un sistema de valores lineares. La fuente para sustentar o respaldar la asignación de pesos a los criterios es de origen múltiple: experiencia, panel de expertos, literatura especializada, entre otros. (Roa, 2007).

Cuadro 9. Peso asignado a los criterios mediante el Método de Jerarquías Analíticas en la determinación de la potencialidad para el cultivo del Chachafruto en el área analizada

Matriz de Jerarquización Analítica (MJA)	j	x								
		Rangos de Altitud	Pendientes	Distancia a Drenajes	Áreas de Vida / Vegetación	Escurrimiento / Humedad	Relieve Interno	Litología	$\sum x_{ij} / n$	Valor Relativo $(\sum x_{ij} / n) / \sum x_j$
Rangos de Altitud		1	3	2	1	2	3	1	1,86	0,21
Pendientes		1/3	1	1/2	1/3	1/2	1	1/3	0,57	0,06
Distancia a Drenajes		1/2	2	1	1/2	1	2	1/2	1,07	0,12
Áreas de Vida / Vegetación		1	3	2	1	2	3	1	1,86	0,21
Escurrimiento / Humedad		1/2	2	1	1/2	1	2	1/2	1,07	0,12
Relieve Interno		1/3	1	1/2	1/3	1/2	1	1/3	0,57	0,06
Litología		1	3	2	1	2	3	1	1,86	0,21
								$\sum x_j$	8,86	1,00

El Cuadro 9 ilustra los valores fijados para los diversos pares de criterios en la determinación de la potencialidad para el cultivo del Chachafruto en el área analizada.

Otro aspecto importante a desarrollar es el relativo a la técnica de EMC utilizada para la superposición de las capas temáticas representativas de cada uno de los criterios y de su valoración en el territorio objeto del estudio. Para la selección del método de EMC usado, se acudió a las estrategias planteadas por Hong y Vogel (citados en Barredo, 1996) a seguir para la elección de un procedimiento de EMC; así pues, la estrategia escogida es la *generación de un orden lineal*, que se cimienta en generar un orden de alternativas desde la más conveniente

a la menos conveniente, y que corresponde a la aplicación de técnicas *compensatorias* (donde se establecen ponderaciones cuantitativas para los criterios) y en este caso concreto, con preferencia en los pesos de los criterios.

Como consecuencia de éste análisis se optó por la técnica de Sumatoria Lineal Ponderada (SLP) como procedimiento de EMC para la integración / superposición de las capas temáticas normalizadas, lo cual generará el mapa de valores absolutos de potencialidad. Esta SLP se realiza a través de la ecuación 1.

$\text{Potencialidad} = 0,21(\text{Rangos de Altitud}) + 0,06(\text{Pendientes}) + 0,12(\text{Distancia a Drenajes}) + 0,21(\text{Áreas de Vida Vegetación}) + 0,12(\text{Esguerrimiento Humedad}) + 0,06(\text{Relieve Interno}) + 0,21(\text{Litología})$	(1)
---	-----

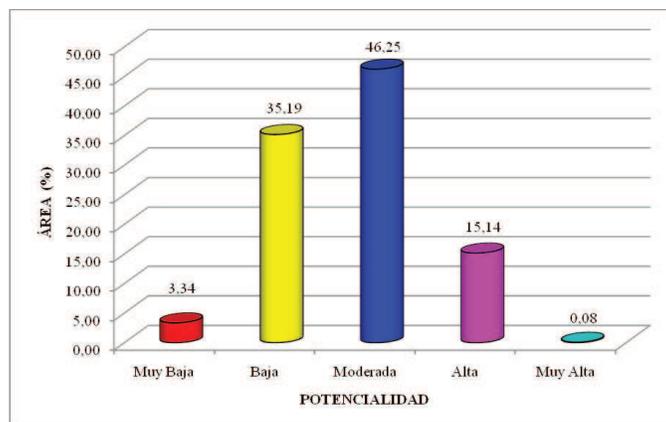
7.- RESULTADOS.

Dado que se trabaja con valores normalizados, el mapa de potencialidad para el cultivo del Chachafruto generado, mantiene una escala de valores entre 0 y 1. Este producto debe luego clasificarse en una escala de clases, que para efectos de este trabajo es de cinco niveles (*Muy Baja, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta*), para que los beneficiarios últimos de este producto cartográfico puedan interpretarlo con mayor facilidad. Los rangos que definen esta clasificación pueden ser delimitados mediante el uso de fractiles estadísticos, sin embargo en este trabajo se utilizó el histograma de frecuencias del mapa de potencialidad absoluto para la definición de los límites de clases. Esta técnica se basa en la lectura de las inflexiones de la curva acumulada de frecuencias. La Figura 5 ilustra el mapa de potencialidad con valores absolutos tal y como se genera a partir de la aplicación de la ecuación 1, y el consiguiente mapa de clases que describe la potencialidad para el cultivo del Chachafruto en el área de estudio (ver anexo 1).

Figura 5. Mapas generados de potencialidad con dominios de valor y de clases. (La imagen a color esta disponible en la versión electrónica de este artículo)

El Mapa de potencialidad representa el potencial que posee el territorio objeto de estudio para el cultivo del árbol de Chachafruto. En tal sentido, la figura 6 ilustra la distribución del área de estudio entre las diferentes clases de potencialidad. Gran parte del territorio (38.53%, alrededor de 1052 ha) posee *Baja* o *Muy Baja* potencialidad para el cultivo del Chachafruto, sin embargo existe también un porcentaje de alrededor de 15.22% (aproximadamente 416 ha) del territorio estudiado con *Alta* o *Muy Alta* potencialidad para el cultivo del Chachafruto, con lo cual queda justificado que existen áreas con aptitud benéfica para el cultivo de *E. edulis*.

Figura 6. Distribución del área de estudio entre las diferentes clases de potencialidad al cultivo del Chachafruto, representadas en los mapas respectivos.



Es importante destacar además que 46.25% del territorio (1263 ha) posee potencialidad *Moderada* para el cultivo del Chachafruto; esta situación podría variar en función de cambios en los parámetros que definen la capa de potencialidad, lo cual lograría eventualmente mejorar los niveles de aptitud de ésta porción del territorio y por ende, elevar la cantidad de áreas con nivel significativo para el cultivo del Chachafruto.

8.- CONCLUSIONES.

Se determinó la potencialidad del área objeto de estudio para el cultivo del Chachafruto, mediante el diagnóstico y evaluación de algunos parámetros ambientales favorables para el cultivo del árbol. Se recomienda estudiar la posibilidad de extender la investigación aquí desarrollada a cuencas vecinas que se encuentren en franco deterioro ambiental, en virtud de la influencia que tiene el análisis realizado en las cuencas colindantes a la del Río Monaicito (por ejemplo: Cuenca Quebrada Santa Ana).

Se exhorta a la realizar otros estudios con el propósito de fomentar o promover el uso de otras especies arbóreas conservacionistas, además del Chachafruto. Tal es el caso de especies emblemáticas o representativas del estado Trujillo, como: Bucare, Guamo, entre otras especies.

Analizar la posibilidad de ampliar el número de factores y criterios utilizados en este estudio para determinar la potencialidad del cultivo de *E. edulis*; tanto aquellos de carácter ambiental, como los relativos a otros componentes. Esto con el fin de enriquecer y fortalecer el modelo de capacidad de acogida del territorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acero, L. y Barrera, N. (1996). *Chachafruto Erythrina edulis*, T. *Cultivo y Aprovechamiento*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Alvarado, M., Colmenero, J. y Valderrábano, M. (2007-2008, Noviembre-Febrero). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el Estado de Tlaxcala, México. *Ciencia Ergo Sun*, 14 (3), 317-326.

Barredo, J. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*. Madrid: Ra-ma.

Barrera, N. (1998). *El Chachafruto Erythrina edulis T. Cuaderno de educación ambiental N°1*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia/ Ministerio de Agricultura.

Becerra, L., Arellano, R. y Pineda, N. (2006). Diagnóstico agrosocioeconómico de las fincas cafetaleras de la microcuenca del Río Monaquito, estado Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 47(1), 11-28.

Bellizzia, A., Pimentel, N. y Bajo, R. (1976). *Mapa geológico-estructural de Venezuela, escala 1:500.000*. Caracas: Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología.

Cartaya, S., Méndez, W. y Pacheco, H. (2006). *Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica*. *Interciencia*, 31(9), 638-646.

Cartografía Nacional. (1979). *Hojas (6144-III-NO, 6144-III-NE, 6144-IV-SO y 6144-IV-SE) escala 1:25000*. Caracas: Autor.

Comunidad Económica Europea. (1997). *Gestión sostenible de las selvas tropicales. Informe sobre las actividades de cooperación financiadas con cargo a la línea presupuestaria B7-6201 (antes B7-5041)*. Bruselas: Autor.

Galacho, F. y Ocaña, C. (2006). *Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la Capacidad de Acogida del Territorio para Usos Urbanísticos: Residenciales y Comerciales*. Ponencia Presentada en XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. El Acceso a la Información Espacial y las Nuevas Tecnologías Geográficas, Granada, España.

Global Land Cover Facility (GLCF), Universidad de Maryland. (2009). LANDSAT ETM+. [On line] www.landcover.org (última visita Diciembre 2010).

ITC. *ILWIS 3.7* [Sistema de información geográfica]. Países Bajos: ITC. Disponible: <http://52north.org/communities/ilwis/about> (última visita, Noviembre 2010)

Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2008). [Datos de precipitación y temperatura de estaciones ubicadas en el estado Trujillo.

Archivos internos de la Dirección de Hidrología y Meteorología]. Datos no publicados.

Ochoa, G., Oballos, J., Jaimes, E. y Manrique, J. (2004). *Relación entre el material parental y el pH de los suelos en los Andes venezolanos*. Revista Geográfica Venezolana, 45(2), 281-288.

PDVSA-INTEVEP. (2009). *Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela*. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm> (última visita, Noviembre 2010)

Pérez, J. y Rojas, R. (2006). *Evaluación de características de frutos y semillas de Erythrina edulis Triana ex Micheli (Chachafruto) en plantaciones de cuatro años de edad en La Azulita, estado Mérida, Venezuela*. Trabajo presentado para optar al título de Ingeniero Forestal. No publicado. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Pineda, N., Jaimes, E., Mendoza, J., Arellano, R., Becerra, L. y Rodríguez, H. (2008). *Homogeneidad pedogeomorfológica asociada con las formaciones geológicas y zonas de vida de la microcuenca del Río Monaicito, Trujillo, Venezuela*. Bioagro, 20(1), 49-56.

Ramírez, R. (2006). *El Chachafruto (Erythrina edulis Triana ex Micheli) como alternativa agroecológica para las comunidades de Lomas de los Maitines, Mérida, estado Mérida*. Informe de pasantías presentado para optar al título de Ingeniero Forestal. No publicado. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Roa, J. (2007). Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del Río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(2), 183-219.

Sistema Hidráulico Trujillano. (1996). *Ortofotomapa*. Trujillo, Venezuela.

Surco, J. (1987). *Evaluación de los minerales nutricios de las semillas de Erythrina edulis*. Perú: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco.

Vera, M. y López. R. (1995). Estabilidad estructural de suelos en zona de Selvas Nubladas de los Andes de Mérida, Venezuela. *Revista Venesuelos*, 3(1), 37-45.

ANEXO 1. Mapa de potencialidades para el cultivo del chachafruto (*Erythrina edulis*) en el área de estudio

