

Comparación de metodologías de aptitud de uso del suelo: hacia un enfoque alternativo, basado en la implementación de la Metodología Cervatana Modificada (MCM), municipio de Puerto Gaitán, Meta

Comparison of Land-use Suitability Methodologies: Towards an Alternative Approach, Based on the Implementation of the Modified Cervatana Methodology (MCM), Municipality of Puerto Gaitan, Meta

Alfonso López Moreno¹ 

Resumen

En Colombia, la región de la Orinoquia es una extensa reserva de recursos, destacándose tierras aptas para la producción y de biodiversidad. Cuenta con 26 millones de hectáreas, de las cuales el 53% corresponde a la altillanura bien drenada. Al interior se encuentra el municipio de Puerto Gaitán (Meta), cubriendo un área de 443560 ha para este estudio. La investigación consistió en realizar un análisis comparativo de aptitud del suelo, entre resultados del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para 2013 y los obtenidos con la Metodología Cervatana Modificada, buscando un enfoque alternativo o complementario, dentro de un marco de desarrollo sostenible. Se utilizó información base y temática a escala 1:25.000, el Sistema de Información Geográfica, método Delphi y el Análisis Multicriterio. El análisis comparativo arrojó mejores escenarios para la Metodología Cervatana Modificada, destacándose el incremento de las clases de clasificación para zonas altamente productivas, como es la S2 para la producción agrícola y zonas específicas para la conservación. La investigación concluye que la hipótesis planteada, del uso de una metodología como la Metodología Cervatana Modificada, aprovecha de manera significativa la sinergia, en cuanto a insumos y metodologías utilizadas, para la obtención de escenarios potenciales de uso.

Palabras clave:

aptitud de uso de la tierra, Metodología Cervatana Modificada, método Delphi, Sistema de Información geográfica, Análisis Multicriterio.

Cómo citar

López Moreno, A. (2024). Comparación de metodologías de aptitud de uso del suelo: hacia un enfoque alternativo, basado en la implementación de la Metodología Cervatana Modificada (MCM), municipio de Puerto Gaitán, Meta. *Análisis Geográficos*, 57(1), 84 - 100.

Abstract

In Colombia, the Orinoquia region is an extensive reserve of resources, including land suitable for production and biodiversity. It has 26 million hectares, of which 53% corresponds to the well-drained highlands. The municipality of Puerto Gaitán (Meta) is located in the interior, covering an area of 443,560 ha for this study. The research consisted of a comparative analysis of soil suitability, between the results of the Agustín Codazzi Geographic Institute for 2013 and those obtained with the Modified Cervatana Methodology, seeking an alternative or complementary approach, within a framework of sustainable development. The Modified Cervatana Methodology used: base and thematic information at a scale of 1:25,000, use of the Geographic Information System, Delphi Method, and Multicriteria Analysis. The comparative analysis yielded better scenarios for the Modified Cervatana Methodology, highlighting the increase in classification classes for highly productive zones, such as (S₂) for agricultural production and specific zones for conservation. The research concludes that the hypothesis proposed, the use of a methodology such as the Modified Cervatana Methodology, significantly takes advantage of the synergy, in terms of inputs and methodologies used, to obtain potential scenarios of use.

Keyword:

land use suitability, Modified Cervatana Methodology, Delphi Method, Geographic Information System, Multicriteria Analysis.

Introducción

Partiendo de la premisa de que un desarrollo sostenible se basa en definir proyectos viables haciendo énfasis en la reconciliación entre el bienestar económico, los recursos naturales y la sociedad, en la que también se puede desarrollar metodologías alternativas en la determinación del uso del suelo, en un marco de la preservación de la biodiversidad, determinando escenarios de ocupación del suelo óptimos (Ramos-Reyes, 2016).

En esta búsqueda se hace necesario la utilización de metodologías modernas de evaluación de aptitud de uso del suelo, apoyadas en tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), metodologías matemáticas de decisión como el Análisis Multicriterio (AM), que coadyuvan al mejoramiento sustancial en los resultados óptimos esperados en este tipo de investigaciones en comparación con los métodos de cálculo de aptitud de uso tipo FAO.

El problema de investigación planteado en este trabajo se focaliza en la búsqueda de escenarios óptimos para la aptitud de uso de la tierra, enmarcados en el desarrollo sostenible, basado en el análisis comparativo entre los resultados obtenidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2013b), en su proceso de evaluación de aptitud de tierras donde se utilizó la metodología para evaluación de tierras (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1985), modificada y adaptada por el IGAC y la metodología desarrollada en este trabajo de investigación, la cual corresponde a la Metodología Cervatana Modificada (MCM) (De la Rosa et al, 2009), donde su fundamento es la definición general del uso de las tierras basado en nueve variables biofísicas, apoyado en el SIG, el Análisis Multicriterio y el apoyo conceptual de expertos en el tema a través del método Delphi.

La búsqueda de escenarios óptimos mediante la utilización de metodologías alternativas, pretende generar información que pueda ser usada como resultados principales de aplicación directa en la planificación o en su defecto ser un aporte complementario a los resultados oficiales desarrollados por las instituciones responsables del tema, o cualquier otra entidad pública o privada que requiera dicha la información.

Metodología

La metodológica utilizada en esta investigación, tuvo como objetivo principal realizar un estudio comparativo de los resultados de aptitud de uso del suelo con énfasis agrícola, entre los estudios realizados para el tema por el IGAC en 2013 desarrollado con la metodología de la FAO (1985) y la metodología desarrollada en este trabajo de investigación basado en la MCM.

Esta investigación buscó, de una forma teórica, de acuerdo a los resultados de comparación, cuantificar y corroborar que la utilización de metodologías alternativas no FAO como la MCM, con el apoyo del uso del SIG (ArcGis 10.3), metodologías matemáticas de decisión como AM y las recomendaciones de expertos aplicando el método Delphi, generar resultados óptimos para los escenarios de producción agrícola en el marco de la sostenibilidad ambiental, como ya se había mencionado.

Los SIG apoyaron todo el desarrollo cartográfico y de análisis de toda la información involucrada en la investigación, el uso del AM se utilizó para la síntesis de sus cuatro factores finales: pendiente, suelo, riesgo de erosión y deficiencia bioclimática, realizando tabulaciones cruzadas para su definición, también se hizo uso del SIG con fines de procesamiento de la información. Otro aspecto fundamental fue las reuniones con el panel de expertos utilizando el método Delphi, cuyo objetivo fue evaluar discutir, evaluar y definir las diferentes combinaciones posibles en la evaluación de la matriz de los nueve factores biofísicos, donde el producto fue una matriz resumida donde la información presentada fueron: las categorías de uso, las diferentes agrupaciones definidas en el Metodología Cervatana Modificada y sus diferentes usos principales definidos, también un segundo producto importante fue la conformación del listado de los tipos de utilización (cultivos) más adecuados para implementar en la zona de estudio.

Finalmente, con base en los resultados del proceso de comparación y del inventario de cultivos, resultado de la participación del grupo de expertos, se analizaron, evaluaron y desarrollaron unas recomendaciones generales de implementación de actividades productivas agrícolas en la zona de estudio.

Es importante resaltar que esta metodología se concentra en los aspectos biofísicos, agroclimáticos, de optimización en la producción y la conservación del medio ambiente, y su objeto es ofrecer la base esencial necesaria para una buena planificación, sobre la cual pueden apoyarse más tarde consideraciones económicas y sociales más detalladas.

Área de estudio

La zona de estudio, comprende una extensión de 443560,69 ha. Esta se encuentra localizada entre las coordenadas: 4° 50' 29,05" norte, 4° 3' 34" sur, -71°44,23" este y -72° 3' 52" oeste. Comprende una franja ubicada hacia el nororiental del municipio de Puerto Gaitán (Meta) que limita al norte con el río Meta, al oriente con el departamento del Vichada, al occidente con la vía que conduce hacia Rubiales a partir del punto llamado Alto de Neblinas y al sur con la altillanura disectada, llamada comúnmente serranía. Como se puede observar en la Figura 1.

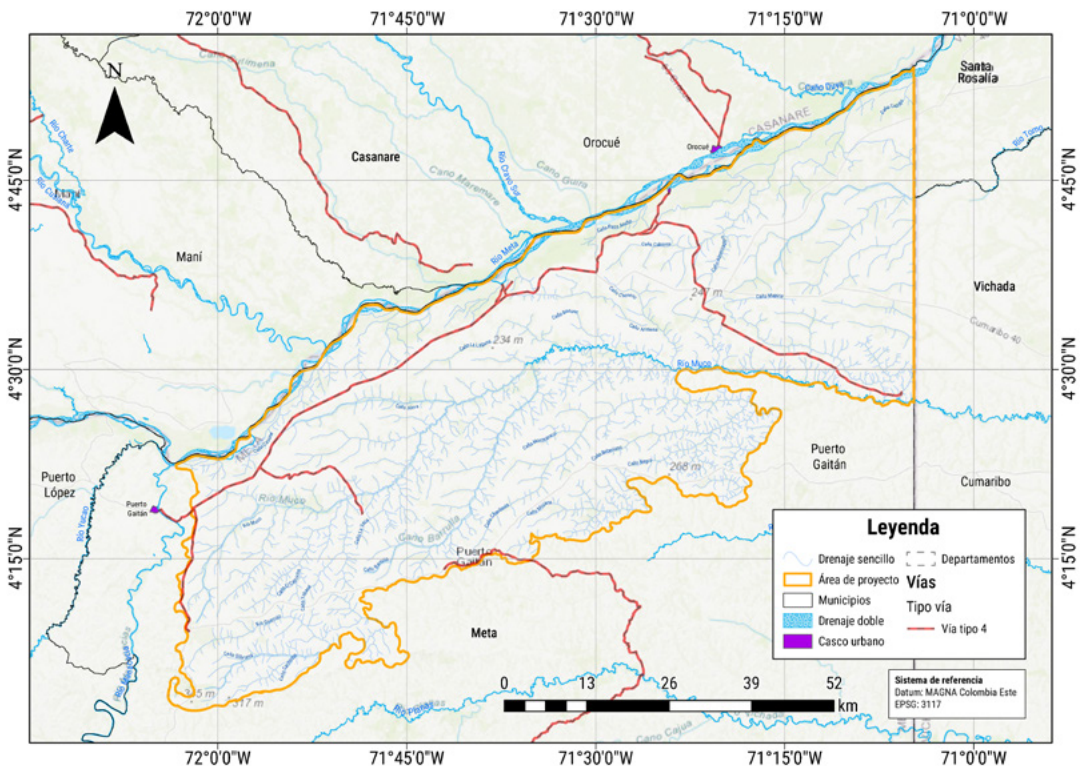
Desarrollo de la metodología general de la investigación

A continuación, se presenta la metodología implementada en la investigación como se puede observar en la Figura 2 y se enumera a continuación.

1. Consulta, revisión y adecuación de la información del estudio de aptitud de uso (IGAC, 2013b).
2. Consulta, revisión y definición de metodologías de aptitud de uso a utilizar, y definición de método a modificar e implementar.
3. Revisión y preparación de información de estudios de suelos y evaluación de aptitud de uso, disponible en el IGAC y otra información como insumos en el desarrollo de la metodología de esta investigación.
4. Evaluación de la ocupación del suelo MCM. (De la Rosa et al., 2009).
5. Proceso de comparación entre los resultados de las dos metodologías.
6. Recomendaciones generales basados en los resultados del proceso de comparación en cuanto a propuestas en los escenarios de AU agrícola, con base en las recomendaciones de cultivos modales y potenciales, definidos por el panel de expertos que participo en la investigación.

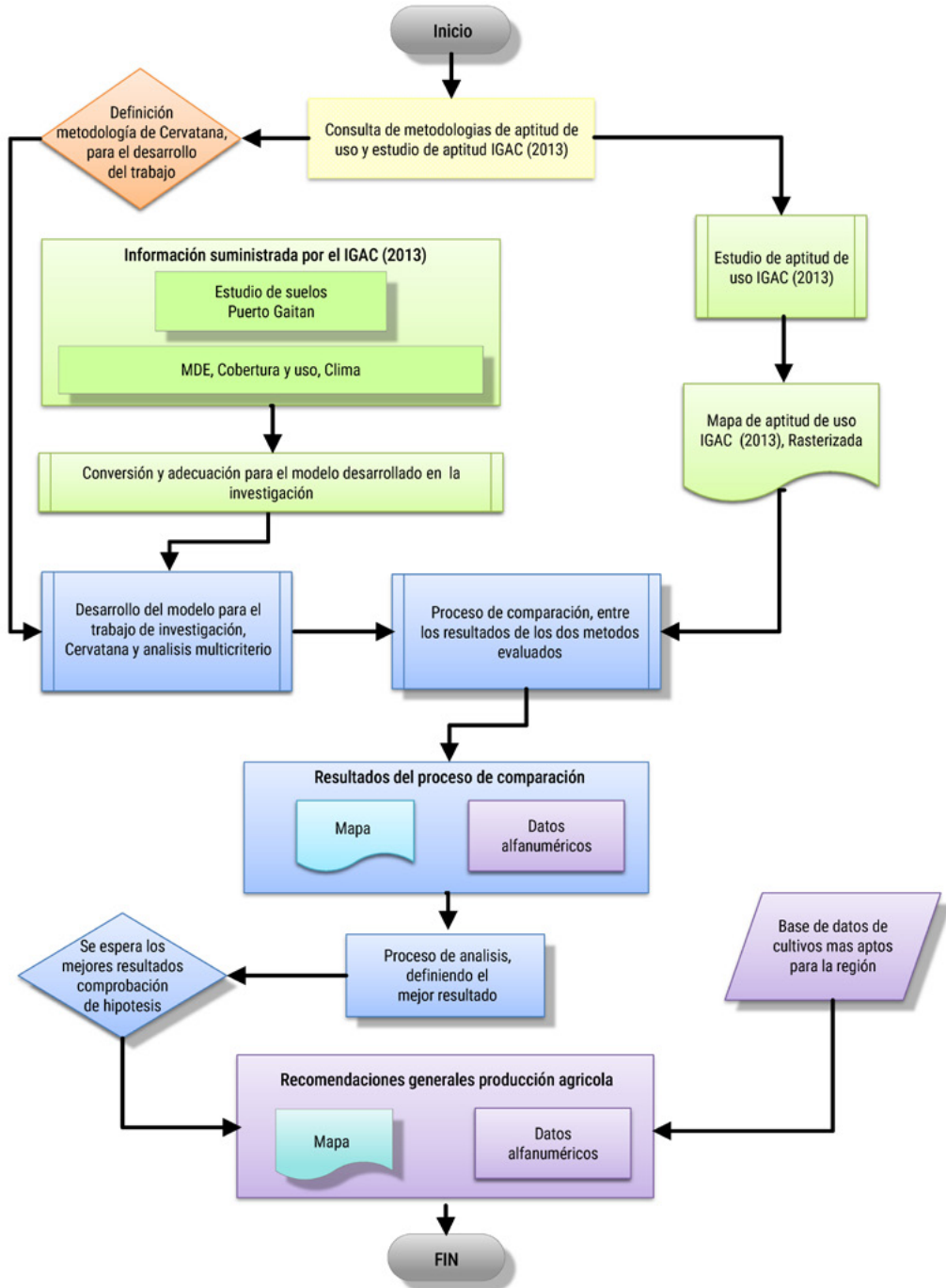
Consulta, revisión y adecuación del estudio de aptitud de uso La primera etapa desarrollada en la investigación fue revisar los resultados de la evaluación de la aptitud de las tierras desarrollado por el IGAC en 2013. Con el fin de analizar y estructurar esta información

Figura 1 - Localización área de proyecto



Fuente: elaboración propia con base en el igac, 2013a.

Figura 2 - Metodología general detallada



para el desarrollo del proceso de comparación. El IGAC determinó la aptitud de uso del suelo para la zona plana del municipio de Puerto Gaitán - Meta, como ya se había mencionado tomando como base de desarrollo de su estudio la metodología FAO (1985), donde una de sus principales definiciones de Unidad de aptitud de uso (UAU), esta es la capacidad de una unidad de tierra para una clase especificada de utilización, información homologable con la MCM.

Básicamente se revisó la información de las memorias técnicas en conjunto con la correspondiente cartografía, se tomó el campo en la tabla de la capa geográfica denominado Capacidad y con ayuda del SIG se conformó el shape para esta información, cuyo resultado se puede apreciar en la Figura 3.

Esta capa de información requirió un proceso adicional, el cual consistió en la homologación y recodificación de la información, de acuerdo a la MCM, en cuanto a los parámetros limitantes de los UAU. Se aplicaron los cambios a la capa en cuestión de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1 - Homologación y recodificación de la información, de acuerdo a la MCM

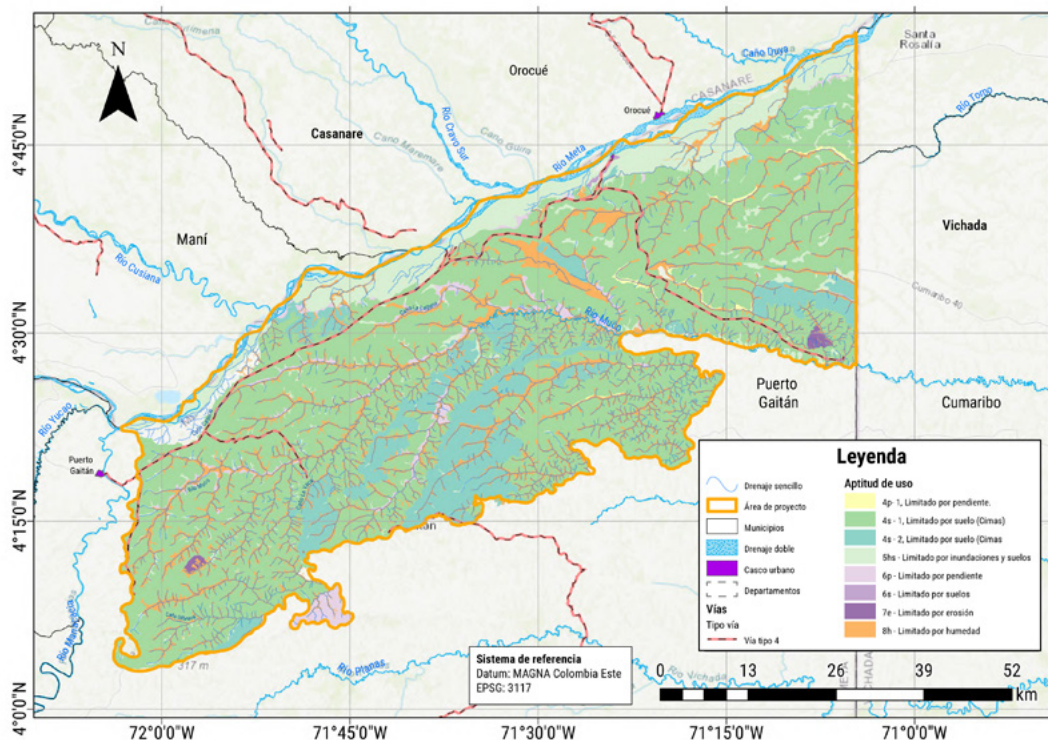
Limitante	Código IGAC	Código Cervatana Modificada
Topografía	m	t
Erosión	e	r
Suelo	n	l
Clima	No fue considerado	b

Fuente: IGAC, 2013a.

Consulta, revisión y definición de metodologías de evaluación de tierras a utilizar

En una segunda etapa en el desarrollo de la investigación, se realizó una revisión bibliográfica en el tema de las metodologías de evaluación de tierras, aptitud de uso del suelo con fines de producción agrícola y clasificación de suelos.

Figura 3 - Mapa de aptitud de uso



En este orden de ideas finalmente se decidió utilizar el esquema metodológico de evaluación de la aptitud de uso de suelo, el Metodología Cervatana modificada (De la Rosa et al., 2009). Este método está basado en una evaluación de la capacidad general de uso, que se entiende como la aptitud de los suelos para una serie de usos.

Técnicamente esta metodología en su desarrollo se apoya en el uso del Análisis Multicriterio Método (cualitativo) para la síntesis de sus cuatro factores finales: pendiente, suelo, riesgo de erosión y deficiencia bioclimática, realizando tabulaciones cruzadas para su definición, también haciendo uso del SIG con fines de procesamiento de la información, resultando una plataforma metodológica de manejo y análisis de información temática y geográfica robusta y de muy alto nivel.

Revisión y preparación de información IGAC y otras fuentes de información para el desarrollo del Metodología Cervatana Modificada desarrollado en la investigación

En el desarrollo de esta investigación se utilizaron diversos materiales y fuentes de información geográfica y un inventario de cultivos consolidado, de acuerdo a la recomendación de los expertos, con fines de producción en la zona de estudio. La gran mayoría de insumos (estudios y cartografía) fueron suministrados por el IGAC, pero también se utilizó información para el tema de erosión, tomada del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) estudio desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en los años 2010 y 2011, estudio de suelos semidetallado (IGAC, 2013a), MDE, Mapa de cobertura y uso y distribución espacial de precipitación y evapotranspiración (Total anual) para el municipio de Puerto Gaitán y Mapa de zonificación de los suelos por grado de erosión escala 1:50.000 para Colombia (IDEAM, 2011). En general toda esta información se procesó en formato ráster con una estandarización de 20 x 20 m, en resolución espacial para todas las capas trabajadas en la investigación.

Para el tema de suelos se tomaron los parámetros de: profundidad efectiva, textura del suelo, pedregosidad y drenaje, para la conformación final del parámetro suelo dentro del MCM. Adicionalmente se derivaron los mapas de erodabilidad basado en el método de Paulet (1973), el cual se basa para su cálculo en tres parámetros de suelo: % de arena, % de limo y la densidad aparente dada en (g/cm^3), Y la capa de limitantes para la producción agrícola, definidos en la metodología y están discriminados de la siguiente manera, limitantes por: pendiente, erosión, suelo y por clima. Enseguida dentro del procedimiento como resultado final de esta etapa, se crearon seis capas en formato ráster.

El mapa de pendientes fue resultado del procesamiento del MDE, examinando las diferencias de altitud entre cada pixel central y la de cada uno de sus vecinos, calculando el gradiente de la pendiente máxima, en porcentaje, en las dos direcciones básicas: norte-sur y este-oeste (Intergraph, 1994). La información de uso y cobertura se procesó de acuerdo a los parámetros de reclasificación con el fin de generar el mapa densidad de la vegetación contemplados en el MCM. Se realizó un proceso de reclasificación de acuerdo con el porcentaje de cobertura de cada una de sus categorías o la fracción de superficie cubierta por cada tipo de vegetación. La información utilizada para la distribución

espacial de precipitación y evapotranspiración (total anual), fue suministrada por el IGAC, en las capas de información geográfica de distribución espacial de precipitación y evapotranspiración potencial total anual, en su versión del año 2013.

El desarrollo del factor de deficiencia bioclimática para efectos de la investigación, fue basado en los conceptos expresados por Thornthwaite (1948), donde se define que la ETP es un parámetro climático que se analiza a partir del balance hídrico y permite determinar las pérdidas de agua desde una superficie de suelo. La información para el desarrollo del mapa de erosión se desarrolló a partir de la información encontrada en el sitio web del gobierno colombiano: <http://www.siac.govco/catalogo-de-mapas>. En su estudio denominado Zonificación de los suelos por grado de erosión, elaborado por el IDEAM entre los años 2010 y 2011.

Seguidamente se tomó la información de erosión encontrada en el estudio del IDEAM, 2010 – 2011, para la zona de proyecto, se reclasificó de acuerdo a los parámetros establecidos en el Modelo Cervatana Modificado en su factor de erosividad de acuerdo a los rangos establecidos.

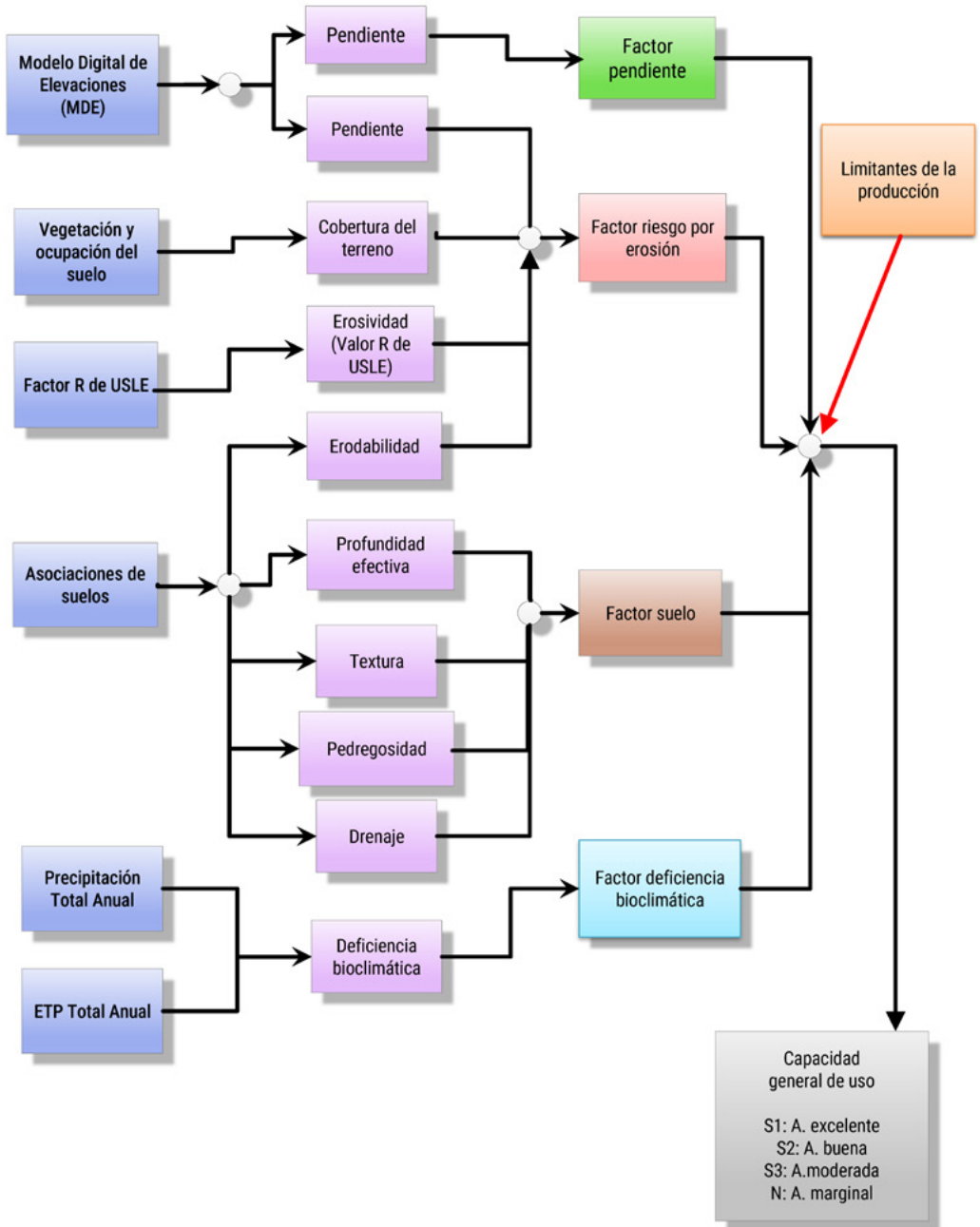
Evaluación de la ocupación del suelo MCM

Metodológicamente se decidió utilizar el método propuesto por Cervatana (De la Rosa et al., 2009), de acuerdo a los objetivos definidos en esta investigación y después de estudiar, analizar diversas metodologías enfocadas a la determinación de áreas o zonas de aptitud de uso del suelo con fines agrícolas, se definió que la MCM es la más adecuada porque esta resulta ser novedosa, moderna, acorde con las nuevas tecnologías como los SIG, está incluida la implementación del AM y también considera la participación de expertos en el desarrollo del mismo, mediante el uso de la metodología Dephi. Adicionalmente tiene características y aspectos técnicos y de similitud que facilitan el proceso de comparación con los resultados del estudio de aptitud de uso de los suelos desarrollado por el IGAC en el 2013.

Se denominó “modificada” la MCM, porque no se tuvieron en cuenta dos aspectos de la metodología Cervatana original: el tema de riesgos de heladas, en el tema de la deficiencia bioclimática, ya que, en esta latitud del planeta, no se presenta este fenómeno climático y segundo tema descartado, en el para los suelos, fue la salinidad, ya que no se contó en el momento con esta información en el estudio de suelos del (IGAC, 2013a). El propósito de esta metodología como ya se había mencionado fue definir la capacidad general de uso, entendida como la aptitud de los suelos para una serie de usos como: la agricultura, la silvicultura y las funciones ambientales de protección y de conservación. Esta metodología es el resultado de la síntesis de cuatro factores: pendiente, suelo, riesgo de erosión y deficiencia bioclimática. Cada uno de estos factores se han obtenido, a su vez mediante la agrupación de los valores de nueve variables biofísicas: pendiente, cobertura del suelo, erosividad, erodabilidad, profundidad efectiva, textura, pedregosidad, drenaje y deficiencia hídrica y también será incorporado el factor de limitantes de la producción agrícola, como se puede observar en el diagrama de flujo presentado en la Figura 4

Un primer paso en el desarrollo de la Metodología Cervatana Modificada, dentro del desarrollo de la investigación, fue convertir

Figura 4 - Metodología Cerratana modificada implementado en la investigación



Fuente: adaptada de De la Rosa et al., 2009.

de formato vector a ráster los nueve mapas base: pendiente, uso y cobertura, erosividad, erodabilidad, profundidad efectiva del suelo, textura del suelo, pedregosidad del suelo, drenaje del suelo y deficiencia bioclimática, esta información se convirtió en la base para la definición de los cuatro factores finales de la MCM, usando un tamaño común de celda de 20 x 20 m de resolución espacial. Cada celda sirve como unidad geográfica de referencia, considerándose homogénea desde el punto de vista biofísico (De la Rosa et al, 1992).

Una segunda fase en la aplicación de la Metodología Cervatana Modificada, consistió en convertir los valores de cada una de las variables (mapas) en una escala común de medida, mediante un proceso de reclasificación. Tomando como directriz general, la asignación de valores iniciales en cada variable con una escala ordinal que va desde el valor 1, cuando no existen limitaciones, hasta 2, 3 o 4, cuando coexisten las limitaciones máximas. Como se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2 - Valores finales clasificación Método Cervatana Modificada

Capas de información	Rangos	Valor de reclasificación (Ráster)
Pendiente	< 7%	Clase 1
	7 - 15%	Clase 2
	15 - 30%	Clase 3
	> 30%	Clase 4
Uso y cobertura	> 30% (Elevada)	Clase 1
	30 - 15% (Moderada)	Clase 2
	< 15% (Ligera)	Clase 3
Erosividad (Valor R de USLE)	< 250 (Ligera)	Clase 1
	250 - 300 (Moderada)	Clase 2
	300 - 375 (Fuerte)	Clase 3
	> 375 (Muy fuerte)	Clase 4
Erodabilidad	0,03 - 0,5 (Ligera)	Clase 1
	0,5 - 0,8 (Moderada)	Clase 2
	> 0,8 (Elevada)	Clase 3
Profundidad efectiva	> 75 cm (Elevada)	Clase 1
	(50 - 75 cm) Moderada	Clase 2
	(25 - 50 cm) Escasa	Clase 3
	< 25 cm (Somera)	Clase 4
Textura del suelo	Arcillosos	Clase 1
	Limosos	Clase 2
	Arenosos	Clase 3
Pedregosidad del suelo	Nula o ligera (< 15%)	Clase 1
	Ligera a moderada (15 - 40%)	Clase 2
	Elevada (> 40%)	Clase 3
Drenaje del suelo	Bueno	Clase 1
	Moderado	Clase 2
	Pobre o Excesivo	Clase 3
Deficiencia bioclimática	=> 1	Clase 1
	1 - 0,5	Clase 2
	0,5 - 0,33	Clase 3
	=< 0,33	Clase 4

La MCM, que está fundamentada y articulada como una Capacidad General de Uso (CGU), busca de una forma teórica el escenario más promisorio desde el punto de vista biofísico. En el desarrollo de esta investigación, los resultados de la aplicación de esta metodología se convirtió en el segundo insumo, que sirvió para desarrollar el proceso de comparación contra los resultados obtenidos en el estudio (IGAC, 2013b) homologada en su simbología de acuerdo a la MCM adoptado en la investigación, y de acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de comparación, se establecieron unas recomendaciones generales en el aspecto productivo agrícola, tomando los cultivos más promisorios en la zona de estudio, los cuales fueron determinados bajo la metodología Delphi, con los expertos que participaron en el desarrollo de la investigación. Al final del proceso, se integraron en un mapa o salida cartográfica,

la cual fue obtenida mediante el procesamiento SIG con la ayuda del ArcGis (10.3), desarrollando el AM, propuesto en el proceso metodológico de la investigación, operado con la ayuda del comando de ArcGis (10.3) Weighted Overlay, el cual está diseñado para implementar, desarrollar y evaluar diversas posibles soluciones a un determinado problema, considerando un número variable de criterios, involucrando insumos cartográficos en formato ráster.

Metodología de AM, utilizada en la investigación

En el desarrollo de la investigación se utilizó el Análisis Multicriterio (cualitativo), el cual está enmarcado en los métodos compensatorios aditivos. Este método de forma sistémica obtiene una compensación total entre los factores que forman parte de la combinación. Según Eastman (2000), a su vez se obtiene una compensación total entre los factores previos que formaron parte de las combinaciones iniciales del proceso. Los valores máximos de las variables y factores limitantes son dominantes porque establecen restricciones físicas importantes para la determinación del uso de la tierra, y al final determinan la aptitud de uso optimizada en el área de proyecto.

En cuanto al procesamiento SIG, en esta etapa de la investigación fueron utilizados muchos procedimientos de ArcGis (10.3) como: clips, intercepciones y manejo de las tablas adjuntas de las capas. Para ilustrar el procesamiento se muestra el pantallazo del proceso llevado a cabo para el parámetro suelo, en el software ArcGis (10.3) con su comando (Weighted Overlay), esto se muestra en la Figura 5.

Con fines de ilustrar el proceso se definió como M la variable entera que toma el valor ponderado de los cuatro factores (pendiente, riesgo por erosión, suelo y deficiencia bioclimática); Cada uno de los cuatro factores de entrada se denominaron como: i1 = factor pendiente; i2 = factor riesgo de erosión; i3 = factor suelo; i4 = factor de deficiencia bioclimática, para la definición de la variable final resultado de las 4 nombradas anteriormente con el uso del SIG. Obteniendo M como el nuevo valor de salida a los píxeles de la capa de aptitud de uso del suelo para el metodología adoptado en la investigación, para fines agrícolas y de sostenibilidad.

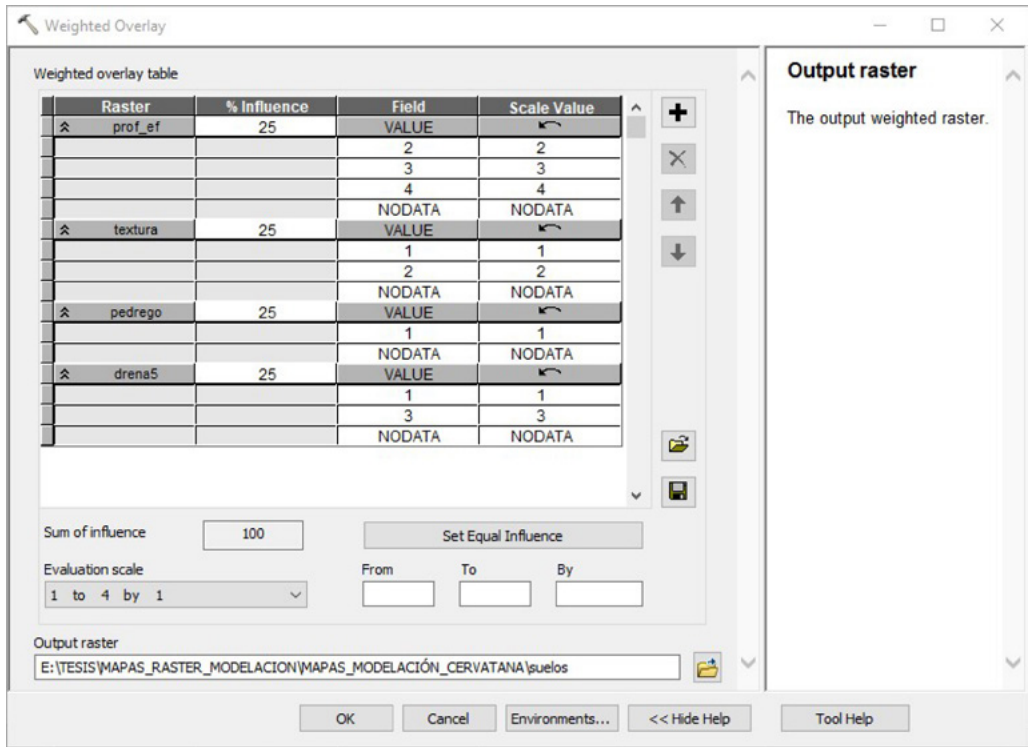
De esta forma, cada pixel tiene un valor final de estimación del proceso de AM, comprendido entre: 1 (mayor capacidad de uso de los suelos y menores limitaciones) y 4 (menor capacidad general de uso como consecuencia de mayores restricciones biofísicas), como se puede detallar en la Tabla 3.

Tabla 3 - Calificación final del MCM, para los 4 factores

1 no hay limitaciones
2 limitaciones leves
3 limitaciones medias
4 limitaciones máximas

Como ilustración del procesamiento del AM, desarrollado con el SIG con ayuda del comando (Weighted Overlay de ArcGis 10.3), se muestra en la Figura 6, un ejemplo de las posibles combinaciones de los factores en nueve unidades de tierra o píxeles imaginarios. Cada celda del mapa final del Metodología Cervatana Modificada toma el valor ponderado de los cuatro factores integrados (pendiente "e", riesgo de erosión "r", suelo "t" y deficiencia bioclimática "b"). Así, por ejemplo, el píxel superior izquierdo de la matriz no tiene ninguna limitación de uso derivada de la pendiente, el riesgo de erosión o el suelo. Sin embargo, sí tiene un déficit bioclimático moderado (valor

Figura 5 - Pantallazo procesamiento en Arcgis (10.3) para el factor suelo



2), como resultado de la escasez de agua en esa unidad tierra. En el mapa de final para la Metodología Cervatana Modificada, esta celda tiene un valor de 2. El valor 1 de este mapa final es equivalente a la clase S1 según De la Rosa et al., (2009).

Esto indica una excelente aptitud de uso. El valor 2 (s2) muestra una buena aptitud de uso del suelo, el valor 3 (s3) una capacidad de uso moderada y el valor 4 (clase n) una capacidad marginal.

Cada dígito de la clase va seguido de uno o varios identificadores (en letras minúsculas) de la subclase o subclases a las que pertenece cada pixel. Estos identificadores indican el factor o factores

que limitan, negativamente, los resultados de la modelación de aptitud de uso de esta unidad de tierra. Si el factor limitante es la topografía, la letra (t) acompañara a la clase. Si el factor limitante es la capacidad de riesgo de erosión, la letra que acompaña a la clase es (r). Si el elemento limitante es el suelo, la letra adjunta es (l). Por último, si la deficiencia bioclimática es la causa de la limitación la letra (b) será agregada. En el caso de que varios factores limitantes estén presentes a la vez, una celda puede ser designada por una clase y varias subclases, colocadas estas en orden de mayor a menor limitación. Como se puede apreciar en la Tabla 4.

Figura 6 - Ejemplo de combinación de factores Metodología Cervatana Modificada

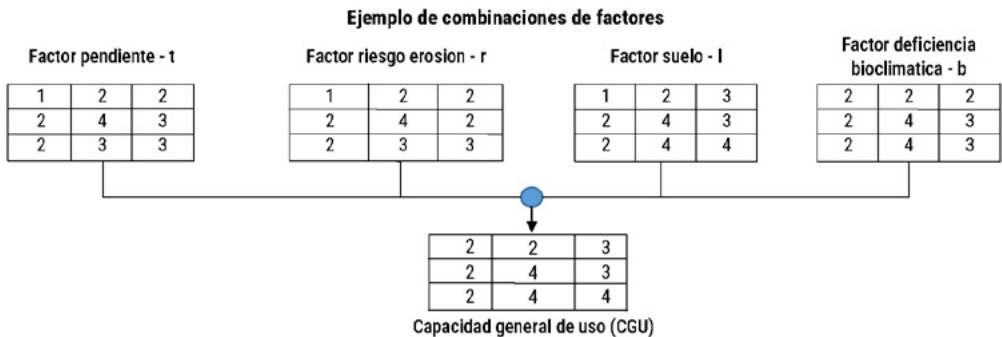


Tabla 4 - Calificación final del Metodología Cervatana Modificada, para los cuatro factores

S1- Aptitud Excelente
S2 - Aptitud Buena
S3 - Aptitud Moderada
N - Capacidad Marginal

Desarrollo de reunión con expertos (metodología Delphi) Otra importante actividad desarrollada en la investigación como un proceso transversal al resto de procesos, fue el aporte de los expertos en el área de suelos y otras especialidades con el fin de mejorar y orientar de una forma más óptima la toma de decisiones en la investigación, se desarrollaron una serie de reuniones con un panel de expertos en diferentes áreas, con el fin de evaluar el grado de adecuación de los UAU y el listado de cultivos más apropiados y adaptables a la región (inventario de cultivos), después del proceso de comparación entre los resultados de las dos metodologías, este listado se convirtió en la base de datos que entra a participar en la fase de recomendaciones generales en cuanto al tema de producción agrícola en su establecimiento teórico productivo en la zona de estudio propuesta en esta investigación.

Como ya se había mencionado en toda esta fase de desarrollo de la investigación se utilizó el Método Delphi (Listone, H. A. y Turoff, M. [eds], 1975). El panel multidisciplinario de expertos del IGAC estuvo conformado por un grupo interdisciplinario de profesionales compuesto por disciplinas como: geografía, geología, agronomía, ingeniería agrícola y agrología.

Como resultados importantes en el trabajo desarrollado con el panel de expertos se tiene la evaluación de las múltiples combinaciones posibles de uso del suelo, convirtiéndose este producto en la estructura de clasificación conformada por una matriz resumida donde la información principal presentada son: las categorías de uso, las diferentes agrupaciones definidas por el método Cervatana modificada y los diferentes usos principales definidos por los expertos, basado en la metodología de levantamientos de suelos, en su tema de clases agrologicas (IGAC, 2011), donde su clasificación es la siguiente: cultivos transitorios intensivos (CTI), cultivos transitorios semi intensivos (CTS), cultivos permanentes intensivos (CPI), cultivos permanentes semintensivos (CPS), pastoreo intensivo (PIN), pastoreo semintensivo (PSI), pastoreo extensivo (PEX), sistema agrosilvopastoriles (ASP), sistema silvopastoril (SPA), sistema forestal productor (FPD), sistema forestal protector (FPR) y áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza (CRE). El resultado de esta matriz se puede apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5 - Matriz homologación entre símbolos las categorías de uso, las diferentes agrupaciones definidas por el Método Cervatana Modificada y los diferentes usos principales definidos por los expertos

Categorías	Capacidad de uso Método Cervatana Modificada	Usos principales del suelo
Usos compatibles	S1	CPI
	S2, S3	CPI, CTI o CTS
	S3 (l)	CTS, CPI o CPS
	S3 (l y/o b)	PIN, PEX, AGS, ASP o SPA

Categorías	Capacidad de uso Método Cervatana Modificada	Usos principales del suelo
Usos compatibles con aplicación de ciertas prácticas de conservación	S2 y/o S3 (t y/o r)	AGS, ASP, SPA, FPR
Usos moderadamente incompatibles	S3 (l)	CPS, AGS o FPD
	S3 (b)	AGS o FPD
	N	AGS, FPD o FPR
Áreas de usos altamente incompatibles	N	AGS
Áreas degradadas a restaurar	N	CRE o FPR
Áreas no evaluadas		Áreas urbanas y zonas rocosas

Fuente: esta tabla es resultado de la reunión con expertos Metodología Delphi.

También, otro producto muy importante resultado de las reuniones y análisis de la información obtenida en las reuniones con los expertos bajo la Metodología Delphi, fue la selección y recomendación de los cultivos más óptimos con el fin de evaluar y recomendar en las áreas de aptitud de uso del suelo resultado del proceso de comparación entre las dos metodologías. A continuación, se presentan el grupo de cultivos seleccionados, agrupados por usos principales basados en la metodología de levantamiento de suelos para clases agrologicas (IGAC, 2011). Ver Tabla 6.

Tabla 6 - Cultivos recomendados por expertos

Usos principales del suelo	Cultivos recomendados expertos
CTS	Soya, caupi, maní, maní forrajero, sachá inchi y yuca arroz de secano, maíz, sorgo dulce, caña de azúcar, soya, piña, maní forrajero, cítricos, plátano, yuca, maní, toronja, naranja tanguelo, mandarina y lima jafrofa.
CPI	Caucho, palma de aceite, pasto toledo CIAT 26110 (Brizantha Toledo), pasto amargo (Brachiaria decumbens), pasto dulce (Brachiaria humidicola) y el pasto llanero (Brachiaria dactylostea), mango y marañón.
PEX	Pastos paja peluda o pasto saeta (Trachypogon vestitus)
FPD, FPR	Acacia (Acacia mangium Wild), Eucalipto (Eucalyptus grandis. var. pellita), Pino (Pinus caribaea var. hondurensis)

Posteriormente a la creación del inventario de cultivos recomendada por los expertos, se establecieron los criterios base en la determinación de los cultivos más aptos de acuerdo a los resultados más óptimos de cada UAU determinada para la producción agrícola en el marco de la sostenibilidad ambiental del territorio. Básicamente el criterio principal definido para el desarrollo del análisis de asignación de cultivos más aptos para las UAU más optimas de acuerdo al resultado de comparación entre las dos metodologías, fue establecer el punto óptimo entre el cruce de la oferta edafoclimática, representado en las características de las unidades de aptitud de uso más optimas y los requerimientos edafoclimáticos de los cultivos, información consignada en la ficha técnica de cada uno de ellos.

Proceso de comparación entre los resultados de las dos metodologías

Previamente al desarrollo del proceso de comparación entre las dos metodologías. Se realizó una intersección espacial entre las capas de: limitantes para la producción agrícola, obtenido del análisis y procesamiento de la información del estudio de suelos, específicamente de sus unidades cartográficas, memorias técni-

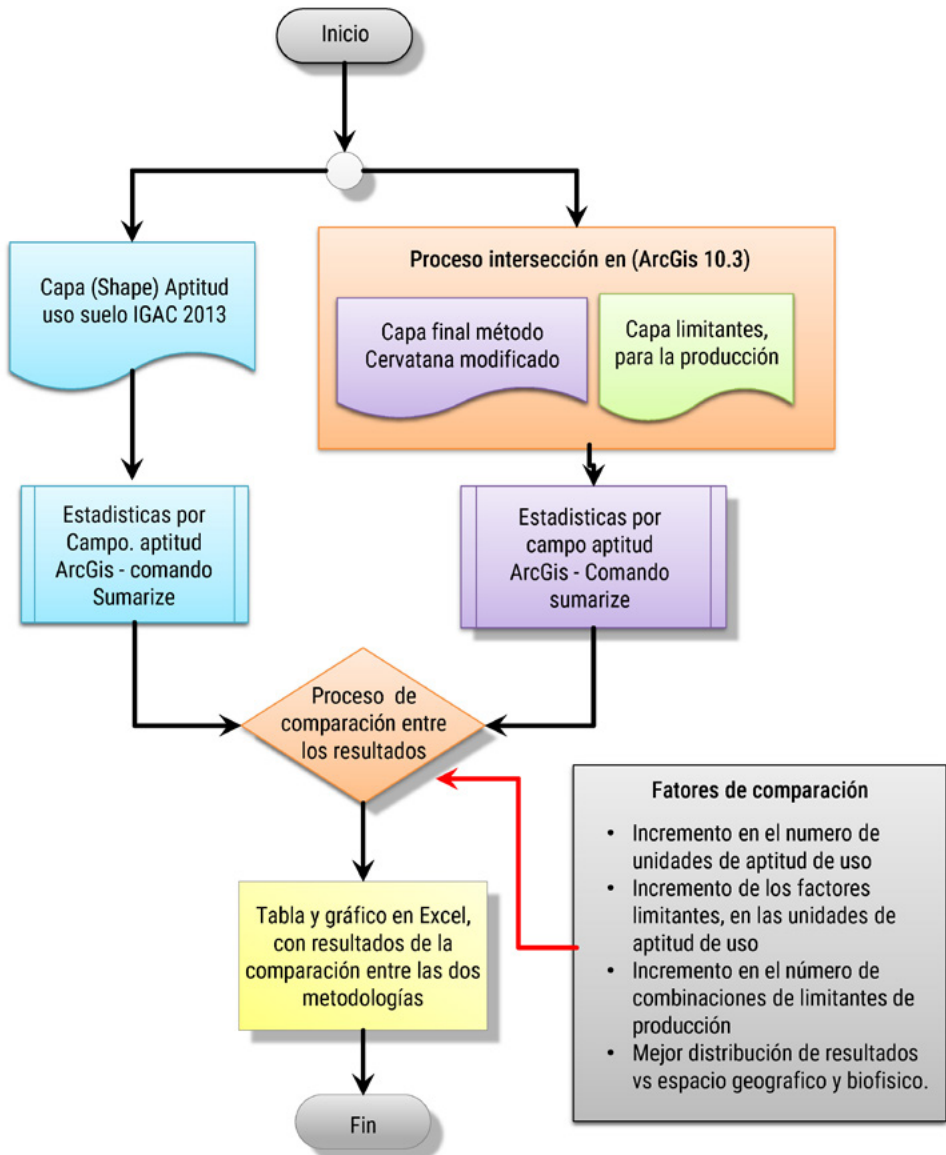
cas y de sus perfiles, que hacen parte del estudio de suelos (IGAC, 2013a) y el mapa resultado de la aplicación de la metodología AM (cualitativa) para los cuatro factores finales: pendiente, riesgo de erosión, suelo y deficiencia bioclimática.

Obtenidas las dos capas de información, insumos necesarios para el desarrollo del proceso de comparación, se procedió a realizar una comparación sistemática (tabulación cruzada) utilizando el

software ArcGis (10.3) y el Excel (versión 2013), como herramientas principales para el desarrollo de este proceso.

El diagrama de flujo presentando en la Figura 7 muestra la síntesis del proceso de comparación y los criterios que se tuvieron en cuenta para definir cuál de los dos métodos es el considerado como más óptimo y más adecuado para recomendar teóricamente, en la definición de aptitud de uso agrícola óptimo con principios de sostenibilidad.

Figura 7 - Esquema del proceso de comparación entre resultados



Resultados

Mapa de aptitud de uso, rasterización y codificado de acuerdo a la MCM

Este insumo se consolidó como el primer producto cartográfico para la ejecución del proceso de comparación entre las dos metodologías. En la Figura 8 se puede observar el mapa resultado, en la Figura 9 y la Tabla 7 sus estadísticas se muestran los resultados en porcentajes por calificación de uso codificada de acuerdo a MCM.

Tabla 7 - Resultados de área, porcentaje y calificación de aptitud de uso IGAC 2013, información reclasificada y homologada con codificación MCM

Ocupación de uso	Área (ha)	Porcentaje (%)	Aptitud
s2l	316.161,40	71,28	Aptitud media - limitación por suelo
s2t	1.668,98	0,38	Aptitud media - limitación por topografía
s3l	45.911,52	10,35	Aptitud baja - limitación por suelo
s3t	9.042,93	2,04	Aptitud baja - limitación por topografía
N	70775,85	15,96	Aptitud marginal
Total	443.560,6	100,00	

Figura 8 - Mapa de aptitud de uso IGAC 2013, homologado a códigos limitaciones MCM

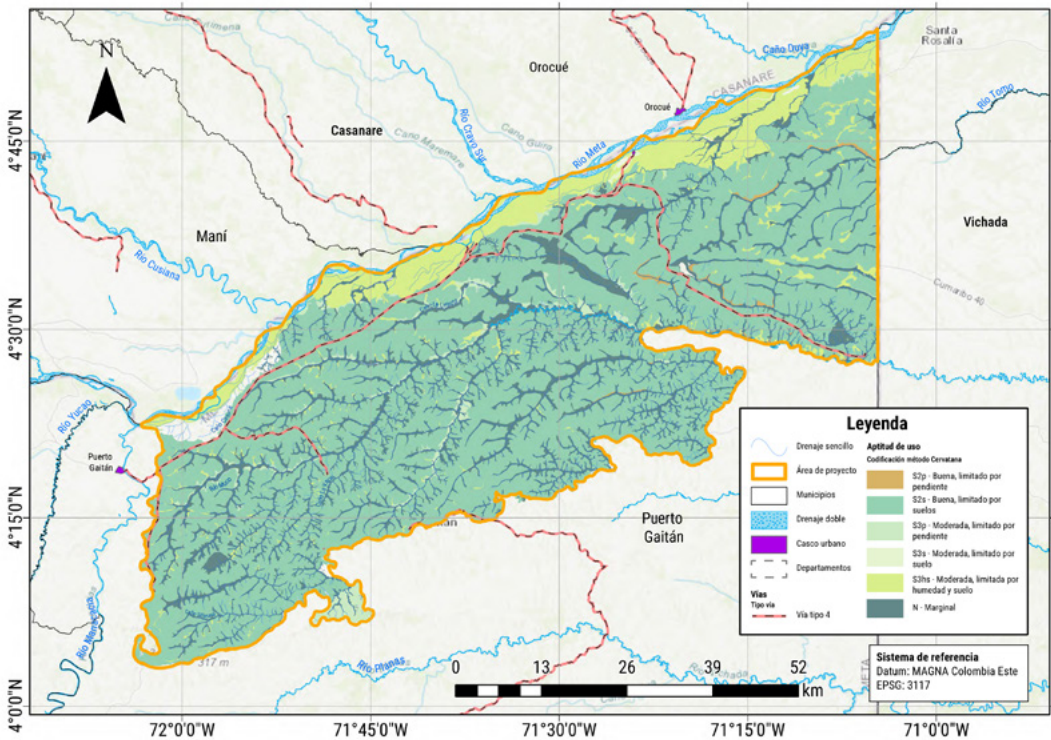
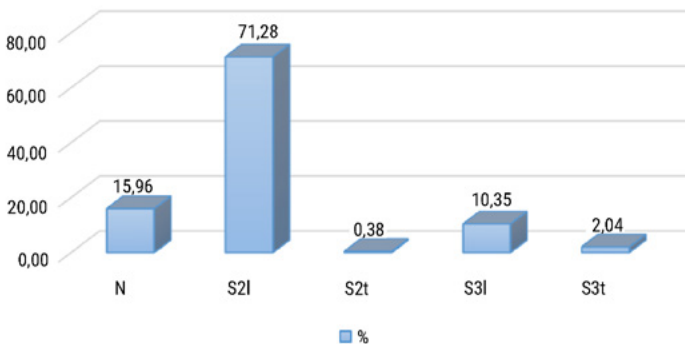


Figura 9 - Gráfico aptitud de uso (homologación), porcentajes (%)



El trabajo desarrollado por el igac en el 2013 presentó los siguientes resultados: se tiene que el orden con mayor porcentaje en área, dentro de la clasificación fue la s2 (aptitud buena), con un porcentaje de 71,66% con respecto al área total; siguiéndole en orden de mayor a menor n (capacidad marginal), con un porcentaje 15,96% con respecto al área total, y, finalmente, se tiene la orden s3 (aptitud moderada), con un porcentaje de 12,39% con respecto al área total de proyecto que corresponde a 443560,69 ha. También, es importante destacar que se identificó un solo un factor limitante por unidad de aptitud de uso y estas fueron: limitaciones por suelo

y limitantes por topografía, respectivamente para las unidades s2 y s3. Este resultado resulta muy importante, porque se convierte en un valor cuantitativo, para efectos del análisis en la investigación.

Resultados proceso final Método Cervatana Modificada

A continuación, se presentan el mapa, gráficos y estadísticas del proceso final Metodología Cervatana Modificado. En la Figura 10 se presenta su mapa y en la Figura 11 el gráfico, mostrando sus resultados por porcentaje. Y en la Tabla 8 sus correspondientes estadísticas organizadas por UAU.

Figura 10 - Mapa resultado MCM

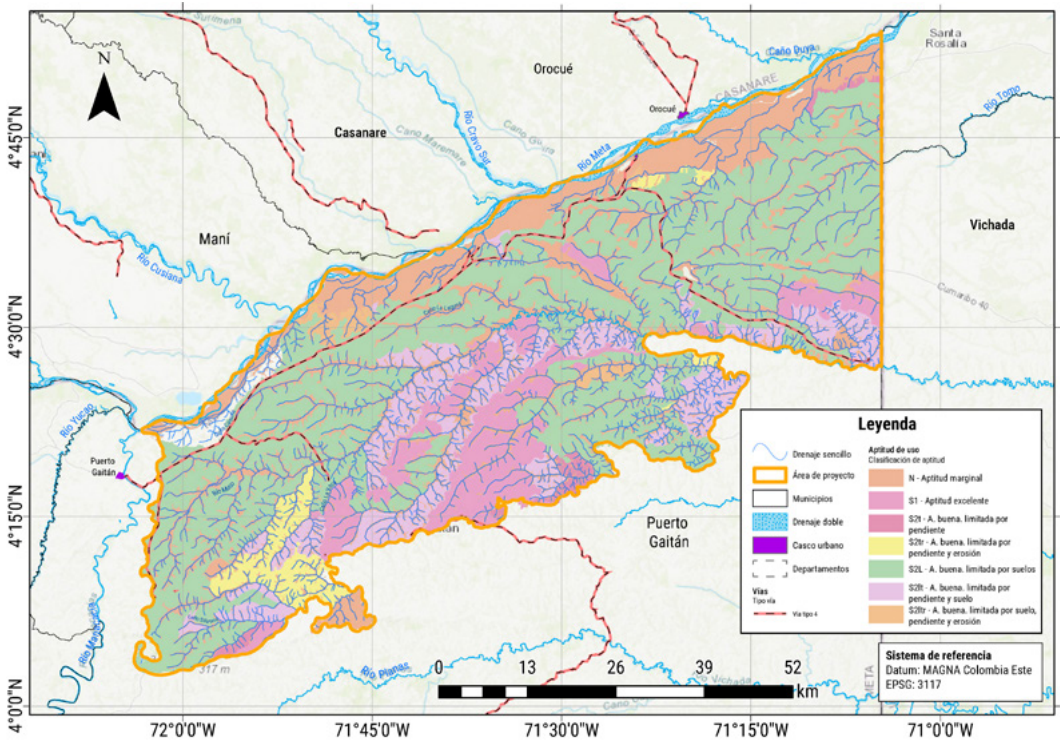


Figura 11 - Gráfico de aptitud de uso Método Cervatana Modificada, en porcentajes (%)

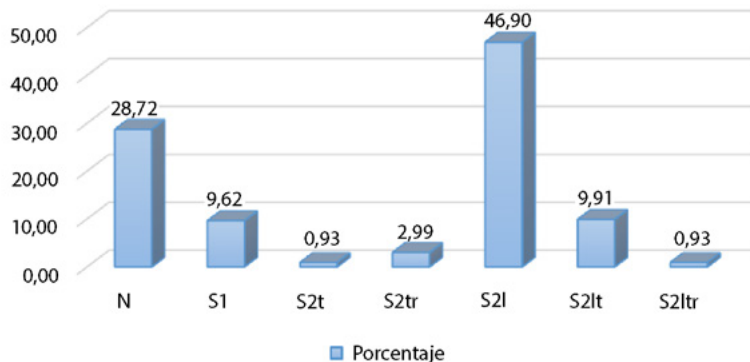


Tabla 8 - Resultados de área (ha), porcentaje (%) y calificación de aptitud de uso Metodología Cervatana modificada

Símbolo aptitud de uso	Área (ha)	Porcentaje (%)	Ocupación del suelo Aptitud - alta
S1	42656,60	9,62	Aptitud - media (Limitación por nutrientes)
S2t	4123,08	0,93	Aptitud - media (Limitación por pendiente y erosión)
S2tr	13272,92	2,99	Aptitud - media (Limitaciones por pendiente)
S2l	208.019,40	46,90	Aptitud - media (Limitaciones por pendiente)
S2lt	43945,36	9,91	Aptitud - media (Limitaciones nutrientes y por pendiente)
S2ltr	4.144,61	0,93	Aptitud - media (Limitaciones nutrientes, pendiente y erosión)
N	127398,72	28,72	Aptitud - marginal
Total	443560,60	100,00	

Los resultados de aptitud de uso de los suelos arrojados por la MCM encontraron siete UAU, que corresponden a las siguientes presentadas en un orden de mayor a menor de área en hectáreas, estas son: S2l, N, S2lt, S1, S2tr, S2ltr y S2l. Se obtuvo como máxima calificación la unidad S2l que esta denominada como, aptitud-media, con limitaciones por aspectos de pendiente, esta unidad tiene un área de 208.019,40 ha, equivalente a un 46,90% con respecto al total del área de estudio, continua la unidad Sque esta denominada como, aptitud marginal, lo especial de esta unidad es que la denominación de aptitud marginal es para las actividades productivas, pero tienen un gran potencial para actividades agroforestales, agrosilvícolas, bosques productores o bosques protectores.

Otro aspecto importante de los resultados arrojados por el MCM, es lo relacionado con su codificación en sus órdenes. De acuerdo a De la Rosa et al., (2009), se resalta que se obtuvieron tres órdenes de aptitud (S1, S2, N), que concuerda con la misma

cantidad con respecto a los arrojados por el IGAC (2013b), la gran diferencia radica en que se mejoró la aptitud del uso del suelo en términos de calidad productiva con la unidad S1, ya que se tiene un área importante de 42.656,60 ha equivalente al 9,62% del área total, en suelos con posibilidad de implementar cultivos transitorios y permanentes de gran valor económico.

Se tiene que para el orden de aptitud de uso N (capacidad marginal), con un área totalizada de este grupo de 127398,72 ha, equivalente a 28,72% con respecto al total del área de estudio. Estos resultados indican que, aunque el porcentaje mayor obtenido fue para S2 (aptitud buena), con un 61,66%, este tipo de aptitud de uso del suelo no es la más óptima dentro de los parámetros de la metodología adoptada en la investigación para el desarrollo productivo, tiene una amplia gama teórica de posibilidades en la implementación de escenarios productivos en el ámbito agrícola. Por otro lado, también se tiene una superficie importante clasificada como N (capacidad marginal), esta área a pesar de que está descartada para el tema productivo al 100% es una zona muy importante desde el punto de vista de la conservación.

Para el tema de los factores limitantes para la producción, el resultado de la identificación estos factores en el estudio adoptado en la investigación MCM muestra que para los resultados obtenidos se encontraron cinco grupos de limitantes de producción o en combinación entre los mismos, estos fueron: limitación por nutrientes, limitación por pendiente, limitación por pendiente y erosión, limitaciones por nutrientes y por pendiente y finalmente, limitaciones por nutrientes, pendiente y erosión.

Resultados de comparación entre las dos metodologías

A continuación, se presentan los gráficos y tablas de la comparación entre los resultados para las dos metodologías (Figura 12, Tabla 9). También, se muestra el número de unidades de aptitud de uso del suelo, obtenidos en cada metodología.

Figura 10 - Gráfico comparativo entre las dos metodologías, en porcentaje (%)

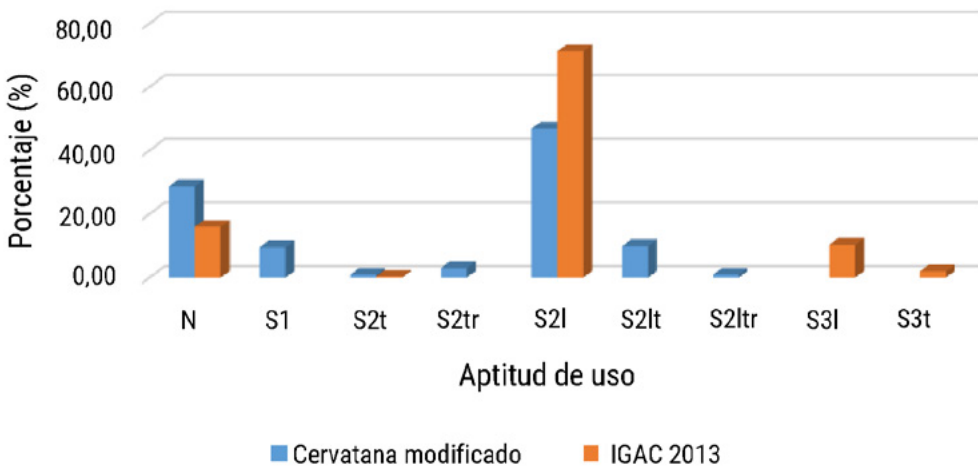


Tabla 9 - Número de unidades de aptitud de uso del suelo, obtenidos en cada metodología

Aptitud de uso		Metodología Cervatana Modificada	
S2	S2l	S2	S1
	S2t		S2tr
S3	S3l		S2t
	S3t		S2lt
N	N	N	S2tr
			N
Total	5	Total	7

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del IGAC, 2013a

En la Tabla 10 se presenta la comparación entre áreas en (ha) para las dos metodologías, pero en estas se tomó como información de referencia la MCM, en razón que tuvo mayor número de clases de aptitud de uso, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 10 - Cuadro comparativo (áreas) de resultados de las dos metodologías con referencia al método implementado en la investigación (más óptimo)

Símbolo	Aptitud de uso (ha)	Ocupación de uso (metodología implementada) (ha)	Diferencia con respecto a metodología de investigación (ha)	Descripción
S1	N/A	42.656,6	(+) 42.656,6	Aptitud alta
S2l	316.161,40	4.123,08	(-) 312.038,32	Aptitud media (limitación por nutrientes).
S2tr	N/A	13.272,92	(+) 13.272,92	Aptitud media (limitación por pendiente y erosión).
S2t	1.668,98	208.019,4	(+) 206.350,42	Aptitud media (limitaciones por pendiente).
S2lt	N/A	43945,36	(+) 43945,36	Aptitud media (limitaciones nutrientes y por pendiente)
S2ltr	N/A	4.144,61	(+) 4.144,61	Aptitud media (limitaciones nutrientes, pendiente y erosión).
S3l	45911,52	N/A	N/A	Aptitud baja (limitación por suelo).
S3t	9.042,93	N/A	N/A	Aptitud baja (limitación por topografía).
N	702775,85	127398,72	(-) 56.622,87	Aptitud marginal
Total	443560,6	443560,6		

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del IGAC, 2013a y De la Rosa et al., 2009

Resultados de los cultivos más óptimos por UAU, basado en los resultados más óptimos del proceso de comparación
A continuación, se presenta los resultados del resumen de cultivos por z (Tabla 11).

Tabla 11 - Resumen de resultados de cultivos por UAU, más óptimos de acuerdo al proceso de comparación

Resultado UAU más óptimo (Símbolo)	Usos principales del suelo	Cultivos recomendados por expertos
S1	CPI	Caucho, palma de aceite, pasto toledo CIAT 26110 (Brizantha Toledo), pasto amargo (Brachiaria decumbens), pasto dulce (Brachiaria humidicola) y el pasto llanero (Brachiaria dyctoneura)
S2l	CTS	Soya, caupi, maní, maní forrajero, sacha inchi y yuca
S2tr	CTS	Arroz de secano, maíz, sorgo dulce, caña de azúcar, soya, piña, maní forrajero, cítricos, plátano.
S2t	CPI	Mango y marañón

Resultado UAU más óptimo (Símbolo)	Usos principales del suelo	Cultivos recomendados por expertos
S2lt	PEX	Pastos paja peluda o pasto saeta (Trachypogon vestitus)
S2ltr	CTS	Yuca, maní, toronja, naranja tangelo, mandarina y lima
S3l	CTS	Jafofa
S3t	CTS	Jafofa
N	FPD, FPR	Acacia (Acacia mangium Wild), Eucalipto (Eucaliptus grandis var. pellita), Pino (Pinus caribaea var. hondurensis)

Análisis y discusión

Al evaluar el número de unidades y las áreas obtenidas en hectáreas de aptitud de uso del suelo, modificado y homologado en sus resultados de codificación con respecto al Modelo Cervatana Modificado, modelo implementado en esta investigación, se encontró que el estudio del IGAC (2013b) generó cinco clases que corresponden a las siguientes: S2l, S2t, S3l, S3t y N.

En comparación, al realizar el análisis de los resultados de aptitud de uso de los suelos arrojados por la MCM desarrollada en esta investigación, se encontraron siete UAU, correspondiendo a las siguientes presentadas en un orden de mayor a menor de área en hectáreas, estas son: S2l, N, S2t, S1, S2tr, S2ltr y S2l. De entre estas, la máxima calificación la obtuvo la unidad S2l que está denominada como aptitud media, con limitaciones por aspectos de pendiente, esta unidad tiene un área de 208.019,40 ha, equivalente a un 46,90% con respecto al total del área de estudio, continua la unidad N que esta denominada como aptitud marginal, lo especial de esta unidad es que la denominación de aptitud marginal, es para las actividades productivas, pero tienen un gran potencial para actividades agroforestales, agrosilvícolas, bosques productores o bosques protectores.

Otro aspecto importante del análisis de la información arrojada por el MCM, es el relacionado con su codificación en sus órdenes de acuerdo a De la Rosa et al., (2009), se resalta que se obtuvieron tres órdenes de aptitud (S1, S2, N), que concuerda con la misma cantidad con respecto a los arrojados por el IGAC (2013b), la gran diferencia radica en que se mejoró la aptitud del uso del suelo en términos de calidad productiva con la unidad S1, ya que se tiene un área importante de 42.656,6 ha equivalente al 9,62% del área total, en suelos con posibilidad de implementar cultivos transitorios y permanentes de gran valor económico.

Por otro lado, también se tiene una superficie importante clasificada como N (capacidad marginal), esta área a pesar de que está descartada para el tema productivo es una zona muy importante desde el punto de vista de la conservación y se configura en las zonas más adecuadas para el establecimiento de arreglos del tipo agroforestal, agrosilvícola, zonas de protectoras forestales, zonas productoras forestales o de conservación, para la recomendación de este tipo de actividades productivas, se cuenta con un área potencial de 28,72%, en relación con el área total de proyecto. Por último, se tiene una clasificación por orden de S1 (aptitud excelente), esta unidad de aptitud de uso del suelo, teóricamente tiene las mejores características para la producción agrícola, de acuerdo a los resultados se tiene un 9,62% del total del área de proyecto, configurándose en las zonas más importantes resultado de la modelación mediante la MCM.

Para el tema de los factores limitantes para la producción, el resultado de la identificación estos factores en el estudio adoptado en la investigación MCM, muestra que para los resultados obtenidos se encontraron cinco grupos de limitantes de producción o en combinación entre los mismos, estos fueron: limitación por nutrientes, limitación por pendiente, limitación por pendiente y erosión, limitaciones por nutrientes y por pendiente y finalmente, limitaciones por nutrientes, pendiente y erosión.

Apoyado en los análisis y argumentos presentados a lo largo de este artículo, se exponen los principales argumentos los cuales determinaron la definición de los resultados de MCM como la mejor opción productiva en actividades agrícolas. Como primer argumento se tiene el incremento del 28,57% en el número de clases o unidades de aptitud de uso del suelo, pasando de cinco a siete UAU, en esta primera determinación se puede comprobar la primera hipótesis definida para la investigación, la cual planteaba un incremento entre 30% y 50%, del número de unidades de aptitud de uso del suelo, aunque no se llegó al 30% como valor mínimo de la hipótesis, se estuvo muy cerca solo faltando un 1,43%, determinando que las proyecciones de la hipótesis estuvieron muy acertadas. Otro aspecto muy importante encontrado que sustenta la definición de la MCM como la más óptima, es que los resultados de esta metodología, incorporo la unidad de aptitud de uso S1 (aptitud excelente), esto implica que se elevó el nivel de clasificación en el nivel de orden de clasificación según De la Rosa et al., (2009), al primer orden, esta representa según estos resultados un área de 42.956,11 ha, equivalentes al 9,62% del área total de proyecto, estableciendo zonas con menores limitaciones para la producción agrícola, definiendo en estas zonas para el establecimiento de cultivos permanentes y transitorios de carácter intensivo y semi intensivo de un alto valor comercial (Organización de las Naciones Unidas [ONU] 2020).

Además, se presentó un incremento en área para la unidad N (capacidad marginal), con relación a los resultados arrojados por el trabajo desarrollado por el IGAC (2013b), también es un aspecto positivo para efectos de los objetivos de esta investigación, ya que se establecieron áreas adicionales de 56598,43 ha. Como ya se había mencionado, estas áreas son las más aptas para el establecimiento de cultivos o arreglos: agroforestales, agrosilvícolas, etc., que fomenten la protección y conservación en el entorno general de la zona de estudio, ya que estas representan la conservación de las fuentes hídricas y a su vez son las proveedoras del recurso agua, muy fundamental para poder desarrollar los procesos productivos.

Esta situación indica de una forma implícita la eficacia en la utilización del Análisis Multicriterio dentro del desarrollo de la investigación en la definición final de los escenarios productivos óptimos, por lo cual se puede inferir, como las nueve variables biofísicas que es utilizaron en el desarrollo del proceso fueron compensadas adecuadamente en la conformación final de la capa geográfica y los resultados anexos de aptitud de uso de los suelos, y donde de acuerdo a Buzai (2007), se confirma la utilidad del Análisis Multicriterio en los procesos de planificación del uso del suelo.

Al analizar la segunda hipótesis de trabajo de la investigación, donde se había planteado que las características de los suelos se iban a constituir como la principal limitante de la producción, esta no se cumplió, encontrándose solo del 11,77%, equivalentes a 52.207,09 ha, con relación al área total de proyecto. En cambio,

el factor más limitante resultó ser la pendiente en la unidad S2t (aptitud media - limitación por pendiente), con un área de 208.019,4 ha, que corresponde a un 46,90%.

Para la unidad N (capacidad marginal), estas áreas son las más aptas para el establecimiento de cultivos o arreglos: agroforestales, agrosilvícolas y protectoras productoras, que fomenten la protección y conservación de estas zonas, ya que estas representan las fuentes hídricas y las proveedoras del recurso agua, el cual es fundamental para poder desarrollar los procesos productivos. Dentro del inventario de cultivos establecido dentro de la investigación se encuentran las especies acacia (*Acacia mangium* Wild), eucalipto (*Eucalyptus grandis* var. *pellita*), Pino (*Pinus caribea* var. *hondurensis*).

Conclusiones

Se puede concluir que los resultados del MCM, método adoptado en la investigación para la evaluación de aptitud de uso del suelo en comparación con los resultados obtenidos por el estudio de aptitud de uso del suelo desarrollado por el IGAC en 2013, resultaron ser más óptimos de acuerdo a los cuatro factores de comparación establecidos en la investigación, donde se destacan el incremento de UAU de cinco a siete, esto representa un aumento de 28,57%, con relación a los resultados obtenidos por el estudio del IGAC (2013b), lo que en términos prácticos representa un escenario con una mayor variabilidad para posibles propuestas en cuanto a procesos productivos. Otro elemento muy importante es la aparición de la unidad de aptitud de uso del suelo S1 (aptitud alta) en los resultados finales de la MCM, estas unidades se caracterizan por no presentar o tener muy pocas limitaciones para el desarrollo en usos agropecuarios y especialmente en el tema agrícola.

Finalmente se puede concluir que la utilización de información geográfica a escalas entre 1:25.000 a 1:50.000, el apoyo del uso de los SIG en el procesamiento y análisis de la información geográfica, la utilización de la metodología matemática del análisis multicriterio y la participación de expertos (método Delphi) en la definición de aspectos claves de la investigación, en la definición final de la cartografía y sus unidades de aptitud de uso correspondientes, obtenidas a través de la implementación y desarrollo del Metodología Cervatana Modificado, genero una mayor diversidad y precisión en sus resultados y por ende una mejora muy significativa en la propuesta de clasificación de la aptitud del uso del suelo y en su correspondiente propuesta productiva.

Referencias

- Buzai, G. D. (2007). Áreas de potencial conflicto entre usos del suelo: identificación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. *Frontiers*, 6(6): 45-49.
- De la Rosa, D., Moreno, J. A. y García, L. V. (1992). MicroLEIS: A Micro-computer-based Mediterranean Land Evaluation Information System. *Soil Use and Management*, 8(2), 89-96. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1992.tb00900.x>

- De la Rosa, D., Anaya-Romero, M., Díaz - Pereira, E., Heredia, N y Shahbazi, F. (2009). Soil Specific Agro Ecological Strategies for Sustainable Land Use. A Case Study by Using MicroLEIS DSS in Sevilla Province, (Spain). *Land Use Policy*, 26(4), 1055-1065. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.01.004>
- Eastman, J. R. (2000). Decisión Strategies in GIS. *Directions Magazine*. <http://www.directionsmag.com>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2011). *Zonificación de los suelos por grado de erosión*. Escala 1:50.000. Bogota.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2011). *Metodología para levantamientos de suelos*. Bogotá: Instituto Geografico Agustin Codazzi.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013a). *Documento soporte Estudio semidetallado de suelos*. Bogotá, Colombia: En edicion.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013b). *Evaluación de aptitud de tierras*. Bogotá: Sin publicar.
- Intergraph. (1994). MGE Terrain Analyst. *User's guide for the Windows NT Operating System*. Hunstville, AL.
- Listone, H. A. y Turoff, M. (eds). (1975). *The Delphi Method. Techniques and Applications*. New York: Reading, Addison - Wesley.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Agenda 2030. Agenda para el desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1985). *Land Evaluation for Forestry*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura .
- Paulet, L. (1973). *Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvias del Peru*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ramos-Reyes, R., Sánchez-Hernández, R. y Gama-Campillo, L. M. (2016). Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 151-160. <https://doi.org/10.19136/era.a3n8746>
- Thorntwhaite, C. W. 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94. <https://doi.org/10.1097/00010694-194807000-00007>