



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 19/ Edición N.38
Junio-Diciembre de 2022
Reia3810 pp. 1-22

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Goyes Chaves, D. M.; Jaramillo Molina, C.; Arango Pastrana, C. A. (2022). Evaluación espacial de zonas potenciales de centros de distribución de cafés especiales, caso del Departamento de Nariño - Colombia. Revista EIA, 19(38), Reia3810. pp. 1-22. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1542>

✉ Autor de correspondencia:

Goyes Chaves, D. M. (Daniel Mauricio): Ingeniero Topográfico, estudiante doctorado en Ingeniería énfasis en Ingeniería Industrial. Correo electrónico: daniel.goyes@correounivalle.edu.co

Recibido: 29-06-2021

Aceptado: 14-01-2022

Disponibile online: 01-06-2022

Evaluación espacial de zonas potenciales de centros de distribución de cafés especiales, caso del Departamento de Nariño - Colombia.

✉ DANIEL MAURICIO GOYES CHAVES¹

CIRO JARAMILLO MOLINA¹

CARLOS ALBERTO ARANGO PASTRANA¹

1. Universidad del Valle

Resumen

Los cafés especiales del Departamento de Nariño han sido reconocidos mundialmente por su excelente calidad, pero se han visto afectados por el inadecuado manejo del producto en su cadena de suministro, específicamente en las zonas donde se almacena, repercutiendo directamente en sus atributos diferenciales, por lo cual se presenta un acercamiento de resolver el problema de selección y ubicación de posibles zonas potenciales, para el establecimiento de un centro de distribución, indispensable para toda su cadena. En el presente estudio se aplicó un enfoque de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDA), específicamente el proceso de jerarquía analítica (AHP) y combinación lineal ponderada (WLC), con la incorporación de criterios geográficos y su implementación en herramientas GIS (Geographical Information Systems), donde se evaluaron 38 alternativas posibles (Municipios Productores) para el establecimiento de un centro de distribución, mediante criterios previamente identificados con la ayuda de expertos en temáticas de localización, logística, conectividad y cafés especiales, donde los seleccionados fueron: producción Municipal, conectividad vial y temperaturas medias. Como resultados se generaron mapas de criterios normalizados y ponderados de acuerdo a la calificación o nivel de importancia dada por los expertos mediante el modelo (AHP) y posteriormente utilizando el método de combinación lineal ponderada (WLC) y GIS se identificaron las posibles zonas idóneas para el establecimiento del centro de distribución. Como conclusión podemos afirmar que a medida que aumenta el número de criterios, implica mayor complejidad para la toma de decisiones, siendo de gran ayuda la implementación de herramientas tecnológicas como son los GIS para el análisis y manejo de información en la resolución de este tipo de problemas, que en el caso puntual de este proyecto nos acercaron a tener un panorama departamental de las posibles zonas idóneas para establecer un centro de distribución para cafés especiales. En detalle se describen los métodos, criterios y conjuntos de datos utilizados, resultados obtenidos y discusión, finalmente las conclusiones más significativas.

Palabras clave: Almacenamiento, Análisis Multicriterio, Accesibilidad Geográfica, Cadena de suministro, Cafés especiales, Conectividad, Combinación lineal ponderada (WLC), MCDA, Proceso Analítico jerárquico AHP, Sistemas de información Geográfica SIG.

Spatial evaluation of potential areas of specialty coffee distribution centers, case of the Department of Nariño - Colombia.

Abstract

The specialty coffees of the Department of Nariño have been recognized worldwide for their excellent quality, but they have been affected by the inadequate handling of the product in its supply chain, specifically in the areas where it is stored, directly affecting its differential attributes, therefore which presents an approach to solve the problem of selection and location of possible potential areas, for the establishment of a distribution center, essential for its entire chain. In the present study, a decision-making approach with multiple criteria (MCDA) was applied, specifically the analytical hierarchy process (AHP) and weighted linear combination (WLC), with the incorporation of geographical criteria and their implementation in GIS (Geographical Information Systems), where 38 possible alternatives (Producing Municipalities) were evaluated for the establishment of a distribution center, using criteria previously identified with the help of experts in the areas of location, logistics, connectivity and specialty coffees, where those selected were: production Municipal, road connectivity and average temperatures. As results, maps of normalized and weighted criteria were generated according to the qualification or level of importance given by the experts through the model (AHP) and later using the weighted linear combination method (WLC) and GIS, the possible ideal areas were identified for the establishment of the distribution center. In conclusion, we can affirm that as the number of criteria increases, it implies greater complexity for decision-making, being of great help the implementation of technological tools such as GIS for the analysis and management of information in the resolution of this type of problems, which in the specific case of this project brought us closer to having a departmental overview of the possible ideal areas to establish a distribution center for specialty coffees. In detail, the methods and criteria used, data sets used, results obtained and discussion, finally the most significant conclusions, are described.

Key Words: Storage, Multi-criteria Analysis, Geographic Accessibility, Supply Chain, Specialty Coffee, Connectivity, Weighted Linear Combination (WLC), MCDA, Hierarchical Analytical Process (AHP), Geographic Information Systems GIS.

1. Introducción

El mercado agrícola internacional ha tenido como producto representativo el café, cuyo consumo global se ha incrementado en un 2,8 % anual en los últimos años, registrando 163.9 millones de sacos en 2018-2019 (Clavijo, 2020). En este contexto un café se considera especial cuando es percibido y valorado por los consumidores por alguna característica que lo diferencia de los cafés convencionales, por lo cual están dispuestos a pagar un precio superior (Uni.Andes, 2015). Autores afirman que el crecimiento de este sector se debe a la implementación de “identidades geográficas” de los diferentes lugares originarios del grano, complementado con el arraigo a la historia particular del caficultor, cediendo el protagonismo al productor más que al comercializador (Hernandez et al., 2018).

Colombia es catalogado como uno de los países que producen el mejor café del mundo, siendo apetecido y atractivo para la demanda internacional. Cabe mencionar que el tema de los cafés especiales se lo compara con el auge de la industria mundial del vino, ya que al igual que este, se pueden encontrar diferentes perfiles y variedades según su origen, aroma, fragancia, acidez y cuerpo (Mesa, 2018). El café producido en el país es 100% de la especie arábica, lo cual le ha permitido ser catalogado como el tercer productor del mundo de este tipo de cafés y el primero de café suaves (Ciguenza, 2019). En lo referente a la exportación en el año cafetero 2018 – 2019, se registraron 13.50 millones de sacos, frente a 12.72 millones de sacos correspondientes al año anterior con un aumento del 5,77 %. (ICO, 2021). Dentro de los tipos de cafés exportados y su participación encontramos para el 2019: Café Verde (87,63 %), verde descafeinado (0,11%), tostado en grano (0,30%), extracto y soluble (5,92%), verde industrializado(5,43%) (FNC, 2020).

El Departamento de Nariño – Colombia, es uno de los principales productores de cafés especiales del país caracterizado por su excelencia y calidad, donde el 98% de su producción es considerado como especial de tipo arábica, el cual tiene una participación de 4,97 % de la producción nacional a 2019, equivalente a 35.679 Toneladas (DANE, 2016), Cuenta con 10.770 ha de área cultivada de café actualmente, ocupando el puesto 9 con respecto a extensión cultivada dentro del escalafón nacional de productores y junto con el departamento del Huila y Cauca concentran hoy en día cerca de la mitad de los cafeteros del país (Ciguenza, 2019). Teniendo en cuenta los datos anteriores se puede afirmar que aunque este tipo de producto ha sobresalido en calidad en el país, ganando en varias ocasiones la taza a la excelencia, de acuerdo al documento CONPES 2014 ((DNP), 2014), el Departamento ha tenido inconvenientes para comercializar y generar valor agregado a la producción agrícola en general, entre ellos el café, donde su producción y rendimiento promedio de los principales productos son inferiores a los promedios nacionales, presentando bajo grado de competitividad en la escala nacional, al ubicarse en el puesto 17 entre 32 departamentos que hicieron parte del escalafón de Competitividad de Colombia (U.Rosario, 2021).

De acuerdo al Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2014), Nariño al estar ubicado en una zona montañosa cuenta con difíciles zonas de acceso, situación que restringe la intercomunicación terrestre entre la población rural y los principales centros de almacenamiento y acopio, así mismo obstáculo para la entrada y salida de insumos lo cual ha afectado la comercialización del producto, causado también por la inexistencia de infraestructura vial y caminos, vías intransitables o con restricciones de tránsito y su deficiente mantenimiento, lo que genera largos tiempos de viaje, ocasionando que el grano se dañe, afectando directamente su calidad. Este tipo de problemas impactan directamente en el correcto funcionamiento de su cadena de suministro, que de acuerdo a estudios actuales realizados se afirma que las cadenas de suministro, son la fuente fundamental que determina si un producto es competitivo o no, por lo que cada vez se reconoce que la competencia actual es entre cadenas de suministro (Sanchez and Vianch, 2019).

Estudios recientes han analizado y evaluado las cadenas de suministro desde la perspectiva de selección de posibles zonas idóneas, analizando cada uno de sus eslabones en estudios independientes como el establecimiento de cultivos, centros de distribución, puntos de venta, terminales, etc. (Kahraman, Cebi and Tuysuz, 2010; Shukla, Hota and Shukla, 2017), mediante la incorporación de métodos MCDA (Multiple Criteria Decision Analysis) que consideran múltiples criterios cuantitativos y cualitativos para apoyar la toma de decisiones de determinado problema y su implementación con herramientas GIS (Geographical Information Systems) que juegan un papel importante en este tipo de análisis, posibilitando combinar datos y criterios geográficos, con juicios de valor (calificación de los expertos).

Dentro de los estudios realizados donde han incorporado estos métodos encontramos: la identificación de zonas idóneas para la localización de plantas de energía solar en Irán, realizando el estudio en 4 provincias, cada una con diferentes tipos de climas, seleccionando la mejor alternativa entre las mejores, de acuerdo a varios criterios establecidos por un grupo de expertos y generando mapas de criterios ponderados (Shorabeh et al., 2019). La determinación de zonas adecuadas para el uso agrícola como en el caso de Turquía, al contar con zonas agrícolas inundadas por una represa, generando mapas de criterios de idoneidad y determinando las zonas aptas o no aptas para uso agrícola (Akinci, Özalp and Turgut, 2013). El establecimiento de zonas idóneas para el cultivo de cítricos en Ramsar - Irán, que combinó métodos multicriterio, con la integración de criterios geográficos como temperatura, precipitación, humedad, etc. mediante el uso de sistemas de información geográfica, donde demostraron que un modelo GIS-MCDA puede integrarse para seleccionar el sitio óptimo para la producción de cítricos (Zabihi et al., 2019). La evaluación de ubicaciones idóneas para el desarrollo industrial, donde se consultaron opiniones de expertos para determinar los pesos de los parámetros o criterios y posteriormente se generó un mapa ponderado de adecuación del terreno industrial (Ramya and Devadas, 2019). Determinación de sitios idóneos para el cultivo del café de Jamaica (Café Blue Mountain) que de acuerdo a los autores ha tenido una disminución en su competitividad, donde para su identificación se combinó el proceso de jerarquía analítica AHP, con sistemas de información Geográfica GIS y sumatoria ponderada de mapas de criterios. Los criterios utilizados para el análisis y creación de mapas de criterios fueron: tipo de suelo, tipo de geología, elevación, pendiente, precipitación y temperatura. Se obtuvo el mapa de idoneidad, donde se clasificó las áreas como áreas ideales, aceptables, inaceptables (Mighty, 2015). La selección de sitios idóneos para el establecimiento o ubicación de almacenes, donde a partir de un conjunto de alternativas se busca escoger la mejor. Para este estudio se desarrolló un software que permite al usuario, visualizar, explorar, consultar y analizar los datos espacialmente, incorporando el método AHP, considerando criterios cuantitativos y cualitativos con el apoyo de herramientas GIS (Vlachopoulou, Silleos and Manthou, 2001).

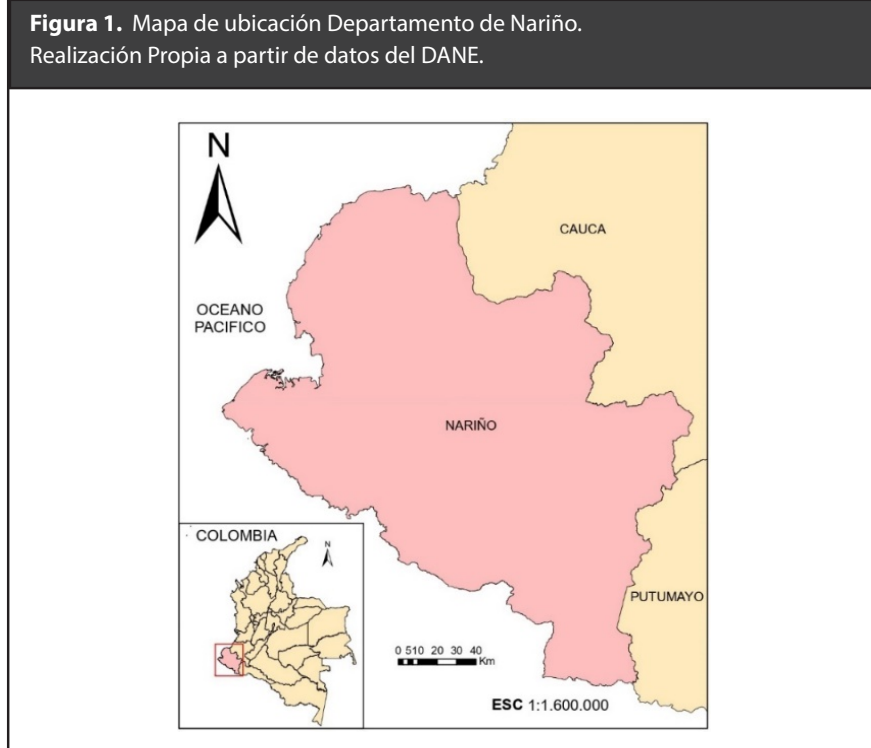
Este estudio tiene como objetivo la identificación de posibles zonas idóneas para el establecimiento de centros de distribución de cafés especiales en el Departamento de Nariño mediante la utilización de métodos de análisis multicriterio MCDA, específicamente el método jerárquico (AHP), el método de combinación lineal ponderada (WLC) y GIS. Estos métodos brindan la posibilidad de combinar datos y criterios geográficos, con juicios de valor (calificación de los expertos), siendo herramientas de apoyo para los encargados de toma de decisiones. Una contribución importante de este trabajo es incorporar variables de la calidad de la infraestructura o sistema de conectividad, desde el punto de vista espacial de medidas de accesibilidad, como un criterio de análisis en los diferentes métodos. Cabe destacar que la correcta ubicación de centros de distribución de cafés especiales y buenas prácticas de manufactura son de vital importancia para su cadena de suministro. En el presente análisis se describe en detalle los métodos utilizados, criterios y conjuntos de datos, resultados obtenidos y discusión, finalmente las conclusiones más significativas.

2. Materiales y métodos

Área de estudio

El Departamento de Nariño se encuentra ubicado al sur Oeste de Colombia, en la frontera con el Ecuador. Caracterizado por tener una geografía diversa y climas variados de acuerdo a las diferentes altitudes, climas fríos en sus zonas montañosas donde se

concentra la mayor parte de población y calurosas en la planicie del pacifico siendo una zona de características selvática y tropicales. La cordillera de los Andes cruza el departamento de Sur a Norte, donde se pueden encontrar tres diferentes tipos de topografía: la llanura, que bordea el Océano Pacífico, la región Andina y la vertiente Amazónica. El departamento está ubicado en las coordenadas 1°10'0" N, 77°16'0" W , limitando al norte con el Departamento del Cauca, al este con Putumayo, al sur con la República de Ecuador y al oeste con el océano Pacífico (Figura 1).



De acuerdo a la Federación Nacional de Cafeteros (FNC, 2019), las principales zonas cafeteras de la región se encuentran alrededor del volcán Galeras (4.276 m), conocido como “la zona de occidente de Nariño” y la localizada al sur y al oriente del cañón del Río Patía, conocida como “la zona norte”. Tanto por su localización como por los accidentes geográficos y escarpadas montañas que lo componen, las plantaciones de café en la región están sometidas a temperaturas promedio y rangos diarios de temperatura particulares que tienen un claro efecto en el sabor y aroma del café de Nariño, caracterizándose por su alta acidez y cuerpo medio, un aroma pronunciado, y por su sabor limpio y dulce, acompañado de la suavidad intrínseca del Café Colombiano (Nariño café, 2020).

Parámetros de análisis

Para la identificación de criterios y alternativas de selección, se contó con el concepto de expertos cuidadosamente seleccionados, en diferentes temáticas como conectividad vial, cafés especiales, cadenas de suministro, almacenamiento, pertenecientes a instituciones empresariales y académicas Nacionales e Internacionales del sector público y el sector privado. Los criterios de evaluación seleccionados para el análisis fueron: producción en toneladas por Municipio, considerando que es importante la cercanía de un centro de distribución a las zonas de mayor producción. Conectividad vial de transporte, considerando que las distintas zonas productoras tienen dificultades o

facilidades de salida y movilidad del producto o mercancías, así como la entrada de insumos a las mismas. Temperaturas ambiente medias, considerando que el almacenamiento en zonas inapropiadas puede dañar el grano, afectar directamente en sus atributos diferenciales de valor e incrementar los costos de almacenamiento. Así mismo se tuvo en cuenta la disponibilidad de la información e interpretabilidad de los modelos. Los criterios seleccionados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

CRITERIOS SELECCIONADOS	CLASIFICACIÓN (INTERVALOS)	OBSERVACIONES
C1 – Producción	Mayor a Menor	Producción en toneladas anuales por Municipio. <i>Fuente: Ministerio de Agricultura Agronet, 2019.</i>
C2 – Conectividad	1 = Red Lineal Entre 1 – 1,5 = Red Regular Entre 1.5 – 2,0 = Red Irregular Mayor a 2,0 = Red Tortuosa	<i>Índice factor de Ruta</i> Permite medir la calidad, entendiéndose la calidad, como la ruta que más se asemeje a una línea recta entre dos nodos en el trazado de una red de Transporte, cuanto más se asemeje a la línea recta, mejor será el índice. <i>Fuente: Bosque, 1992.</i>
C3 – Temperaturas Medias	8°C – 15°C Clasificación Binaria 1 – Cumple con la temperatura 0 – No cumple	Se deben asegurar temperaturas inferiores a 20°C, la calidad del grano de café sano y seco con humedad relativa entre el 10 y el 12% se conserva hasta por 10 meses a temperatura ambiente entre 8°C y 15°C. <i>Fuente: Cenicafé, 2017.</i>

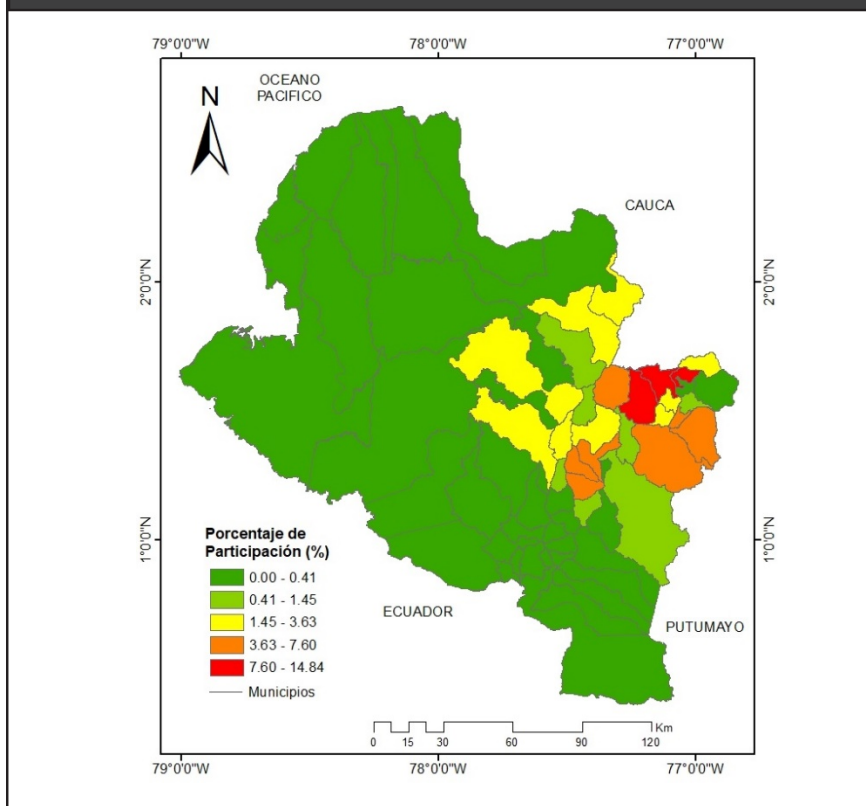
Producción Municipal

Se utilizó información proveniente del Ministerio de Agricultura, obtenida desde el portal Agronet (Min.Agricultura, 2019), base de datos alfanumérica donde se encuentra consignada información actualizada de cultivos a nivel nacional, donde se identificaron y jerarquizaron los municipios con mayor y menor participación a nivel Departamental 2007 -2019 (Tabla 2). En la figura 2 se puede observar la caracterización en formato vectorial por polígono, de los datos de producción municipal clasificados de acuerdo a su nivel de participación.

Tabla 2. Porcentajes de participación producción municipal Departamento de Nariño (2007 – 2019). Fuente – Elaboración propia con base de datos de Agronet, 2019.

POSICION	MUNICIPIO	%	POSICION	MUNICIPIO	%
1	LA UNION	14,847	23	YACUANQUER	0,823
2	SAN LORENZO	9,499	24	ANCUYA	0,686
3	COLON	9,252	25	SAN BERNARDO	0,672
4	BUESACO	7,608	26	POLICARPA	0,633
5	ALBAN (San José)	5,615	27	SANTA CRUZ (Guachavés)	0,416
6	CONSACA	5,360	28	LA CRUZ	0,365
7	SANDONA	4,538	29	FUNES	0,337
8	LA FLORIDA	4,377	30	CUMBITARA	0,256
9	EL TABLON DE GOMEZ	4,026	31	GUAITARILLA	0,230
10	TAMINANGO	3,878	32	TANGUA	0,184
11	SAMANIEGO	3,635	33	MALLAMA (Piedrancha)	0,153
12	ARBOLEDA	3,451	34	PROVIDENCIA	0,141
13	SAN PABLO	2,807	35	LA LLANADA	0,100
14	EL ROSARIO	2,338	36	BELEN	0,060
15	LEIVA	2,274	37	TUQUERRES	0,045
16	LOS ANDES	2,115	38	IMUES	0,034
17	LINARES	2,031	39	IPIALES	0,026
18	SAN PEDRO DE CARTAGO	1,795	40	NARINO	0,025
19	EL TAMBO	1,751	41	ILES	0,013
20	EL PENOL	1,455	42	RICARTE	0,012
21	CHACHAGUI	1,269	43	CUMBAL	0,006
22	PASTO	0,860			

Figura 2. Porcentaje de participación Producción Municipal (2007 -2019) , Departamento de Nariño. Fuente – Elaboración propia con base de datos de Agronet,2019.



Medida de Factor de ruta integral

Este criterio permite medir la calidad, entendiéndose la calidad, como la ruta que más se asemeje a una línea recta entre dos nodos en el trazado de una red de transporte, cuanto más se asemeje a la línea recta, mejor será el índice, al ser la línea recta el mejor trazado de conexión entre dos puntos se puede ponderar la red vial en función de esta característica. Se calcula construyendo dos matrices origen - destino, una para las distancias sobre la red y otra para distancias en línea recta desde y hacia cada nodo (Izquierdo, 1994). Para determinar el factor de ruta integral, se emplea la siguiente ecuación (1).

$$R_i = \frac{1}{1 - n} \sum_1^n \frac{d_{ij}}{d_{gij}} \quad (1)$$

Donde

R_i : Factor de ruta integral para el nodo i.

d_{ij} : Mínima distancia por la red de comunicaciones entre i y j.

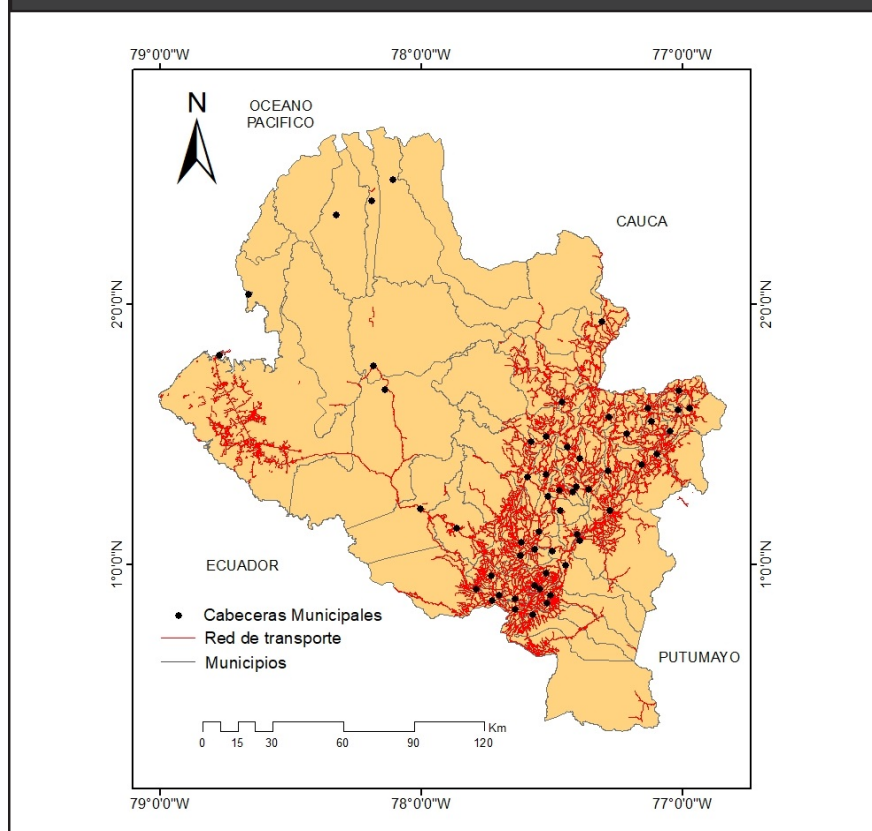
d_{gij} : Distancia geográfica o en línea recta de i a j.

n : Número de nodos.

Para valores cercanos 1 este índice indica que el trazado es próximo a la línea recta, sin accidentes geográficos que impiden una libre circulación, valores superiores a 1,5 indican que la zona presenta bajos niveles de accesibilidad y los que se ubican por encima de 2 suelen corresponder a áreas de montaña principalmente, clasificación que se muestra en la Tabla 1, criterio de conectividad.

Las diferentes distancias se calcularon punto a punto (origen - destino), considerando los centroides de las cabeceras municipales de los 64 municipios, mediante software espacial libre, como R - Studio para el cálculo de distancias euclidianas y OpenRouteService (ORS) para las distancias en red. Cabe destacar que esta herramienta permite obtener información de tiempo y distancia entre un conjunto de ubicaciones especificando el modo de transporte utilizado. En la figura 3 se pueden observar los datos espaciales utilizados para el cálculo del indicador, como es la red de transporte disponible, obtenida desde el Geoportal del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2019) así como también desde el Geoportal (Openrouteservice, 2021) y cada uno de los nodos de red, representados por los centroides de las cabeceras municipales.

Figura 3. Red de transporte disponible y nodos, Departamento de Nariño.
Fuente: elaboración propia con base en datos de INVIAS, Openrouteservice, 2021.



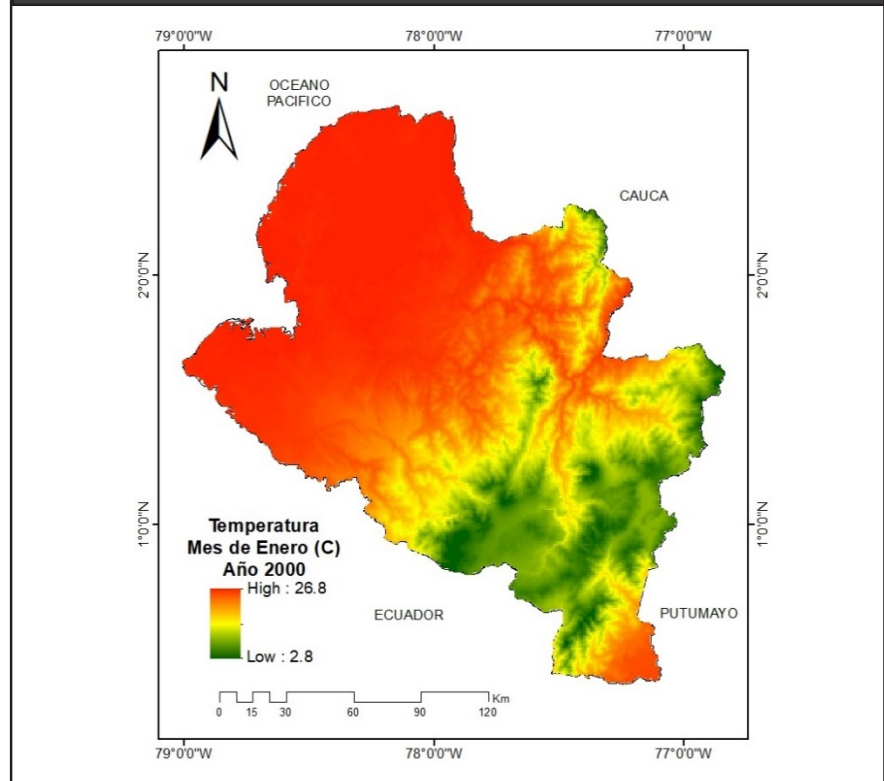
Posteriormente con el indicador calculado para cada uno de los municipios, se aplicó el método de interpolación (Inverse Distance Weighting) IDW, este procedimiento se realiza con el fin de predecir y distribuir la información de los nodos donde se realizaron las mediciones del indicador en una superficie continua. Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra (*ArcGIS for Desktop*, 2021) y sus resultados se presentan en superficies continuas o datos Raster.

Temperaturas medias

Los datos de temperatura media de la región fueron obtenidos originalmente desde el sitio web Worldclim (<https://www.worldclim.org/data/index.html>) (Hijmans et al., 2019), donde se consigna información de datos climáticos (°C) mensuales promedio globales, en formato GeoTiff que es información georreferenciada en un archivo de imagen con extensión TIFF, la cual se encuentra desde una resolución de 1 km², utilizada en este caso, hasta 340 km², desde el año 1970 hasta el 2000. De acuerdo a investigaciones realizadas por FNC comité Tolima (Puerta, 2015), en centros de acopio o almacenamiento, se deben asegurar temperaturas ambiente inferiores a 20°C y buena ventilación para disminuir la temperatura y uniformizar la humedad en los granos, enfatizando que para el correcto almacenamiento de café sano y seco, con humedad entre 10 y 12%, se puede conservar hasta por 10 meses, a temperaturas entre 8 y 15° C. En la figura 4 se muestra cartográficamente el dato obtenido de temperatura media anual, como ilustración para el mes de enero del año 2000. Con la información de temperatura de los 12 meses en cada uno de los años mencionados, se

calculó la temperatura media mensual y por medio del software R Studio se identificaron las zonas que cumplen con el rango de temperatura entre 8 °C y 15 °C, mediante codificación binaria (1 cumple, 0 no cumple) donde finalmente mediante sumatoria de mapas, se logró delimitar las zonas que cumplen con este rango de temperatura entre 0 y 12 meses.

Figura 4. Temperatura mes de enero, año 2000, Departamento de Nariño.
Fuente: Realización propia con base en datos de Worldclim,2021.



Normalización de Mapas de Criterios

La estandarización o normalización es un paso necesario, ya que hace que los datos sean adimensionales y se pueda realizar la comparación entre los criterios. Se utilizó un procedimiento de normalización de superficies continuas o datos Raster generados por cada criterio para ser comparadas y combinadas, teniendo en cuenta que los valores para cada criterios varían de grandes a pequeñas cantidades, por lo cual se normalizaron utilizando el enfoque incremental. (Ecuación 2).

$$a_{ij} = \frac{S_{ij} - S_j^{min}}{S_j^{max} - S_j^{min}} \quad (2)$$

a_{ij} : Valor normalizado de la variable.

S_{ij} : Valor de la i -ésima ubicación en relación con el j -ésimo criterio.

S_j^{min} y S_j^{max} : Valores mínimo y máximo del j -ésimo criterio.

Proceso Analítico Jerárquico AHP

La metodología planteada se basa en el Proceso Analítico Jerárquico AHP (Analytic Hierarchy Process), donde múltiples referencias destacan la pertinencia del mismo para priorizar alternativas, el cual requiere como insumo: 1. Una lista de alternativas que se desean comparar, 2. Un conjunto de criterios cualitativos o cuantitativos con los cuales se busca medir cada una de las alternativas, 3. Un objetivo que refleje claramente el propósito y el alcance de la priorización (Vidal H et al., 2012). Después de seleccionar las alternativas y criterios, se realiza una comparación a través de la creación de una matriz cuadrada por pares ($n \times n$) con el mismo número de filas y de columnas, siendo n el número de criterios, donde es razonable que exista una diagonal con números iguales a 1, dado que se trata de comparar un criterio consigo mismo. Para establecer la comparación se usa la escala de Saaty en la cual pueden utilizarse además de los valores que se muestran en la Tabla 3, valores intermedios (2, 4, 6, 8) si la comparación no es suficientemente clara con los números impares.

Tabla 3. Escala de Comparación de Saaty (1997). Fuente: Saaty (1977).

Escala numérica	Escala verbal
1	Igual importancia
3	Ligeramente más importante
5	Mucho más importante
7	Fuertemente más importante
9	Extremadamente más importante

Una vez que se establece la estructura jerárquica, se calculan los pesos w_j representados mediante el vector prioridad, para los diferentes criterios a partir de las valoraciones dadas por los expertos y plasmadas en la matriz de comparación, las cuales deben ser evaluadas en términos de consistencia, donde debe verificarse que los juicios subjetivos hayan sido consistentes cumpliendo el principio de transitividad (Vidal H et al., 2012). Se emplea la siguiente expresión para el cociente de consistencia (Ecuación 3).

$$C.C = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \cdot IA \quad (3)$$

Donde:

C.C : Cociente de consistencia.

λ_{max} : Máximo valor propio de la matriz de comparación.

n : es el número de criterios a comparar

IA : Índice aleatorio, el cual tiene un valor asociado a cada valor de n .

Cabe destacar que El λ_{max} se calcula multiplicando cada elemento del vector de prioridad por su correspondiente suma de columna en la matriz de comparación y sumando los términos (Alonso, Hidalgo and Izquierdo, 2006). El coeficiente de

consistencia C.C se considera en términos de calidad de la decisión final, si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión. Si el grado de consistencia es inaceptable, quién toma las decisiones debe reconsiderar y posiblemente modificar sus juicios sobre las comparaciones por pares antes de continuar con el análisis. El índice aleatorio IA, tiene un valor asociado a cada valor de “n”. En la Tabla 4 se muestran algunos de estos valores.

Tabla 4. Índice aleatorio para el cálculo del cociente de consistencia.
Fuente: Saaty (1977).

Número de elementos a comparar	Índice aleatorio de consistencia (IA)
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41

El C.C está diseñado de tal manera que los valores que exceden de 0,10 son señal de juicios inconsistentes, es probable que en estos casos el tomador de decisiones, desee reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz de comparaciones pareadas. Se considera que los valores de la razón de consistencia 0,10 o menos son señal de un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas (Hurtado and Bruno, 2005). De acuerdo a lo anterior se creó la matriz de comparación por pares para determinar los pesos de los parámetros, seguidamente se suman las columnas y se construye una matriz normalizada, donde cada elemento es igual al valor de la matriz de comparación, dividido entre el valor de la suma de los elementos de su columna correspondiente (Vidal H et al., 2012), donde el vector prioridad resulta con el promedio de las filas de la matriz normalizada.

Combinación lineal ponderada de criterios – Método WLC

La combinación lineal ponderada (WLC) es un procedimiento o técnica para el análisis multicriterio, donde los criterios se estandarizan en un rango numérico común, y luego se combinan por medio de una suma ponderada (Jamali et al., 2014; Nigussie, Hailu and Azagegn, 2019). Como se mencionó anteriormente w_j es el vector de prioridad, el cuál es el resultado del promedio de las filas de la matriz de comparación normalizada. Se emplea la expresión (4).

$$a_i = \sum_{j=1}^J w_j x_{ij} \quad (4)$$

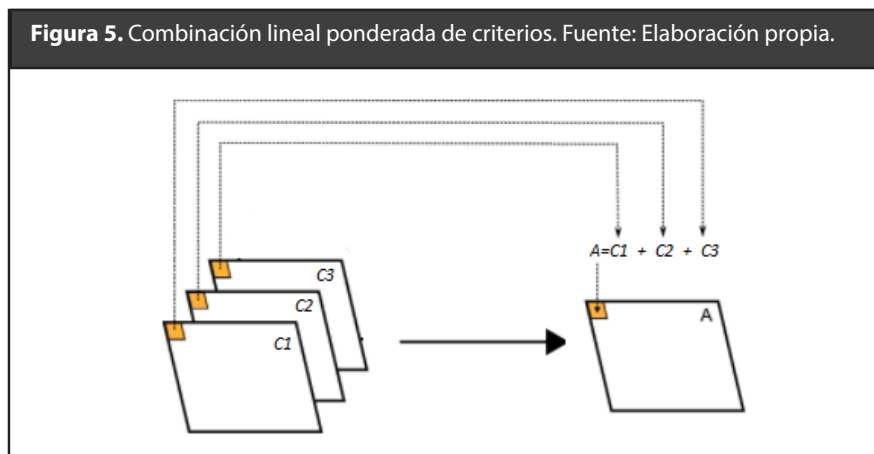
Dónde:

a_i : Puntuación de la celda i .

w_j : Peso asignado al factor j o vector prioridad.

x_{ij} : Valor del factor j en la celda i .

El método de combinación lineal ponderada (WLC) se aplica en última instancia, donde se superponen los mapas de criterios normalizados (Producción, Conectividad, Temperaturas medias) de acuerdo a los pesos resultantes, con el fin de poder determinar las puntuaciones en cada una de las zonas de evaluación en el mapa. (Figura 5).

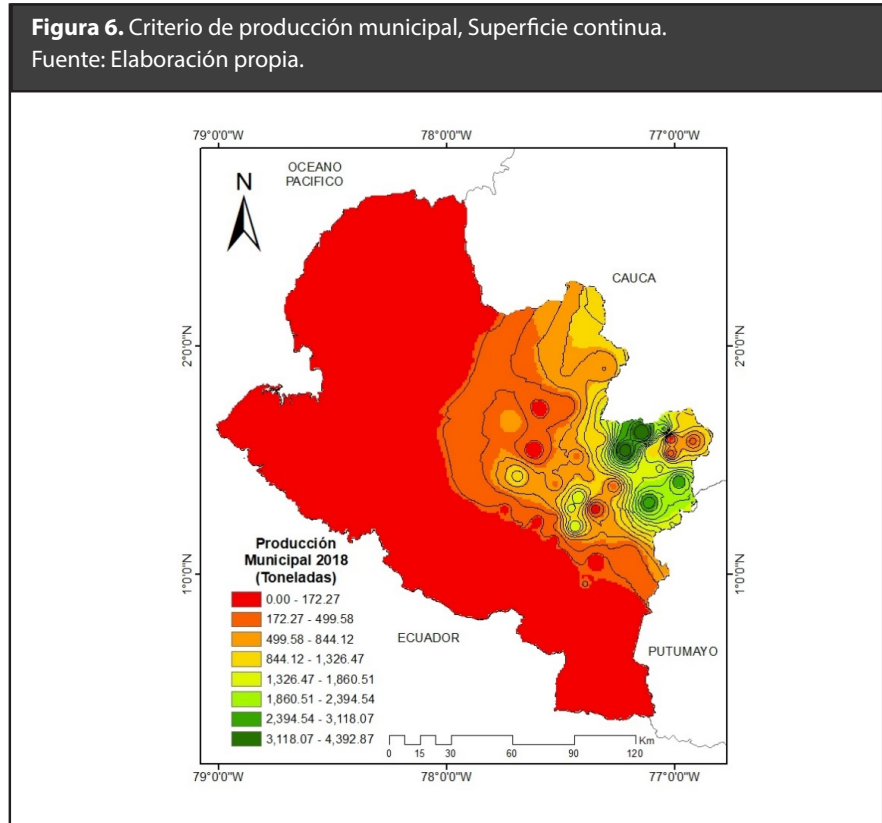


Para poder realizar la sumatoria y combinación de criterios, desde el punto de vista cartográfico, se tuvo en cuenta que se encontrasen en el mismo tipo de dato espacial, en el caso del análisis, información en formato tipo Raster. Para el criterio de conectividad al tener un valor específico del indicador factor de ruta en cada una de los nodos (cabeceras municipales), en formato de dato vectorial shapefile tipo punto, se aplicó el método de interpolación IDW para la generación de superficies continuas. Con respecto al criterio de temperaturas medias anuales, como se mencionó anteriormente los datos se obtuvieron desde el sitio web de worldclim, los cuales ya se encontraban en este formato, donde al tener datos mensuales, la nueva superficie continua se generó al sumar los 12 rásteres de temperatura media mensual y dividirlo por 12 utilizando la función de álgebra de mapas. Los datos de producción, si bien es cierto en primera instancia fue caracterizada en formato shapefile tipo polígono, fue necesario su conversión geométrica a tipo punto, para su respectiva interpolación por medio del método IDW y finalmente generar una superficie continua de producción municipal. Los tres conjuntos de datos fueron recortados en la medida de la extensión del área de estudio el Departamento de Nariño, mediante la utilización de una capa vectorial de límites departamentales obtenido desde el portal del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE.

3. Resultados y discusión

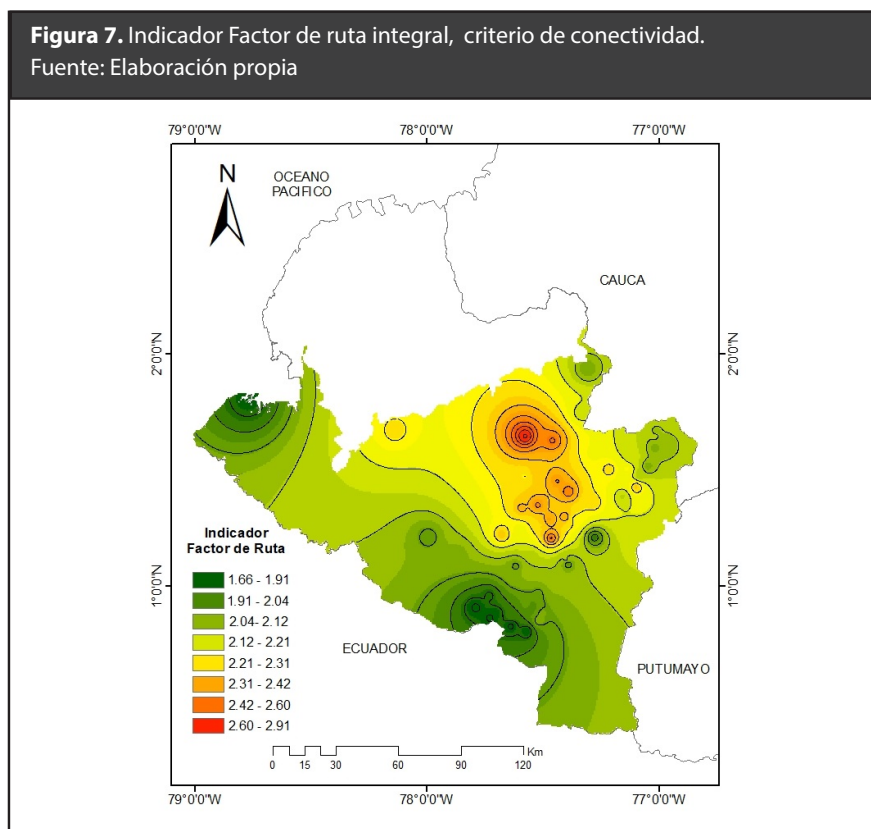
De acuerdo a la opinión de los expertos se consideró que los criterios de producción, conectividad y temperaturas medias tienen una mayor influencia, referente a escoger zonas potenciales para el establecimiento de un centro de distribución. Con respecto a la superficie continua del criterio de producción (Figura 6), se evidencia que en la zona oriente del Departamento se encuentra una alta presencia de municipios pro-

ductores representado por los colores verdes, caso contrario de la zona norte, zona occidente y parte de la zona sur, donde se encuentran los municipios con más baja producción, representados por los colores rojos. Con relación a la cartografía en la zona de mayor producción se concentra el 48,75% de la población del Departamento.



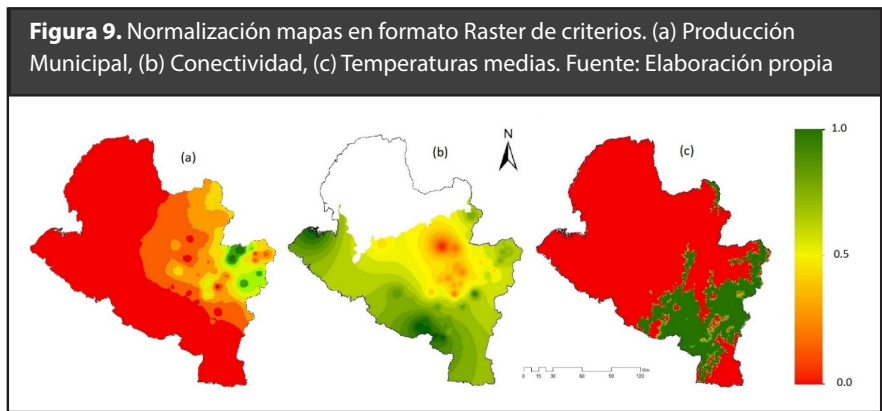
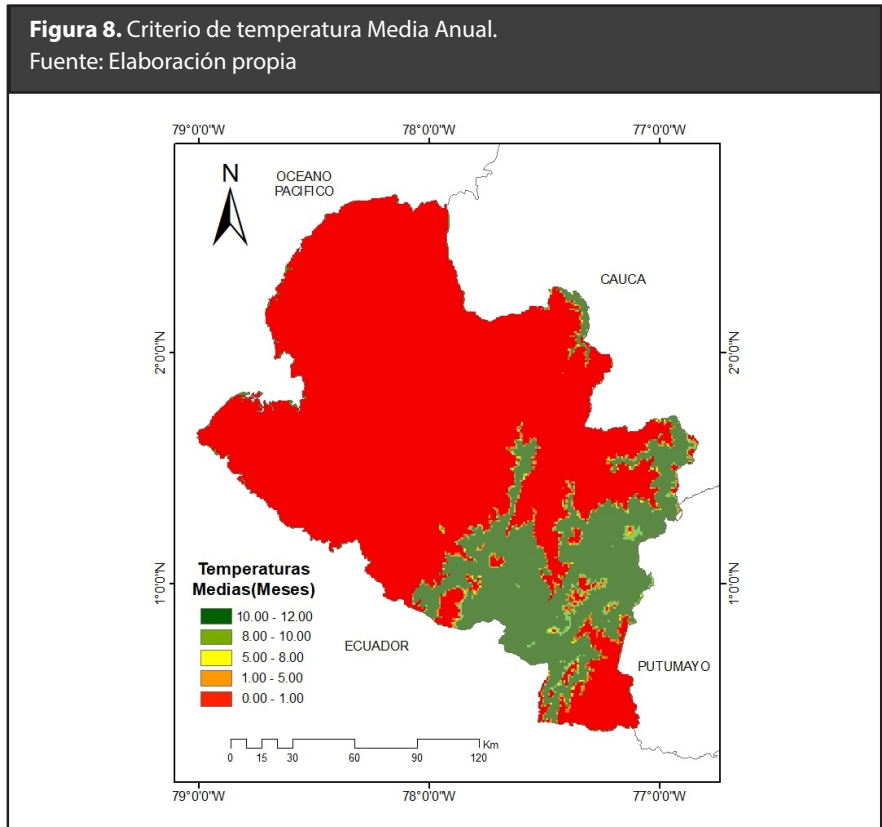
Los resultados obtenidos (Figura 7) evidencian que la zona sur y occidente, presentan los valores más bajos con un R_i entre 1,5 – 2,0, donde 15 municipios que corresponden al 23,43%, se encuentran tipificados dentro de red irregular, que se traduce en las zonas que presentan mejor trazado de red en el Departamento, asociado con características geométricas de las vías y disponibilidad de rutas de acceso, representadas por colores verdes.

Caso contrario el 64,06% correspondiente a 41 municipios ubicados en la zona oriental y norte, presentan valores altos, con un R_i mayor a 2, clasificados en red tortuosa, debido a la topografía accidentada (montañosa), representadas por los colores amarillos y rojos, así mismo 7 municipios (10,93%) ubicados hacia la costa pacífica, los cuales no se consideraron dentro del análisis al no tener conexión. Cabe destacar que en la zona de mayor accesibilidad se concentra el 41,14 % de la población de Nariño y se caracterizan por ser zonas de baja producción o no productoras, lo que nos muestra que las zonas productoras de cafés especiales tienen baja accesibilidad en relación con los demás municipios, dificultando la salida y comercialización del producto, afectando directamente en los atributos diferenciales del grano, debido en algunos casos al transporte inadecuado y largos trayectos o tiempos de viaje que se deben recorrer desde las zonas de producción.



Con respecto al criterio de temperaturas medias, después de procesar las imágenes satelitales originales y obtener como producto el mapa de temperatura media anual, se puede evidenciar que las zonas que cumplen con el rango de temperatura establecido entre 8 – 15 °C en los 12 meses del año, se encuentran localizadas en mayor proporción en la zona sur, seguido por la zona oriente y zona centro, representadas con colores verdes (Figura 8). Por otra lado las zonas que no cumplen con dichas características se encuentran en la zona occidental y Norte que bordean el pacífico Nariñense, representadas con colores rojos. El Departamento de Nariño cuenta con 33.268 km² de área de superficie, de los cuales 5.494 km² de área, equivalente al 16,51 % cumplen con esta característica de temperatura durante los 12 meses del año, así mismo en los municipios que se presenta esta temperatura se concentra el 62,91% de la población.

Para la normalización de mapas de criterios, se generaron superficies continuas formato Raster por cada criterio. Los valores del criterio de producción municipal se normalizaron mediante la jerarquización de mayor a menor, con base a la cantidad producida (Toneladas), donde se obtuvieron valores entre 0 y 1, 1 para el mayor productor, 0 para el menor. Para el criterio de conectividad se observan valores en el indicador entre 1,66 y 2,91, donde los valores más bajos presentan mejor grado de conectividad y para valores altos niveles bajos, por lo cual fue necesario realizar una normalización inversa. El criterio de temperatura media, presentó valores entre 0 y 12, 0 para las zonas que no cumplen con la temperatura exigida entre 8 °C y 15 °C en ningún mes del año y 1 las zonas que cumplen con esta condición los 12 meses del año. (Figura 9).



Las ponderaciones de los criterios fueron el resultado de la evaluación del método AHP, representadas por el vector prioridad resultante. El criterio que obtuvo la mayor importancia fue el de producción con un 49,6 % de prioridad, seguido por el criterio de conectividad con un 33,20 % y en tercer lugar el criterio de temperatura media con 17,2% (Tabla 6). Teniendo en cuenta que Saaty (Vidal H et al., 2012) estableció un límite superior de consistencia de 0.1, en el presente análisis se obtuvo un valor de 0,0037, menor a 0,1, lo que indicó que las inconsistencias son tolerables y que se puede continuar con el análisis.

Tabla 6. Matriz final de comparación de criterios, Vector Prioridad y Coeficiente de Consistencia. Fuente: Elaboración propia

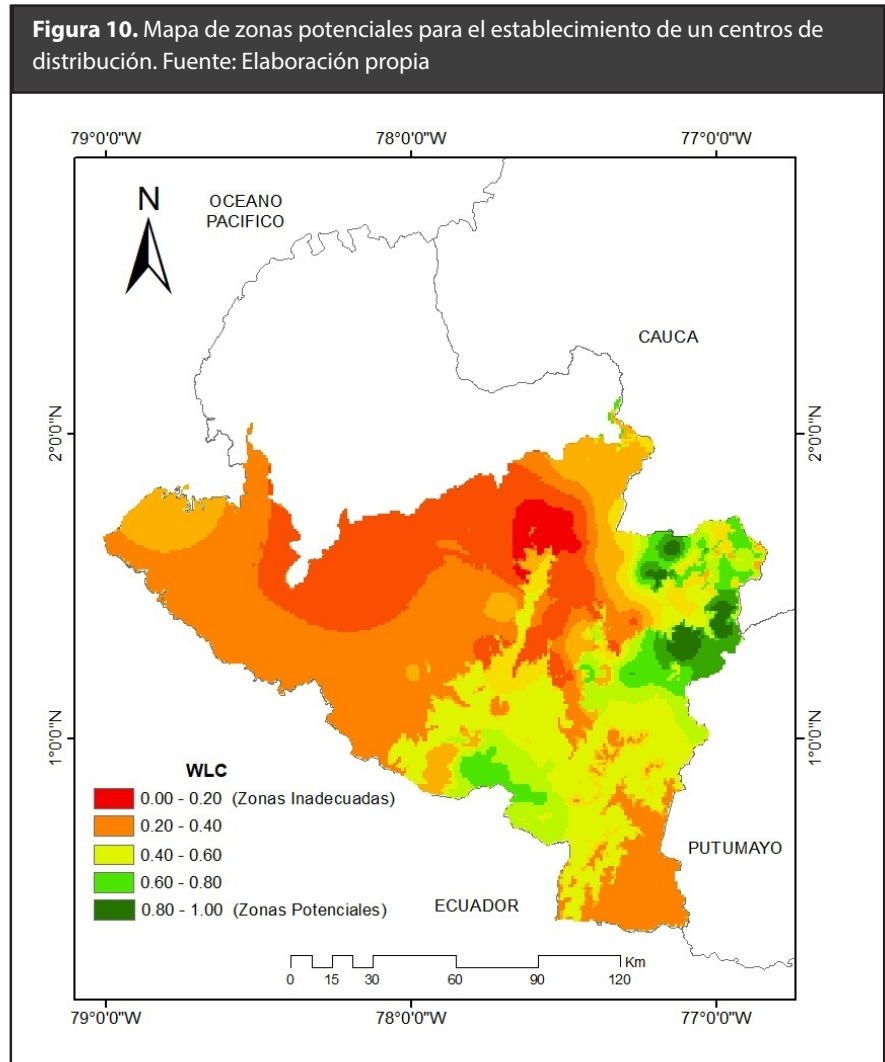
Matriz final				
Criterios	C1	C2	C3	V.Prioridad
C1	1	1,524	2,820	0,496
C2	0,656	1	1,968	0,332
C3	0,355	0,508	1	0,172
Suma de Columnas	2,010	3,032	5,785	C.C
	Matriz de comparación			0,0037

Cabe mencionar que para la generación del mapa resultante de sitios potenciales, se multiplicó cada uno de los valores del vector prioridad obtenido, con cada uno de los mapas de criterios formato raster normalizados y finalmente se hizo la sumatoria de mapas. En los resultados se presenta un rango de valores entre 0 y 100%, donde las zonas más cercanas al valor máximo corresponden a los sitios potenciales (Color Verde) (Figura 10). Se puede observar que estos sitios se encuentran al oriente del Departamento, donde existe la mayor concentración de municipios productores y las temperaturas medias cumplen con el rango establecido entre 8 – 15 °C, caso contrario con el criterio de conectividad donde la mayoría de los municipios presentan valores altos en el indicador considerados como red tortuosa. También se puede evidenciar que las áreas menos adecuadas se encuentran en la zona occidente y sur, donde si bien hay poca producción del producto y el criterio de temperatura cumple en algunos sectores, el indicador factor de ruta presenta valores bajos, lo que indica que estas zonas cuentan con mejor trazado que la zona oriente, donde se encuentran los productores de café del Departamento.

Posteriormente se realizó una reclasificación de los valores obtenidos en el mapa resultante, teniendo valores entre 1 y 5 en la nueva clasificación, 1 para zonas inadecuadas y 5 para zonas adecuadas para el establecimiento de centros de distribución (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación sitios potenciales, área y distribución porcentual. Fuente: Elaboración propia

Clasificación	Intervalo zonas potenciales	Area (Km ²)	%
1	0% - 20%	1249.29	5.88
2	20% - 40%	13808.49	65.07
3	40% - 60%	5547.48	26.14
4	60% - 80%	609.29	2.87
5	80% - 100%	6.09	0.02
	Total	21220.64	100



De acuerdo a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta los criterios seleccionados y la ponderación dada por los expertos, se estimó que el 0,028% (6,09 Km^2) del área de estudio son zonas potenciales para el establecimiento de centros de distribución, el 2,87 (609,29 Km^2) son zonas moderadamente adecuadas, mientras que el 5,88% (1249,29 Km^2) corresponden a zonas inadecuadas.

La combinación de GIS y MCDA nos muestra su potencial y apoyo en la generación de información requerida para la toma de decisiones, en este caso referente a ubicación de instalaciones a nivel estratégico como lo son los centros de distribución y su importancia dentro de una cadena de suministros, que incorpora un conjunto de métodos y herramientas para combinar datos geoespaciales con juicios de valor. Lo anterior concuerda con el análisis realizado sobre competitividad y comparación de cadenas de suministros (Farahani et al., 2014), donde la ubicación de instalaciones es una de las decisiones más importantes para que sea competitiva una cadena o no, dentro del mercado y que tiene repercusiones tanto en las decisiones tácticas, como en las operativas. Se puede señalar que los resultados obtenidos con este tipo de enfoques GIS - MCDA, pueden cambiar en el transcurso del tiempo, lo que coincide con afirmaciones realizadas por diferentes autores como por ejemplo en el estudio

de identificación ubicaciones adecuadas para el desarrollo industrial (Ramya and Devadas, 2019), por ejemplo al incorporar nuevas carreteras o al asignar nuevas zonas de producción o variaciones similares en los criterios considerados, también tendrán impactos en los resultados. De acuerdo a lo anterior cabe destacar que los resultados tienen como limitante el componente temporal de los criterios involucrados.

Aunque es poca la literatura sobre estudios multicriterio MCDA combinados con GIS, además de la utilización de criterios de conectividad para la ubicación de un centro de distribución de cafés especiales, estos resultados son consistentes con los hallazgos encontrados en diferentes análisis de idoneidad de la tierra para el establecimiento de cultivos agrícolas (Jamali et al., 2014; Mighty, 2015; Zabihi et al., 2019), quienes se apoyaron en herramientas geográficas tecnológicas como son los GIS, métodos multicriterio y criterios geográficos para la ubicación de las zonas idóneas.

Futuras investigaciones deben considerar ampliar el alcance del estudio complementando los diferentes criterios con más datos espaciales. Tomando como ejemplo el criterio de conectividad y considerando tener un mayor detalle se podría complementar con datos como el tráfico histórico y en tiempo real, si se tienen disponibles para mejorar la accesibilidad a las instalaciones. El modelado espacial facilita el uso de imágenes satelitales como en este caso el uso de temperaturas medias para confirmar la idoneidad de las ubicaciones, de la misma manera se podría complementar con información satelital de precipitación, humedad relativa del lugar, altura sobre el nivel del mar, radiación solar. Etc. De la misma manera se debe tener en cuenta el presupuesto, claramente como requisito base el capital, enfocándose netamente en la inversión en producción y fortalecer la logística del transporte al invertir en infraestructura.

4. Conclusiones

Si bien es cierto este tipo de análisis son adecuados para la ubicación idónea de centros de distribución cafeteros, se hace necesario contar con información detallada de las zonas, para tomar decisiones, como por ejemplo resolver conflictos del uso de la tierra, intereses de las asociaciones cafeteras, etc. A medida que las partes interesadas desarrollan un plan más objetivo y específico para competir en el mercado mundial de cafés especiales, este modelo sienta las bases para futuras aplicaciones del modelo y resalta cómo el MCDA basado en SIG podría usarse para mejorar la ventaja competitiva, no solo en el café sino en todos los sectores. empresas agrícolas donde la ubicación espacial es crucial para el éxito.

En conclusión, nuestro estudio muestra el uso de una metodología de apoyo a la toma de decisiones altamente efectiva con la intersección del análisis multicriterio y el análisis espacial en lo concerniente a la ubicación idónea de un centro de distribución. Esta integración permite a los tomadores de decisiones comparar visualmente las zonas potenciales e ubicación, basados en valores geográficos reales y poder determinar la clasificación final de los sitios seleccionados, Así mismo pueden utilizar los resultados del estudio para formular políticas y pautas de uso del suelo considerando la conectividad para el transporte de mercancías.

Agradecimientos

Uno de los principios y valores fundamentales del ser humano es ser agradecido, con aquellas instituciones y personas, que de una u otra manera han influido para llevar a feliz término la investigación realizada, por ello doy mis más sinceros agradecimientos a la fundación Ceiba - Nariño en su proyecto de becas “FORMACIÓN DEL TALENTO HUMANO DE ALTO NIVEL PARA EL FORTALECIMIENTO DE NECESIDADES ESTRATEGICAS DE CTtel DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO” y a la Escuela de Ingeniería Industrial facultad de ingeniería de la Universidad del Valle.

Referencias bibliográficas

- Akinci, H., Özalp, A. Y. and Turgut, B. (2013) 'Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique', *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, pp. 71–82. doi: 10.1016/j.compag.2013.07.006.
- Alonso, A., Hidalgo, A. and Izquierdo, M. (2006) 'Empleo del AHP (Proceso analítico jerárquico) incorporado en SIG para definir el emplazamiento óptimo de equipamientos universitarios. Aplicación a una biblioteca', *Facultad de Informatica (U.P.M)*, pp. 579–596.
- ArcGis (2021) 'Cómo funciona IDW—Ayuda | ArcGIS for Desktop'. Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-idw-works.htm> (Accessed: 25 August 2020).
- Ciguenza, N. (2019) Huila es el departamento líder cafetero con 16% del área cultivada, *La república*. Available at: <https://www.larepublica.co/especiales/ruta-del-cafe/huila-es-el-departamento-lider-cafetero-con-16-del-area-cultivada-2840686>.
- Clavijo, S. (2020) Panorama cafetero 2019-2020, *La república*. Available at: <https://www.larepublica.co/analisis/sergio-clavijo-500041/panorama-cafetero-2019-2020-2920631> (Accessed: 9 May 2020).
- DANE (2016) 3er Censo Nacional Agropecuario: Resultados. Available at: <https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf>.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2014) 'Conpes 3811. Política y estrategias para el desarrollo agropecuario del departamento de Nariño', p. 54. Available at: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3811.pdf>.
- Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T. and Fallah, S. (2014) 'Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications', *Omega (United Kingdom)*, 45, pp. 92–118. doi: 10.1016/j.omega.2013.08.006.
- FNC (2019) 'Ubicación de Nariño en Colombia Indicación Geográfica Protegida - Micrositios', *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Available at: http://narino.cafedecolombia.com/narino/el_departamento/ubicacion_de_narino_en_colombia/ (Accessed: 2 December 2019).
- FNC (2020) Estadísticas Cafeteras - Federación Nacional de Cafeteros. Available at: <https://federaciondefeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>.
- Hernandez, N., Gómez, M. I., Rodewald, A. D., Rueda, X. and Anunu, C. (2018) 'Quality as a Driver of Sustainable Agricultural Value Chains: The Case of the Relationship Coffee Model', *Business Strategy and the Environment*, 27(2), pp. 179–198. doi: 10.1002/bse.2009.
- Hijmans, R. J., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., Jarvis, A. and Richardson, K. (2019) WorldClim - Global Climate Data, *Revista Internacional de Climatología*. Available at: <http://worldclim.org/version2> (Accessed: 10 December 2019).
- Hurtado, T. and Bruno, G. (2005) 'El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores', *Tesis Digitales UNMSM*, 3, p. 100. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

- ICO (2021) International Coffee Organization - Datos históricos. Available at: http://www.ico.org/es/new_historical_c.asp (Accessed: 7 February 2021).
- INVIAS (2019) Instituto Nacional de Vías. Available at: [https://inviasopendata-invias.opendata.arcgis.com/search?tags=red nacional de carreteras](https://inviasopendata-invias.opendata.arcgis.com/search?tags=red+nacional+de+carreteras) (Accessed: 21 October 2020).
- Izquierdo, R. (1994) 'Transportes un enfoque integral'. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Año de publicación: 1994. Available at: https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=21788212660&cm_sp=rec-_-pd_hw_i_1-_-bdp&reftag=pd_hw_i_1.
- Jamali, I. A., Mörtberg, U., Olofsson, B. and Shafique, M. (2014) 'A Spatial Multi-Criteria Analysis Approach for Locating Suitable Sites for Construction of Subsurface Dams in Northern Pakistan', *Water Resources Management*, 28(14), pp. 5157–5174. doi: 10.1007/s11269-014-0800-2.
- Kahraman, C., Cebi, S. and Tuysuz, F. (2010) 'Fuzzy location selection techniques', *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 252, pp. 329–358. doi: 10.1007/978-3-642-12052-7_14.
- Mesa, A. M. (2018) Una taza de café perfecta, Todo es Ciencia. Available at: <http://todoes-ciencia.minciencias.gov.co/café-perfecto> (Accessed: 5 September 2020).
- Mighty, M. A. (2015) 'Site suitability and the analytic hierarchy process: How GIS analysis can improve the competitive advantage of the Jamaican coffee industry', *Applied Geography*, 58, pp. 84–93. doi: 10.1016/j.apgeog.2015.01.010.
- Min.Agricultura (2019) Estadística Agropecuaria - Agronet. Available at: <https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx> (Accessed: 10 December 2019).
- Nariño café (2020) Fortalecimiento de la cadena de valor del café de alta calidad en el Departamento de Nariño. ¿Por qué es diferente? Available at: <https://cafe.narino.gov.co/el-cafe-de-narino/> (Accessed: 4 May 2021).
- Nigussie, W., Hailu, B. T. and Azagegn, T. (2019) 'Mapping of groundwater potential zones using sentinel satellites (–1 SAR and -2A MSI) images and analytical hierarchy process in Ketar watershed, Main Ethiopian Rift', *Journal of African Earth Sciences*, 160(September), p. 103632. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2019.103632.
- Openrouteservice (2021) 'Geoportal Openrouteservice'. Available at: <https://openrouteservice.org/> (Accessed: 5 May 2021).
- Puerta, G. (2015) 'VIII Cumbre del servicio de extensión rural: retos para una caficultura productiva y de calidad.', in. Available at: <http://biblioteca.cenicafe.org/bits-tream/10778/600/1/38911.pdf>.
- Ramya, S. and Devadas, V. (2019) 'Integration of GIS , AHP and TOPSIS in evaluating suitable locations for industrial development : A case of Tehri Garhwal district , Uttarakhand , India', *Journal of Cleaner Production*, 238, p. 117872. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117872.
- Sanchez, V. and Vianch, Z. H. (2019) 'Revista Científica Ingeniería y Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos', *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 32(1), pp. 1–8. doi: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.32.1.4577>.
- Shorabeh, S. N., Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Firozjaei, H. K. and Jelokhani-Niaraki, M. (2019) 'A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran', *Renewable Energy*, 143, pp. 958–973. doi: 10.1016/j.renene.2019.05.063.
- Shukla, G., Hota, H. S. and Shukla, A. (2017) 'Multicriteria Decision Making Based Solution to Location Selection for Modern Agri-Warehouses Gargee', *International Conference on Inventive Communication and computational Technologies., (Icicct)*, pp. 460–464. doi: 10.1109/ICICCT.2017.7975240.
- U.Rosario (2021) Índice Departamental de competitividad (IDC) 2020-2021. Available at: <https://img.lalr.co/cms/2021/02/23112859/Presentación-Rosario-Córdoba-IDC-2020-2021.pdf>.
- Uni.Andes (2015) Los Cafés Especiales, una alternativa para los caficultores colombianos. Available at: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/09/23/los-cafes-especiales-una-alternativa-para-los-caficultores-colombianos/>.

- Vidal H, C. J., Bravo B, J. J., Cajiao G, E., Meza H, P., Arango, S., Franco, D. and Calderón, J. (2012) 'Version Word_Guia Metodologica_Priorización Proyectos Infraestructura'. Santiago de Cali, pp. 1-81.
- Vlachopoulou, M., Silleos, G. and Manthou, V. (2001) 'Geographic information systems in warehouse site selection decisions', 71, pp. 205-212.
- Zabihi, H., Alizadeh, M., Langat, P. K. and Karami, M. (2019) 'GIS multi-criteria analysis by orderedweighted averaging (OWA): Toward an integrated citrus management strategy', Sustainability (Switzerland), 11(4). doi: 10.3390/su11041009.