

# **Modelo de decisión multicriterio para la localización de instalaciones. Una mirada estratégica dentro del diseño de cadenas agroindustriales**

Alexandra Duarte Castillo - Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

William Ariel Sarache Castro - Universidad Nacional de Colombia sede Manizales

Carlos Cardona - Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

## **Resumen**

La situación actual de la economía colombiana y los ingentes esfuerzos por mejorar el nivel de participación de los productos nacionales en mercados extranjeros, han generado la necesidad permanente de buscar nuevos esquemas competitivos a nivel local, regional e internacional; en ese dicho escenario, entre otras acciones, emerge la necesidad de lograr una reconversión de las operaciones agrícolas y pecuarias, a través de la introducción de nuevas tecnologías y el mejoramiento de los procesos actuales, con miras a la generación de productos de valor agregado.

En el marco de la política de desarrollo nacional, se hace necesario el desarrollo de cadenas agroindustriales que impulsen la integración de operaciones de explotación agrícola y pecuaria, con los necesarios eslabones de industrialización y posterior comercialización en mercados de alta demanda. Bajo esta situación y dadas las presiones competitivas mundiales, la estrategia obliga a diseñar esquemas de abastecimiento y distribución con alcance mundial.

Bajo el contexto de una economía globalizada, una empresa de clase mundial generalmente se abastece en el lugar del mundo que le brinde materias primas de bajo costo, rápida entrega y alto servicio. De tal modo que ubica sus instalaciones de manufactura en lugares de bajo costo de mano de obra y vende sus productos en mercados con mejor poder adquisitivo. Éste proceso conlleva a que la localización de instalaciones se constituya en una decisión estratégica, tanto en la ubicación de unidades de almacenamiento y procesamiento como en definición de su red de distribución de productos finales.

En este sentido, la presente contribución expone una metodología para localización de instalaciones, abordando el tema desde cuatro aspectos fundamentales: 1) el análisis del contexto regional; 2) la identificación de factores incidentes; 3) la modelación del problema; y 4) la decisión final de localización. La aplicación de dicha metodología se realizó en un caso de estudio en el sector agroindustrial para localizar una planta de biocombustibles en el Departamento de Caldas (Centro Occidente de Colombia).

## **1. Capítulo 1: Aspectos fundamentales en localización de instalaciones**

La localización de instalaciones es un elemento clave en el desarrollo de las cadenas industriales y ejerce una alta influencia en el desempeño competitivo de las empresas debido a

que factores tales como los costos y el plazo de entrega, entre otros, dependen en gran medida del sitio seleccionado para el nuevo emplazamiento industrial.

Junto con las decisiones de producto, proceso, tecnología, capacidad y distribución de instalaciones, la localización de instalaciones es una decisión del nivel estratégico que forma parte del diseño del sistema de producción de las organizaciones (Cardona & Tamayo, 2010). En este sentido, la localización no es una decisión de tipo aislada, sino que responde a las prioridades competitivas en la estrategia de manufactura y a la estrategia de inserción en la cadena de abastecimiento de la organización.

Un fuerte vínculo entre el diseño de la cadena de abastecimiento y las decisiones de localización se hace notorio al momento de determinar la estrategia de abastecimiento de materias primas y de distribución de productos finales. Por lo tanto, es común que las plantas agroindustriales se localicen cerca de las fuentes de materia prima buscando aumentar la calidad del producto y reducir los costos de abastecimiento, mientras que, otras organizaciones buscan responder a políticas organizativas orientadas a satisfacer los requerimientos del cliente, considerando proporcionar tiempos cortos de entrega y menores costos en el producto final. De tal manera que la localización de instalaciones, como decisión de alto impacto en el diseño de la cadena de abastecimiento, obliga a estudiar de manera sistémica un conjunto de factores que influyen en el éxito del proyecto empresarial. Drezner (2004), Daskin, (1995) y Revelle (2008), destacan que, aspectos relacionados con la cercanía entre los eslabones de la cadena, la red de transporte, los costos de la tierra, entre otros factores, son objetivos claves a considerar en las decisiones de localización.

La localización de instalaciones, es por ende una ciencia de decisión que busca optimizar al menos una función objetivo, por ejemplo: costos, distancia o servicios (Farahani *et al.*, 2009). Este tipo de decisión generalmente es de tipo multicriterio, pues en ella concurren múltiples factores, algunos de los cuales, según la revisión realizada por Sarache *et al.* (2007), van desde factores referentes a la adquisición de materia prima, procesamiento y distribución de producto, hasta factores como la situación política, social y económica de un sitio, región o país (Ver Figura 1).



**Figura 1. Factores que influyen las decisiones de localización.**

Fuente: Modificado de Sarache, 2007.

De acuerdo con la Figura 1, factores como la disponibilidad de la materia prima, la infraestructura vial, la calidad de los servicios públicos y los costos asociados a una región en particular, entre otros, son aspectos determinantes en la decisión. De igual manera, si se considera el contexto regional y nacional, aspectos como la situación política, la economía, las repercusiones ecológicas sobre el medio ambiente, el impacto social y cultural, la disponibilidad de recurso humano, las actitudes de la comunidad y los costos en impuestos, utilidades y funcionamiento pueden ser concluyentes. Dada la complejidad que implica la incidencia de factores diversos, Sule (2001) plantea que el análisis de los problemas de localización de instalaciones implica un ejercicio multidisciplinario que permita definir una jerarquía para establecer los factores más relevantes que afectan la decisión final. En este marco, en la literatura consultada, se pudo corroborar la existencia de diversos métodos que, según la clasificación de Farahani *et al.* (2009), algunos se orientan hacia la minimización de costos, distancias, tiempos y número de instalaciones y otros hacia la maximización de la rentabilidad, la calidad de los servicios y la capacidad de respuesta.

Así mismo y en relación con la taxonomía de los problemas de localización, en la literatura especializada existe un acervo amplio de contribuciones al campo de estudio. De acuerdo con las revisiones del estado del arte, aportada por diversos autores (Mesa y Brian, 1995; Klose y Drexl, 2004; Ortega y García, 2005; Sarache *et al.*, 2007; Melo *et al.*, 2009; Farahani *et al.*, 2010) los problemas de localización se pueden clasificar de la siguiente manera: por el número de instalaciones, el tipo de empresa, el ámbito espacial, el tamaño de la empresa, la fuerza impulsora y el horizonte de tiempo. De igual manera, existe un portafolio amplio de métodos aplicados de solución que van desde sofisticadas técnicas matemáticas de optimización centrados en la evaluación de criterios cuantitativos, hasta aplicaciones más avanzadas que involucran múltiples criterios de forma simultánea. Para el caso de la presente contribución se hará uso de un método multicriterio que permite el análisis simultáneo de factores cualitativos y cuantitativos, contemplando de esta forma diversos puntos de vista que no necesariamente puedan reducirse en términos monetarios y que pueden expresarse en diferentes escalas de valoración. Esto permite evaluar y comparar diferentes alternativas bajo este tipo de análisis. La aplicación de dicha metodología se desarrolló en un caso de estudio en el sector agroindustrial para localizar una planta de biocombustibles en el Departamento de Caldas-Colombia.

## 2. Capítulo 2: Modelo de decisión multicriterio para localización de instalaciones.

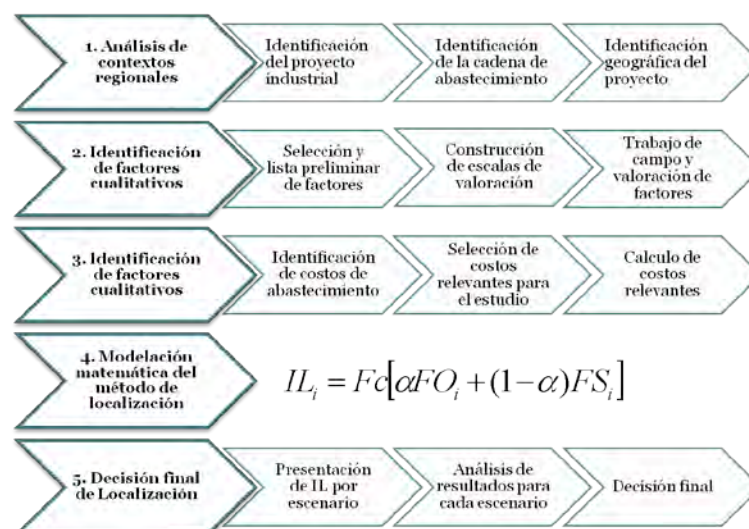


Figura 2. Metodología general para el estudio de localización de instalaciones.

El modelo de decisión multicriterio que se aborda a continuación, contempla el análisis desde cuatro aspectos fundamentales: 1) análisis de contextos regionales; 2) identificación de factores (Cualitativos y cuantitativos); 3) modelación matemática del método de localización; y 4) decisión final de localización. La metodología propuesta para su implementación se expone en la Figura 2.

### ***I. Análisis de contextos regionales:***

En la búsqueda de identificar y evaluar el contexto en cual se desarrolle un proyecto industrial, aspectos como la determinación del proyecto industrial, el análisis de la cadena de abastecimiento y el entendimiento pleno del contexto geoestratégico de la organización, se involucran como etapa preliminar para la toma de decisión.

En la *identificación del proyecto industrial*, la primer sub-etapa implica un análisis exploratorio cuyo objetivo es el de identificar preliminarmente el mercado, los procesos de obtención del producto, el impacto y los medios disponibles para la realización. En la etapa siguiente, un análisis económico permitirá determinar el mercado objetivo, el consumo local, nacional y regional, el tipo de consumidor, los tipos y presentaciones del producto, la balanza comercial tanto para la materia prima como para el producto y los competidores a nivel nacional e internacional, entre otros. En las etapas subsecuentes, el diseño conceptual y detallado de las etapas del proceso, materiales y equipos, permite definir las condiciones fisicoquímicas de operación, las calidades y costos tanto de materia prima como de producto, las variables críticas de operación, los servicios y mano de obra requerida, la capacidad estimada de la planta, la selección de equipos, la distribución en planta; por último, la identificación de aspectos relacionados con la implicaciones ambientales y sociales del proyecto, resultan relevantes en el estudio integral del perfil técnico del proyecto industrial.

Seguidamente, la etapa de *identificación de las cadenas de abastecimiento* tiene como objetivo, por un lado, identificar la red de proveedores de materias primas y de servicios, la red de distribución de productos finales, los aspectos gubernamentales y las normas que regulan la operación de la organización; y por el otro, identificar la infraestructura de

transporte representada en la disponibilidad de carreteras, puertos, aeropuertos y vías fluviales. Todo ello enmarcado una amplia visión geoestratégica que le permita a la organización definir de forma detallada su ubicación en función de las fuentes de abastecimiento y los mercados objetivo (Handabaka, 2009). Todo ello bajo el entendido de que la localización del proyecto se verá incidida por factores clave en su ciclo de vida, tales como la disponibilidad y costo de la materia prima, el transporte, la energía y el factor humano, entre otros. Finalmente, a través de la *Identificación geográfica del proyecto* es posible acentuar y contextualizar el objeto de estudio, de tal manera que la integración de diversas formas de la cadena de abastecimiento en un conjunto de escenarios posibles de localización, define el alcance del trabajo y establece el conjunto de alternativas de estudio para la selección final.

## II. Identificación de factores:

*Factores Cualitativos:* A partir de la consulta de diversas fuentes, miembros del equipo de trabajo, entrevistas con expertos y teniendo en cuenta el análisis de contextos regionales, se realiza una *selección y lista preliminar de factores*. El listado debe reunir factores presentes en casos genéricos de localización que se puedan contextualizar con respecto a la región, el entorno del proyecto y su desarrollo a futuro (Sarache *et al.*, 2007), lo cual permite identificar las características principales y su influencia en decisión de localización. En la Figura 3 se expone el procedimiento utilizado para la *selección y lista preliminar de factores*.



Figura 3. Procedimiento para evaluación de factores cualitativos

Fuente: Sarache *et al.*, 2007

La selección del número de expertos se realiza utilizando la expresión 1.

$$n = \frac{P(1-P)K}{i^2} \quad (1)$$

### Dónde:

n: Número de expertos.

i: Nivel de precisión deseado.

P: Porcentaje de error que como promedio se tolera.

K: Constante asociada al nivel de confianza.

El nivel de concordancia entre los expertos se evalúa de acuerdo al coeficiente de concordancia de Kendall; un coeficiente mayor o igual de 0,5 evidencia un buen nivel de acuerdo. Por debajo de este valor, se debe de realizar de nuevo el proceso de evaluación (Sarache, *et al.*, 2007). Una vez se han determinado la lista de factores cualitativos incidentes, se identifican los factores críticos que son aquellos que comprometen seriamente la viabilidad del proyecto.

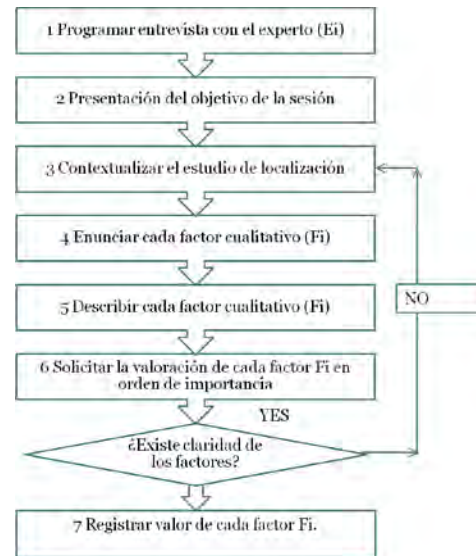


Figura 4. Procedimiento para el trabajo de campo y la valoración de factores

Fuente: Sarache *et al.*, 2007

La escala de valoración para estos factores es dicotómica y solo toma valores entre 0 y 1; de tal manera, que una alternativa puede dejar de ser evaluada si obtiene una calificación de cero.

*La construcción de escalas de valoración* se realiza para cada factor con el fin de permitir la calificación de los diferentes factores cualitativos. Se puede hacer uso de la escala Likert según se estime conveniente. *El trabajo de campo y la valoración de factores* tanto críticos como cualitativos se realizan de acuerdo el procedimiento de la Figura 4.

Por último y para cada factor, dependiendo de los escenarios de estudio, se registran los valores obtenidos en la evaluación de expertos y se matematizan según se indica en la expresión 2.

$$FSi = Cij \times Pj \quad (2)$$

Donde:

**FSi**: Índice normalizado de los factores cualitativos de la región i.  $0 < FSi < 1$

**Cij**: Calificación obtenida por la alternativa i en el factor j.

**Pj**: Ponderación del factor j.

*Factores Cuantitativos*: Los factores cuantitativos se refieren a la proyección de costos logísticos y de operación en que incurrirá la empresa en cada una de las alternativas identificadas en el análisis del contexto regional. Por lo general, y teniendo en cuenta un enfoque logístico, se aborda el asunto desde tres frentes relevantes: los costos de

abastecimiento, los costos de operación y los costos de distribución. El estudio implica, para cada alternativa de decisión, un análisis detallado de los costos asociados a la capacidad de producción diseñada, la tecnología de procesamiento seleccionada, la estrategia de recurso humano, las leyes y reglamentos tributarios, el transporte, entre otros. Su matematización se realiza a través de la expresión 3.

$$FOi = \frac{1}{c \sum_{i=1}^n \frac{1}{Ci}} \quad (3)$$

Donde:

**FOi:** Índice normalizado de los factores cualitativos de la región i.  $0 < FOi < 1$ .

**Ci:** Costo total de la alternativa i.

### **III. Modelación Matemática del método. Cálculo del Índice de Localización para cada alternativa.**

El modelo matemático forma parte de las técnicas multicriterio aplicadas en problemas de localización de instalaciones; de acuerdo con Taufik y Chauvel (1994) este modelo permite evaluar la incidencia de tres tipos de factores: críticos, cualitativos y cuantitativos, según se expone en la expresión 4.

$$ILi = FCi[\alpha FOi + (1 - \alpha) FSi] \quad (4)$$

Donde:

**ILi:** Índice de localización para la alternativa i.  $0 < ILi < 1$

**FCi:** Índice del Factor Crítico para la región. **Fci**  $0 < Fci < 1$

**FSi:** Índice normalizado de los factores cualitativos de la región i.  $0 < FSi < 1$

**FOi:** Índice normalizado de los factores cualitativos de la región i.  $0 < FOi < 1$

**$\alpha$ :** Importancia relativa del factor objetivo.  $0 \leq \alpha \leq 1$

### **IV. Decisión final de localización:**

La decisión final de localización requiere de evaluar los índices de localización tanto cualitativos (FSi), cuantitativos (FOi) así como, los críticos (FCi), calculados en el paso anterior para cada uno de las alternativas. Aquella alternativa que obtenga el mayor valor en su índice de localización, será la recomendada para ubicar la nueva instalación. Sin embargo, se



recomienda que el resultado final sea revisado en un enfoque multidisciplinario para evaluar el verdadero alcance de acuerdo a los criterios evaluados.

### 3. Capítulo 3: Caso de estudio: localización de una planta de biocombustibles en el Departamento de Caldas-Colombia.

#### I. Análisis de contextos regionales:

Dentro de los retos agroindustriales en Colombia, entre otros, se encuentran el aprovechamiento de residuos agroindustriales, el uso eficiente de nuevas materias primas y el aprovechamiento de la biomasa en procesos de producción de biocombustibles (Mendoza, 2002).

Los biocombustibles, se definen como cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de la biomasa que es materia orgánica de origen animal o vegetal (Ministerio de Agricultura, 2009). Las materias primas usadas para la producción de biodiesel y alcohol carburante con sus rendimientos se exponen en la Tabla 1.

**Tabla 1. Rendimiento de materias primas**

<b>BIODIESEL</b>		<b>BIOETANOL</b>	
<b>Cultivo</b>	<b>Rendimiento (lt/ha/año)</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Rendimiento (lt/ha/año)</b>
Palma	5.550	Caña	9.000
Cocotero	4.200	Remolacha	5.000
Higuerilla	2.600	Yuca	4.500
Aguacate	2.460	Sorgo dulce	4.400
Jatropha	1.559	Maíz	3.200
Colza	1.100		
Soya	840		

Fuente: Modificada a partir de información del Ministerio de agricultura, (2009)

En Colombia, el auge de la producción de biocombustibles inició a partir del año 2005 con el alcohol carburante y en 2008 con el biodiesel (Torres, 2009). La producción y uso de los biocombustibles en Colombia y en el mundo busca garantizar el abastecimiento energético diversificando el uso de los combustibles fósiles, fortalecer el sector agrícola y contribuir con un desarrollo económico y social (Vera, 2009).

Según el Ministerio de Agricultura (2009), en Colombia funcionan 5 plantas de producción de alcohol carburante (Ver Tabla 2) y se encuentran en marcha nuevos proyectos en diferentes ciudades en los que se pretende la diversificación de la materia prima. En la Tabla 2 se indican las capacidades y la ubicación de dichas plantas en Colombia.

**Tabla 2. Plantas de alcohol carburante en Colombia**

Ubicación	Capacidad lts/día
Miranda, Cauca	300.000
Palmira, Valle	250.000
Palmira, Valle	250.000
Candelaria, Valle	150.000
La Virginia, Risaralda	100.000
	<b>1.050.000</b>

Fuente: Ministerio de agricultura (2009)

Para el caso del biodiesel, a partir de aceite de palma, se encuentran en funcionamiento 8 plantas con las cuales Colombia pretende cubrir una mezcla del 5% de biodiesel en todo el país y actualmente del 7% en la Costa Atlántica, Santander, Sur del Cesar, Antioquia, Huila, Tolima, Putumayo y Caquetá. En la Tabla 3 se muestran las capacidades para cada una de las plantas instaladas.

**Tabla 3. Plantas de biodiesel en Colombia**

Ubicación	Capacidad ton/año
Codazzi, Cesar	50.000
Santa Marta, Magdalena	36.000
Santa Marta, Magdalena	100.000
Facatativá, Cundinamarca	100.000
San Carlos de Guaroa, Meta	100.000
Barrancabermeja, Santander	100.000
Castilla La Nueva, Meta	10.000
Barranquilla	40.000
<b>TOTAL</b>	<b>536.000</b>

Fuente: (Ministerio de agricultura, 2009)

La distribución de las plantas y los departamentos que actualmente utilizan los biocombustibles se exponen en la Figura 5. En esta, se observa que la mayoría de las plantas de biodiesel se concentran en los departamentos de la Costa Atlántica y el centro del país; sin embargo, el consumo del mismo se concentra en los departamentos de la costa Colombiana. Por otro lado, la producción de alcohol carburante se realiza en el departamento del Valle del Cauca y su uso abarca los departamentos del centro del país y los departamentos de la región llanera.



**Figura 5. Plantas y consumo de biocombustibles en Colombia**

Fuente: Modificado de Torres (2009).

Según el Ministerio de Agricultura (2010) “Colombia produce 1,1 millones de litros diarios de etanol a partir de caña, cubriendo cerca del 70% de la demanda nacional...”. Sin embargo, en el país el uso de biocombustibles aún se encuentra en etapas iniciales de implementación, lo cual genera expectativas en cuanto a la instalación de nuevas plantas que permitan mejorar el abastecimiento de producto en el territorio nacional. El esquema general de la cadena de abastecimiento para una planta de producción de biodiesel se muestra en la Figura 6.

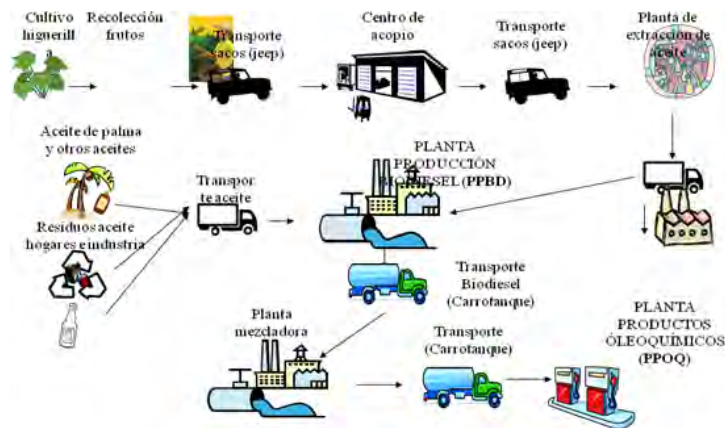


Figura 6. Esquema general de la cadena de abastecimiento de producción de biodiesel.

A nivel regional y para el caso del departamento de Caldas se ha realizado un estudio a cerca de las principales cadenas agroindustriales en Caldas, la disponibilidad y accesibilidad de los cultivos, encontrándose que la ubicación estratégica del departamento de Caldas sobre el triángulo de Oro, conformado por las ciudades principales de Colombia como son: Bogotá, Cali y Medellín, además entre las troncales del Occidente y del Magdalena, permiten potenciar la oferta agrícola, ganadera, ambiental y agroindustrial, además se nota un creciente desarrollo del sector servicios, la tecnología y la ciencia que se impulsa desde las diferentes centros educativos de la región, que actualmente lideran grupos de investigación reconocidos a nivel nacional e internacional (Cardona & Tamayo, 2010). Teniendo en cuenta las potencialidades del departamento se realizó el estudio



Figura 7. Municipios evaluados para la localización de la PPBD

de localización de la planta de biocombustibles de acuerdo a los siguientes escenarios de estudio, cada escenario se evaluó por municipio (Ver figura 7).

El primer escenario estudiado se basa en la estructura de la cadena de abastecimiento. De esta manera se tiene la posibilidad de que la PPBD y la PPOQ se encuentren en el mismo lugar o que la PPBD y la PPOQ estén ubicadas en lugares diferentes. El Segundo escenario se encuentra condicionado por la mezcla de materia prima y su origen geográfico. Por lo tanto, se tiene la opción de abastecerse en un 100% de higuierilla en la PPBD, abastecerse en un de 30% aceite de higuierilla, 20% aceites usados y 50% aceite de palma en la PPBD ó abastecerse en un 20% de aceites usados y un 80% de aceites de palma y/o soya.

El cálculo de número de expertos se llevo a cabo bajo los siguientes parámetros:  $i = \pm 10$   
 $P = 3\%$ ,  $K = 3,8416$  para  $1-\alpha = 0,95$ , aplicando la ecuación 4 el número de expertos a consultar es:  $n = 11,18 \approx 12$

La lista preliminar de factores cualitativos es mostrada en la tabla 4. Estos fueron determinados por el desarrollo de las etapas 1 y 2 de la metodología propuesta y a partir de una fase exploratoria de evaluación en campo de cada una de las alternativas de localización.

**Tabla 4. Lista preliminar de factores cualitativos**

<b>Fi</b>	<b>Lista preliminar de factores Cualitativos</b>
<b>F1</b>	Orden público
<b>F2</b>	Actitud política del municipio hacia el proyecto
<b>F3</b>	Calidad de los servicios públicos
<b>F4</b>	Infraestructura vial
<b>F5</b>	Las regiones frente a macroproyectos futuros
<b>F6</b>	Impacto social
<b>F7</b>	Potencial agrícola de la región para abastecer MP

La tabla 5 muestra la calificación obtenida para los factores de la lista preliminar. Se encontró que los factores más relevantes de estudio son los factores F3, F4, y F5, los cuales corresponden a las variables: calidad de los servicio públicos, infraestructura vial y potencial agrícola de la región.

**Tabla 5. Tabla 6. Valoración de factores en la lista preliminar**

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	4	1	3	6	2	5	7	28
<b>E2</b>	7	5	3	4	1	2	6	28
<b>E3</b>	5	7	4	6	3	2	1	28
<b>E4</b>	2	6	5	4	1	3	7	28
<b>E5</b>	1	5	2	4	3	6	7	28
<b>E6</b>	4	2	1	6	3	5	7	28
<b>E7</b>	4	1	6	7	5	2	3	28
<b>E8</b>	3	2	4	7	5	1	6	28
<b>E9</b>	2	1	5	6	4	3	7	28
<b>E10</b>	3	1	4	7	5	2	6	28
<b>E11</b>	3	1	5	6	4	2	7	28
<b>E12</b>	2	1	5	7	4	3	6	28
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>33</b>	<b>47</b>	<b>70</b>	<b>40</b>	<b>36</b>	<b>70</b>	<b>336</b>
<b>POND.</b>	<b>0,119</b>	<b>0,093</b>	<b>0,139</b>	<b>0,208</b>	<b>0,119</b>	<b>0,107</b>	<b>0,208</b>	<b>1</b>

Aplicando la prueba de concordancia se encontró un factor de concordancia menor que 0,5 por lo cual se procedió a realizar de nuevo el proceso de evaluación hasta que se obtuvo un factor igual a 0,5, con lo cual se aceptó la jerarquización ponderada para cada uno de los factores de acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 6.

Tabla 7. Jerarquización lista definitiva de factores cualitativos

Expert/Factor	F3	F4	F7	TOTAL
E1	1	2	3	6
E2	1	2	3	6
E3	2	1	3	6
E4	1	2	3	6
E5	1	2	3	6
E6	1	2	3	6
E7	2	3	1	6
8	1	3	2	6
E9	1	2	3	6
E10	1	3	2	6
E11	1	2	3	6
E12	1	3	2	6
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	<b>28</b>	<b>66</b>
<b>PONDERACIÓN</b>	<b>0,197</b>	<b>0,379</b>	<b>0,424</b>	<b>1</b>

El primero de los factores se evaluó de acuerdo al tipo de servicio, por ejemplo, en el caso del servicio agua se evaluó: calidad, cantidad accesibilidad e impacto sobre fuentes y en el caso de la electricidad se tuvo en cuenta: comportamiento del sistema eléctrico (interrupciones), frecuencia de ocurrencia de daños, duración de los fallos de energía e infraestructura referente a la disponibilidad de la conexión a red. La infraestructura vial se evaluó de acuerdo a tres factores la tipología de la vía (primaria, secundaria, terciaria), la superficie, el estado y la capacidad del carril (Ver tabla 8). La variable potencial agrícola se evaluó en una escala likert de 4 puntos: alto potencial para la calificación de 4, medio, bajo y mínimo potencial.

Tabla 8. Parámetro prueba de concordancia de Kendall

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Factor de comparación	T=22
Número de expertos	M=11
Número de Criterios	C=3
Desviación	SDi <sup>2</sup> =126
Sumatoria de la Desviación al cuadrado	W=0,5

Tabla 9. Ejemplo de escala de valoración

ESCALA	EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA
<b>VARIABLE</b>	<b>TIPOLOGIA</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	Vía primaria concesionada	Vía primaria nacional	Vías secundarias	Vías terciarias
<b>VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	Pavimento asfalto	Pavimento de concreto	Mapia	Afirmado
<b>VARIABLE</b>	<b>ESTADO</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	Optimo	Daños leves	Grietas	Huecos y otros
<b>VARIABLE</b>	<b>CAPACIDAD Y ANCHO DEL CARRIL</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	Doble calzada	Doble vía	Sencillo	Mínimo
<b>OBSERVACION</b>	Cada variable con máximo puntaje de 1 de tal manera que el puntaje mayor posible es de cuatro, que corresponde a la valoración <b>excelente</b> , de ahí hacia abajo se distribuye de acuerdo al orden descendente. El valor de la escala para la opción <b>buena es equivalente a 0.75, regular 0.5</b> y para <b>mala 0.25</b> .			

La valoración final de las alternativas, y siguiendo los procedimientos descritos anteriormente se muestran en la tabla 9.

**Tabla 10. Resumen de calificación obtenida por alternativa, para el escenario 1.**

FACTORES CRITICOS	ALTERNATIVAS						
	PALESTINA	SALAMINA	NORCASIA	VICTORIA	LA DORADA	SUPIA	PALESTINA
Energía	1	1	1	1	1	1	1
Agua	1	1	1	1	1	1	1
Vías	1	1	1	1	1	1	1
Abastecimiento MP	1	1	0	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>CUANTITATIVOS</b>							
Mano de Obra	124.083	24.216	-	96.864	185.093	-	124.083
Materia prima	656.766	1.110.081	-	743.374	644.296	629.074	656.766
Transporte	900,754	1.325.917	-	1.099.892	1.084.803	866.697	1.315.732
<b>TOTAL*</b>	<b>900,754</b>	<b>1.325.917</b>	<b>-</b>	<b>1.099.892</b>	<b>1.084.803</b>	<b>866.697</b>	<b>1.315.732</b>
<b>CUALITATIVOS</b>							
Calidad de servicios públicos	2,5	3,5	-	3	3,5	3,5	3
Infraestructura vial	3,25	1,5	-	2	2	4	3,5
Abastecimiento MP	2,4	0,8	-	1,6	4	4	3,2

\*Los costos totales fueron calculados teniendo en cuenta el costo de transporte, ya que este presentaba diferencias significativas entre las alternativas evaluadas a diferencia de los otros costos.

Como puede observarse el municipio de Norcasia fue descartado del estudio debido a que posee insuficiente capacidad de terrenos disponibles para el cultivo o los terrenos no son los suficientemente adecuados.

**Tabla 11. Cálculo de los índices de localización para las alternativas en el escenario 1.**

SCENERIO	FACTOR	PALESTINA	SALAMINA	NORCASIA	VICTORIA	LA DORADA	SUPIA
<b>ESCENARIO 1</b>	<b>FCi</b>	1	1	1	1	1	1
	<b>Fsi</b>	0,16	0,09	0,11	0,18	0,22	0,19
	<b>Foi</b>	0,2	0,13	0,16	0,16	0,21	0,14
	<b>ILi</b>	0,18	0,1	0,12	0,18	0,22	0,18
<b>ESCENARIO 2</b>	<b>FCi</b>	1	1	1	1	1	1
	<b>Fsi</b>	0,16	0,09	0,11	0,18	0,22	0,19
	<b>Foi</b>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16
	<b>ILi</b>	0,16	0,1	0,12	0,18	0,21	0,18

## Conclusiones

Los estudios de localización proporcionan información para la toma de decisiones al nivel estratégico, de tal manera que una buena decisión puede influenciar en el éxito del funcionamiento del proyecto así mismo una decisión errónea devenga en el fracaso del mismo.

La propuesta metodológica para el presente estudio permitió realizar un proceso sistemático que a través de un conjunto de cinco etapas generó la posibilidad de abordar los diferentes elementos y factores incidentes en el estudio. Así mismo involucro un esquema de calificación multicriterial gracias al cual fue posible conjugar factores críticos, factores cualitativos y

factores cuantitativos. Esta metodología se convierte en un aporte al proyecto que con los procedimientos derivados sirven de base para nuevos estudios similares.

El trabajo de campo permitió examinar una lista preliminar de siete factores cualitativos incidentes, que en principio se consideraron importantes para la decisión, no obstante al aplicar los pasos de la etapa dos, fue posible depurar la lista preliminar, eliminando aquellos factores que aún siendo importantes no presentan diferencias significativas entre las alternativas de decisión. Por tanto y de acuerdo con el juicio de los expertos, los tres factores cualitativos más importantes que se tomaron en cuenta fueron en su orden de importancia: Potencial agrícola de la región para abastecer materia prima, Infraestructura vial y calidad de los servicios públicos.

Uno de los costos fundamentales para el presente estudio y que requirió un trabajo de campo importante está relacionado con el transporte. Dada la complejidad de la red vial y su incidencia en los medios posibles fue necesario acudir a esquemas de costeo basados en el estado de la práctica, y ante todo, en las realidades posibles de los sistemas de transporte regionales, en este sentido fue necesario considerar los tipos de carretera existente y asociados a estos, la posibilidad del uso de diversos tipo de vehículo tales como camperos, jeep, carpatti, camiones sencillos, tracto camiones entre otros. No obstante el estudio revela que un vehículo promedio aceptable para el manejo de economías de escala y las realidades viales de Caldas puede ser el Turbo con capacidad según modelo hasta de 5.5 Toneladas o similares que en el mercado automotor se encuentran como vehículos repotenciados.

Una vez evaluada la revisión de los escenarios diseñados, se concluyó que en todos los casos la alternativa de mejor desempeño integral es el Municipio de La Dorada, no obstante en algunos escenarios es interesante el desempeño de los Municipios Palestina y Supía que de todas maneras pueden ser tomados en consideración por el decisor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARDONA, C.A., TAMAYO, J. A. **Oportunidades para el desarrollo rural en Caldas: Infraestructura educativa, TICS y agroindustria**, 2010 Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. ISBN:978-958-44-7602-9
- DASKIN, M., S, **Network and Discrete Location: Models, algorithms and Applications**, 1995. Wiley, New York.ISBN: 3-540-42172-6
- DREZNER, Z.AND HAMACHER, H. **Reverse logistics**, New York, 2004. Springer
- FARAHANI, R. Z., STEADIE SEIFI, M., ASGARI, N. Multiple criteria facility location problems: A survey, **Applied Mathematical Modelling**, Vol. 34, No. 7, pp. 1689-1709, 2010
- HANDABAKA, R. **Vías del transporte y terminales de carga en una confederación Suramericana de Naciones.**, Buenos Aires Argentina, 2009. Arte gráficas Bischi S.A.
- KLOSE, A., DREXL, A. Facility location models for distribution system desing. , **European Journal of Operational Research**, No 162, pp. 4-29, 2004.
- MELO, M. T., NICKEL, S., SALDANHA-DA-GAMA, F. Facility location and supply chain management - A review, **European Journal of Operational Research**, Vol. 196, No. 2, pp. 401-412, 2009.
- MESA, J. A., BOFFEY, T. A review of extensive facility location in networks, *European Journal of Operational Research*, Vol. 95, No. 3, pp. 592-603, 1996.
- MINISTERIODEAGRICULTURA. Biocombustibles. Colombia. 2010. Available: <http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx> (Accessed May 2010)
- ORTEGA, M., GARCÍA, A. Revisión bibliográfica del problema multiperiodo de localización de instalaciones con capacidades distintas: IX CONGRESO DE INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN GIJÓN, 8 y 9. Madrid, 2005.
- REVELLE, C. S., EISELT, H. A., DASKIN, M. S. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science, **European Journal of Operational Research**, Vol. 184, No. 3, pp. 817-848, 2008.
- SARACHE CASTRO, W. A. **Métodos aplicados a la localización de instalaciones**, Ibagué-Colombia, 1996, El Poirá S.A
- SARACHE, W. A., CARDONA, C. A., TAMAYO, J. **Localización y sistemas de información logísticos**, Manizales, 2007. Artes gráficas Tizan. ISBN: 978-958-44-5167-5
- SULE, D. **Logistics of facility location and allocation**, New York, 2001. Dekker, Inc.
- TAWFIK, L., CHAUVEL, A. M. **Administracion de la produccion**, México, 1994. McGraw Hill
- TORRES, J. E. **Camino recorrido, retos y perspectivas del desarrollo de biocombustibles en Colombia**, 2009.
- VERA, J. **El programa de biocombustibles en Colombia**. Colombia, 2009.