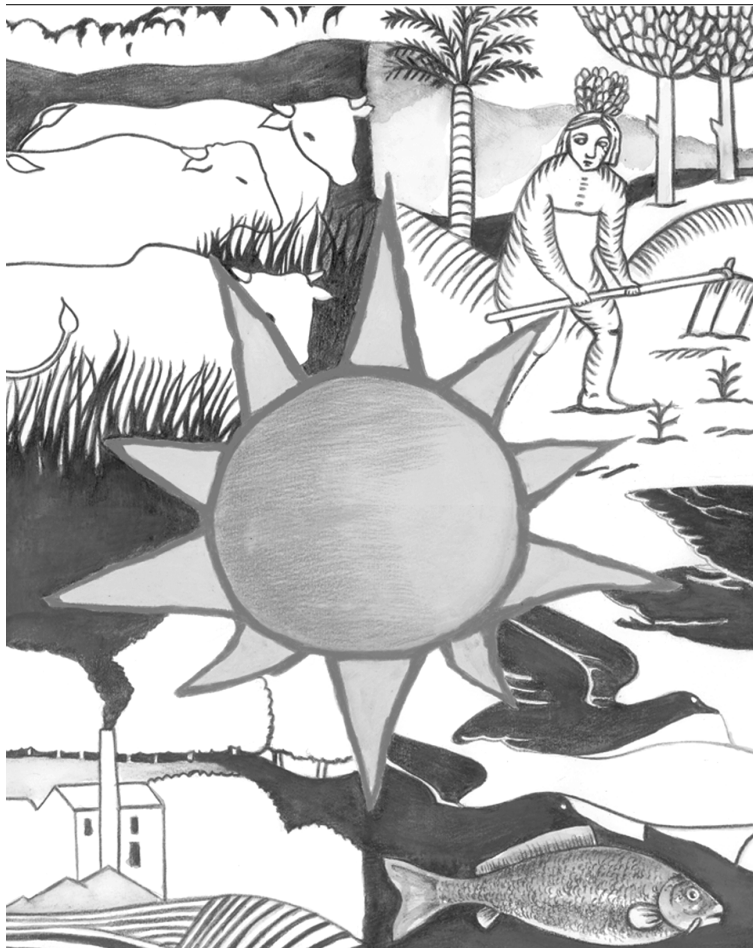


## **IMPACTO DEL TREN EN EL USO DE LA TIERRA DE SABANA OCCIDENTE (COLOMBIA): UN MODELO REGIONAL**

Impact of railroad on land uses of Sabana Occidente  
(Colombia): a regional model.

*Luz Ángela Rodríguez*



Manuel Antonio Maira 1265 B, Providencia. Santiago de Chile.  
Correo electrónico: [larodri1@tutopia.com](mailto:larodri1@tutopia.com)

## RESUMEN

La presente investigación hace una evaluación ex-ante el impacto de la habilitación del tren en el uso de la tierra de la provincia de Sabana Occidente (Colombia). Para ello, se realiza una simulación del efecto del tren en la accesibilidad de la provincia al mercado central de Bogotá y especifica modelos econométricos para explicar el uso de la tierra en función de la accesibilidad y otras variables específicas de sitio. El Tren de Cercanías es un proyecto actual del Ministerio de Transporte que conecta varios municipios de la Sabana con Bogotá. Diferentes estudios que justifican este proyecto hacen énfasis sólo en aspectos de factibilidad económica, descuidando aspectos relacionados con la dinámica económica de la región. Para subsanar este descuido, esta investigación usó SIG (Sistemas de Información Geográfica) y modelos de econometría espacial para analizar el impacto del tren en el uso de la tierra de Sabana Occidente. Los resultados mostraron que la habilitación del tren mejora la accesibilidad al mercado de Bogotá y que esta variable, como una aproximación del costo de transporte, deja de ser significativa para explicar la distribución espacial de los usos de la tierra, lo cual conduce a la conclusión de que la introducción del sistema ferroviario posiblemente homogeniza la renta de ubicación al disminuir los costos de acceso y muy probablemente conduce a la urbanización de tierras en usos agropecuarios. Finalmente, se resalta que la presente investigación no sólo previene a las autoridades sobre las posibles consecuencias de la rehabilitación del tren en la dinámica socioeconómica de la región sino que sirve de guía en el proceso de toma de decisiones y la planificación territorial.

Palabras claves: tierra, tren, SIG, modelo, Colombia.

## SUMMARY

The dissertation makes an ex-ante evaluation of the changes in land use resulting from the reopening of the “Tren de Cercanías” in the Province of Sabana Occident (Colombia). The accessibility effect from this region to Bogotá’s central market is simulated and a model is specified to explain land use as a function of accessibility and biophysics factors. The “Tren de Cercanías” is a Ministry of Transportation project that connects several towns in Sabana Occidente. Several studies justifying this project have emphasized only its economic viability; instead, this paper uses GIS (Geographical Information System) and spatial econometric models in order to analyze the impact of the train on regional land use. The results show that the project improves accessibility to Bogota’s central market and that this variable, as a proxy for transport cost, loses significance in explaining land use distribution because the project leads to uniform location rent in Sabana Occidente and could produce a dramatic change in land use, expanding urban use and contracting agricultural uses. This study not only sheds light upon some possible consequences at the moment of implementing this project, but also it is a guide in the decision making process.

Keys words: land use, railroad, policy, GIS, models, Colombia.

## INTRODUCCIÓN

Diversos estudios señalan que Bogotá ha venido convirtiéndose en un área metropolitana. Esta región metropolitana se ha generado de forma espontánea, sin que haya llegado a ser reconocida y sin que existan entes encargados de regularla. Ello hace que, a pesar de los avances en la formulación de planes de ordenamiento territorial por parte de cada municipio, el ordenamiento territorial de la región tenga poca efectividad y los proyectos comunes a más de un municipio sean ignorados, como el caso del Tren de Cercanías.

El actual proyecto de rehabilitación del Tren de Cercanías es común a toda la región y es de esperarse que traiga consecuencias tanto para Bogotá como para la Sabana, puesto que el crecimiento físico y la evolución espacial de la región tienen estrecha relación con la red vial y la accesibilidad de la Sabana a Bogotá y viceversa.

Según los planteamientos del Ministerio de Transporte, el actual proyecto de la habilitación del transporte férreo en la Sabana de Bogotá tiene por objetivo descongestionar las vías de acceso, solucionando así un problema de transporte en la región (Jaramillo & Alfonso 2000, citado por Maldonado 2001). Para la evaluación económica de este proyecto se han contratado diversos estudios de factibilidad y de demanda pero se ha prestado poca atención a analizar los impactos que el tren podría tener sobre aspectos relacionados con la dinámica socioeconómica de la región.

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo de análisis regional para evaluar los impactos de la habilitación del tren sobre el uso de la tierra y sus consecuencias para el desarrollo de la región.

Para la realización de dicha evaluación, se usan herramientas tanto de los sistemas de información geográfica como de la econometría, que al ser integradas a la teoría económica per-

mite modelar explícitamente la dimensión espacial de la decisión económica.

En términos metodológicos, el presente trabajo hace un aporte a la incursión de estas nuevas herramientas en el análisis de problemas económicos en Colombia y llama la atención sobre la importancia que ellas tienen para reactivar la investigación en geografía económica.

Esta investigación se divide en cinco partes, la primera es la presente introducción. En la segunda parte se presenta la historia del tren en Colombia y el proyecto de rehabilitación del Tren de Cercanías. En la tercera parte, con ayuda de los sistemas de información geográfica, se simula el efecto que tendría la habilitación de la línea férrea de occidente en la accesibilidad de la provincia de Sabana Occidente al mercado de Bogotá. Con estos resultados se analiza cualitativamente la relación entre la accesibilidad al mercado y los usos de la tierra de Sabana Occidente, estos resultados son presentados en la cuarta parte. En la quinta parte se estima un modelo econométrico de uso de la tierra en función del costo de acceso al mercado, al cual hemos llamado modelo básico y un modelo econométrico de uso de la tierra en función tanto del costo de acceso como de variables biofísicas y geográficas, al cual hemos llamado modelo ampliado. Finalmente se presentan las principales conclusiones de la investigación.

## EL TREN EN COLOMBIA

### *Nacimiento y muerte de los Ferrocarriles Nacionales*

La construcción de la red férrea nacional se inició en 1850 con el ferrocarril interoceánico de Panamá y tuvo un amplio período de desarrollo hasta 1890. A partir de este período y

hasta 1978 el tren fue un medio de transporte de carga muy usado, especialmente para la integración de los puertos marítimos y fluviales con las principales zonas de producción y de población del país, entre los que cabe mencionar las líneas férreas de Bolívar, Antioquia, Del Pacífico, Cúcuta, Santa Marta, Cartagena, Dorada, Girardot y la Sabana de Bogotá (García et al. 1974).

Desde 1980 empieza la crisis ferroviaria, aunque la caída en el transporte de pasajeros había comenzado desde hacía tres décadas, como se aprecia en la Fig 1.

Se han realizado diferentes investigaciones sobre las causas del deterioro del tren como medio de transporte en Colombia. Aunque se han realizado fuertes debates acerca de los responsables de la crisis ferroviaria aún persiste la polémica (Cock et al. 1991); sin embargo, se pueden encontrar algunas hipótesis comunes a varias investigaciones, entre las que se destaca la competencia de las carreteras cons-

truidas paralelamente a las líneas férreas. Dicha competencia ha sido considerada desventajosa para el tren debido a que mientras el gobierno invertía en la construcción y mantenimiento de carreteras, se obligaba al tren a que invirtiera sus ingresos en la construcción y mantenimiento de sus vías (Flórez 1995).

Desde 1989 se iniciaron profundos cambios estructurales e institucionales de los ferrocarriles relacionados con la rehabilitación del tren como medio de transporte de carga. Hacia 1992 se reanudó el transporte de carga en las líneas férreas de Lenguazaque–Ciéna-ga, Medellín-Santa Marta, La Loma-Santa Marta, Buenaventura-Armenia y Ferrovías realiza nuevos contratos de concesión con otras empresas para rehabilitar las demás líneas férreas en el país, buscando reparar las fallas del pasado y mejorando la velocidad de desplazamiento para hacerlo competitivo con los otros medios de transporte.

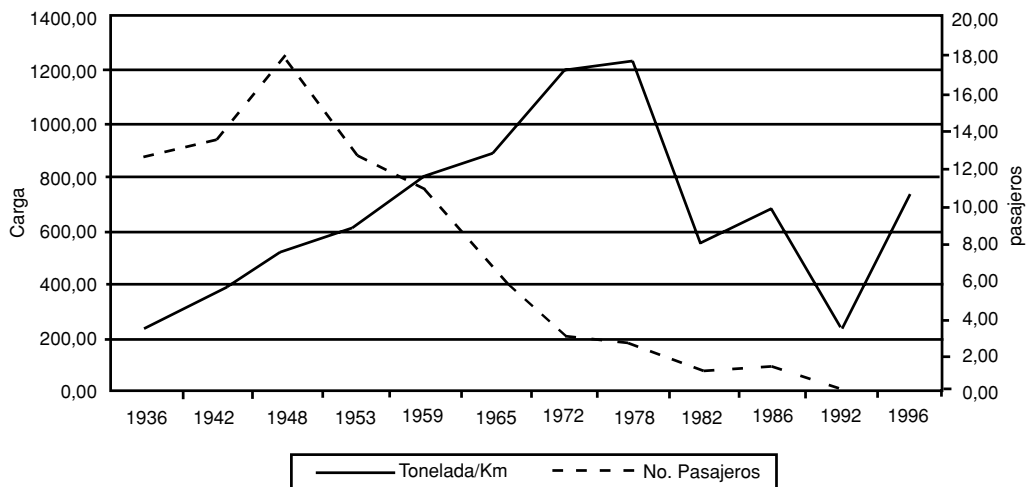


FIGURA 1. ESTADÍSTICAS DEL TREN EN COLOMBIA. Fuente: García et al. 1974, Dane (2000).  
Railroad statistics of Colombia.

*El proyecto para el resurgimiento del tren de la Sabana*

El Tren de Cercanías se refiere a la conexión de una gran ciudad con sus municipios vecinos, los cuales conforman áreas metropolitanas. En el caso de la Sabana de Bogotá, el Tren de Cercanías es un proyecto que propone la rehabilitación de las líneas férreas existentes entre Bogotá y los municipios de la Sabana como una respuesta a la movilidad de los habitantes de estos municipios (Steer Davies Gleave 2001).

El proyecto tiene por objetivo descongestionar las vías de acceso urbanas y prestar un servicio de transporte eficiente en la Sabana, integrado al Sistema de Transporte Masivo Metro y Transmilenio. La propuesta es liderada por el gobierno nacional a través del Ministerio de Transporte y cuenta con el apoyo de la Gobernación de Cundinamarca y las alcaldías de los municipios por los que pasará el tren y se pretende que sea financiado principalmente con recursos privados a través de concesiones (Maldonado 2001).

La justificación de la realización de este proyecto se relaciona con el rápido crecimiento de la región metropolitana de Bogotá, la explosión urbana y la alta movilidad de poblaciones entre Bogotá y los municipios periféricos. Como se aprecia en la Tabla 1 la tasa de crecimiento de la ciudad y los municipios es alta y cada vez el crecimiento es mayor en los municipios periféricos que en Bogotá, creándose zonas dispersas por la Sabana para vivienda y actividades económicas relacionadas directamente con la ciudad.

Adicionalmente, existe una fuerte dependencia de los municipios respecto de Bogotá, que genera una gran cantidad de viajes desde y hacia la capital y ha llevado a convertir algunos municipios en “dormitorios”, mientras que otros, de vocación principalmente agropecuaria, toman a Bogotá como su principal mercado.

Período	Bogotá	Periferia
1964-1973	5,25%	3,05%
1973-1985	3,35%	4,56%
1985-1993	3,31%	6,04%

TABLA 1. TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN. Fuente: Maldonado (2001).

Growth rate of population

Unido a la importancia económica de Bogotá, se debe tomar en cuenta su importancia como centro político, todo lo cual conduce a crear un problema de congestión de sus vías de acceso así como de las vías internas, que justifican la rehabilitación del tren para la Sabana y su integración al sistema de transporte masivo de Bogotá.

EL TREN DE SABANA OCCIDENTE

*Habilitación del tren de Sabana Occidente*

El Tren de Cercanías de la Sabana de Bogotá está conformado por varias líneas férreas existentes desde 1880, las cuales aparecen en la Tabla 2.

De las líneas férreas que aparecen en la Tabla 2, el estudio de factibilidad económica y financiera realizados por el Convenio Ferrovías, Renfe (2000) y el Estudio de Demanda realizado por Steer Davies Gleave (2001), concluyen que la línea recomendada para iniciar la habilitación del Tren de Cercanías es la que une a Bogotá con Facatativá.

La línea férrea Bogotá-Facatativá, también conocida como la Línea de Occidente, tiene impacto directo en cuatro municipios de la Provincia de Sabana Occidente: Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá, tal como lo muestra la Fig 2. También tiene impacto indirecto en tres municipios más: El Rosal, Zipacón y Bojacá. En total impacta a estos siete

Línea	Longitud/km	Municipios Involucrados
Bogotá-Facatativá	40	Funza, Mosquera, Madrid, Facatativá
Bogotá-LaCaro	34	La Caro
La Caro- Nemocón	34	la Caro, Chía, Cajicá, Zipaquirá, Nemocón
La Caro-Suesca	40	La Caro, Briceño, Tocancipa, Gachancipa, Suesca
Suesca Chocontá	19	Suesca, Choconta.

TABLA 2. LÍNEAS FÉRREAS DEL TREN DE CERCANÍAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ Fuente: Ministerio de Transporte, citado por Maldonado (2001).  
Railroad lines on Sabana of Bogotá

municipios de los diez que conforman la Provincia y por tanto se puede considerar que la habilitación de esta línea férrea es un proyecto de importancia para toda la Provincia de Sabana Occidente.

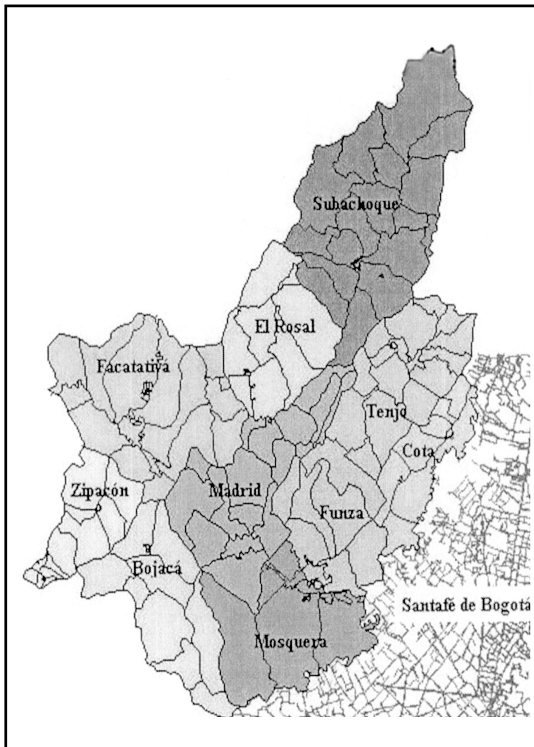


FIGURA 2. LOS MUNICIPIOS DE SABANA OCCIDENTE. COLOMBIA.  
Municipalities of Sabana Occidente Colombia.

En la Fig. 3 se observa la distribución espacial del proyecto de habilitación de la línea de Occidente que fue señalada por el estudio de Steer Davies Gleave (2001) como la alternativa más viable. Esta línea parte desde la Estación de la Sabana, localizada en el centro Bogotá, pasa por tres estaciones dentro de la ciudad hasta llegar a la Estación de Fontibón, en el límite de la ciudad y luego sale del perímetro y llega al municipio de Mosquera y el municipio de Funza. Hacia el kilómetro 26.5 llega al municipio de Madrid. En el kilómetro 36 tiene una estación en la vereda Cartagenita, que pertenece al municipio de Facatativá y de allí existe una bifurcación hacia el municipio de Zipacón y el municipio de Bojaca. Después de recorrer 40 kilómetros llega a la estación del municipio de Facatativá.

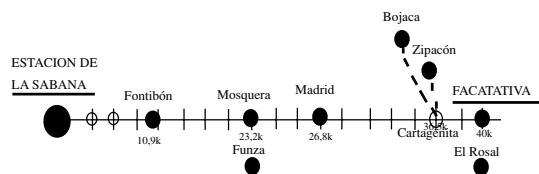


FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LÍNEA FÉRREA DE SABANA OCCIDENTE, COLOMBIA. Fuente: Flórez (1995).  
Spatial distribution of railroad lines of Sabana Occidente, Colombia.

Los municipios involucrados en la línea Bogotá-Facatativá han tenido un desarrollo industrial importante, son grandes productores agropecuarios y tienen agroindustrias fuertemente demandantes de mano de obra, como es el caso de la producción de flores. Ello hace necesario preguntarse acerca del impacto que en materia de accesibilidad a la ciudad de Bogotá y patrón de distribución de uso de la tierra tendría la habilitación del Tren de Cercanías para la región.

### *La accesibilidad de la región*

Tal como lo señala Polése (1998) el espacio geográfico, y, más específicamente, la distancia implica costos, tanto para los particulares como para las empresas. Cubrir la distancia que separa dos puntos en el espacio geográfico exige esfuerzos, recursos y tiempo. Estos costos son por regla general más elevados cuanto mayor sea la distancia, de manera que al calcular la distancia entre dos puntos indirectamente se está haciendo el cálculo de los costos de transporte necesarios para realizar dicho desplazamiento.

Para establecer el efecto que la habilitación de la línea férrea de occidente tiene sobre el uso de la tierra de Sabana Occidente, es necesario establecer cómo se afecta la accesibilidad en términos de distancia entre la región y un punto particular en Bogotá. Dado que el uso de la tierra está ligado a la producción y a la distribución de dicha producción, el lugar de Bogotá más apropiado para calcular la accesibilidad es la central de mercado, Corabastos. Lo que se estaría calculando es un mapa de costo de acceso desde cualquier lugar de Sabana Occidente a Corabastos. Dicho mapa lo hemos llamado “Accesibilidad a Corabastos” y fue calculado en minutos o tiempo de desplazamiento, el cual aproxima el costo de acceso al mercado.

El procedimiento para calcular la accesibilidad se describe a continuación.

Para calcular la accesibilidad fue necesario considerar tanto la tecnología utilizada para desplazarse, como las características del medio de transporte. La Fig. 4 permite apreciar que toda la Provincia dispone de vías de acceso que la conectan con la ciudad de Bogotá.

Tanto el tipo de transporte como sus características influyen en la velocidad de desplazamiento al mercado y por tanto afecta los costos de acceso. Un procedimiento usado en los Sistemas de Información Geográfica para incluir estos factores es crear un índice de fricción, que pondere las velocidades de los tipos de transporte y de vías.

En el caso del desplazamiento por tren, el estudio de Steer Davies Gleave (2001) considera que el Tren de Cercanías en el línea Sabana Occidente, que une Facatativá con Bogotá, tendrá una velocidad de desplazamiento aproximadamente de 50 km/hora, velocidad que se mantiene homogénea durante todo el recorrido, con estaciones en los centros poblados de los municipios y cuatro estaciones dentro de Bogotá.

Para efectos del cálculo del acceso a Corabastos, central de Mercado de Bogotá, se considera que el tren evitaría el congestionamiento vehicular porque una de las estaciones del tren dentro de Bogotá está en la Avenida las Américas, que es un lugar muy cercano a Corabastos. Respecto a la relación entre el transporte por tren y por carretera, Machado (1988) presenta información sobre los costos de transporte del ferrocarril basado en los tres ferrocarriles para los cuales existe tal información: el ferrocarril del Cerrejón en la Guajira, Ferrocarriles Nacionales y Acerías Paz del Río, concluyendo que la información más comparable con el caso de la Sabana de Bogotá es la correspondiente a Paz del Río porque transporta carga en distancias similares a las analizadas para la Sabana y porque tiene información confiable.

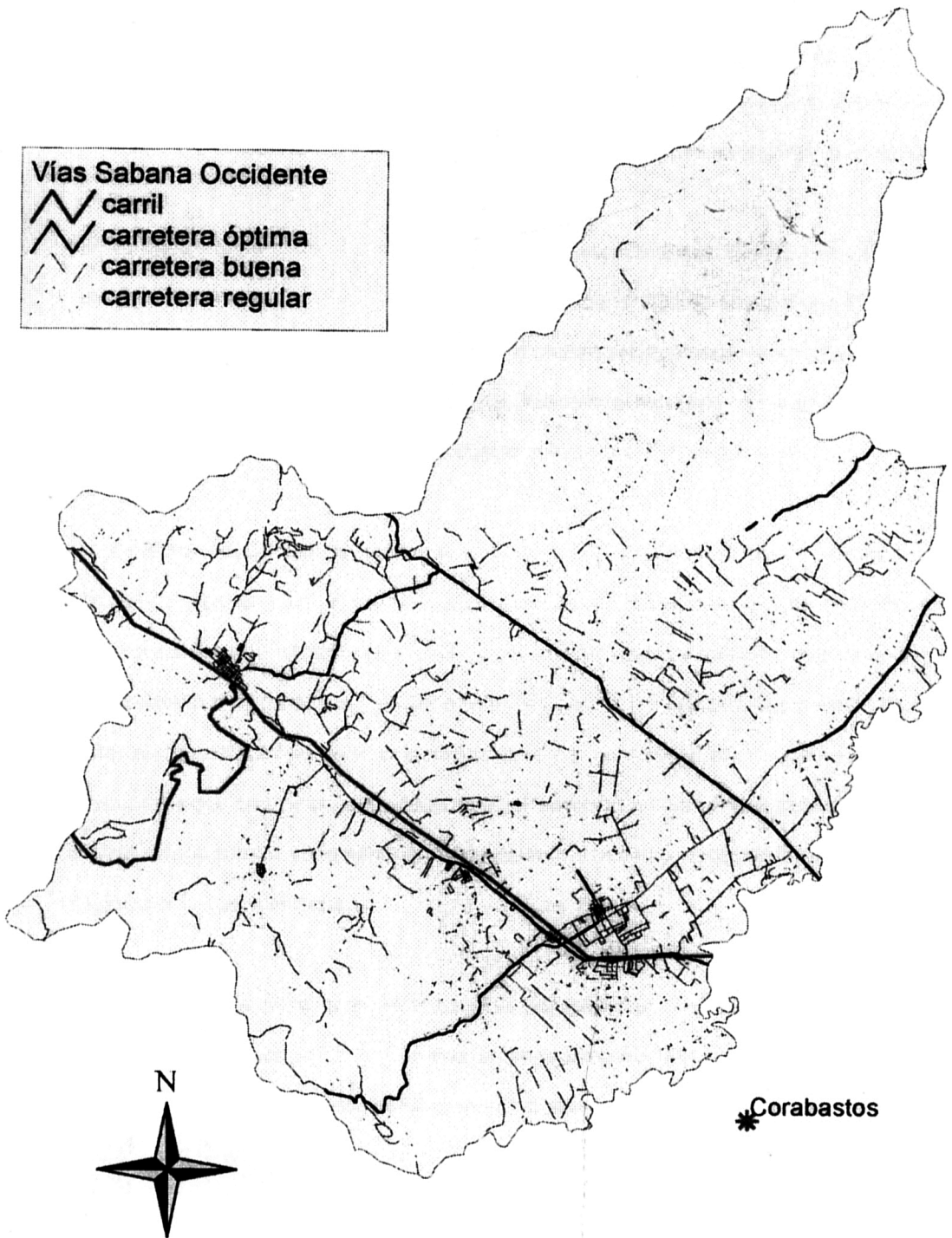


FIGURA 4. VÍAS DE SABANA OCCIDENTE, COLOMBIA.  
Vias of Sabana Occidente, Colombia.



Para el caso de Paz del Río, el costo de transporte por tonelada-kilómetro es de quince pesos (\$15) para el año 1987; este costo involucra viajes sin carga, mientras que el costo de transporte automotor es de treinta pesos tonelada-kilómetro (\$30), es decir que el transporte en tren es un 50% más barato. (Machado, 1988). Otros estudios como el de Guzmán (2001) también señala que el transporte por ferrocarril tiene menores costos que el transporte por vehículo automotor.

Machado (1988) realiza una comparación entre la movilización en tren frente a la movilización por carretera, concluyendo que hay mucha similitud en los tiempos de desplazamiento aunque el tren tendría la ventaja de no ser afectado por la congestión que se presenta en las carreteras.

Por lo anterior, se decidió utilizar un índice de fricción que pondere la distancia entre cualquier punto de la zona de estudio y Corabastos, de tal manera que refleje la ventaja en velocidad o tiempo de desplazamiento que tiene el tren frente a la carretera. Así, para la misma distancia el tren tendrá un índice de fricción 1 mientras que la carretera optima tendrá un índice de fricción 1,1.

Adicionalmente, se tuvo en cuenta que existen diferentes clases de carreteras en la región, las cuales pueden agruparse en tres tipos: Carreteras óptimas que en general agrupan las vías nacionales que son de doble carril y permanecen en buenas condiciones; Carreteras buenas, que son vías rápidas y pavimentadas que tienen tramos de dos carriles y otros de un carril; Carreteras que pueden considerarse regulares y hacen referencia principalmente a vías veredales, angostas y algunas sin pavimentar.

Al desplazarse por diferentes carreteras el efecto sería equivalente a alargar o acortar la distancia, dependiendo de la vía por la que se desplace. Por ejemplo si un productor se encuentra en el municipio de Mosquera puede

elegir transitar por diferentes carreteras para llegar a Bogotá, si elige transitar por carreteras regulares su tiempo de desplazamiento será mayor que si elige desplazarse por carreteras óptimas. Esta información fue verificada con visitas de campo.

Teniendo en cuenta las diferencias entre los diversos tipos de carretera, se creó un índice de fricción para cada una. Se consideró que la carretera óptima tiene 1,1. Para el caso de los otros tipos de vías se aproxima el incremento en tiempo que ocasionaría recorrer la misma distancia. Los valores de fricción resultantes de este razonamiento fueron: vía óptima 1,1, vía buena 1,4 y vía regular 2,2 los cuales son valores arbitrariamente elegidos para mostrar un comportamiento creciente del tiempo necesario para recorrer una misma distancia por diferentes carretera.

Adicionalmente, se consideró una fricción de usos suponiendo que por donde no hay vía se desplaza a pie y otro índice incorporando el dato de pendiente, que es un factor clave a tener en cuenta para calcular el costo de acceso. Una vez calculados estos índices de fricción, se incorporan espacialmente en el mapa de vías y de usos, de tal manera que se genera un único mapa de fricción que sirve de ponderador para calcular el mapa de distancia al mercado.

Finalmente, se llega a la obtención del mapa de distancia al mercado para cada punto de la Provincia de Sabana Occidente. El cálculo del mapa resultante fue hecho utilizando el Programa IDRISI, con el menú de costo de distancia incorporando las fricciones señaladas anteriormente como un mapa de fricción. Con la opción "map calculator" se realizó la conversión del mapa de distancia medida en metros al mapa de costos de acceso medida en minutos.

El mapa de accesibilidad calcula los minutos que demora un productor ubicado dentro de la Provincia en acceder a la Central de

Mercado de Bogotá. Este mapa indica que cualquier productor ubicado en la zona de color claro logra acceder al mercado central de Bogotá en menos de 20 minutos, mientras que un productor ubicado en la zona más oscura demorará alrededor de dos horas en llegar a Corabastos. Este resultado es una aproximación del costo de transporte en la zona de estudio.

El procedimiento para calcular la accesibilidad al mercado de Bogotá, anteriormente descrito, se repitió sin tener en cuenta el tren, de tal manera que fuera posible comparar el efecto que el tren tendría en la accesibilidad

de la región. Este resultado se presenta en la Fig. 5.

Para municipios alejados de Bogotá por los cuales cruza el tren se aprecia gráficamente una reducción del tiempo de acceso al mercado de Bogotá, tal como lo muestra la Fig 5. ¿Qué significa y que consecuencias tiene en el uso de la tierra que los habitantes y productores de la Provincia de Sabana Occidente accedan al mercado de Bogotá en menor tiempo, si además se tiene en cuenta que dentro de la misma Bogotá, pasar de un extremo al otro toma más de una hora de viaje?. Para ello hay necesidad de modelar su efecto.

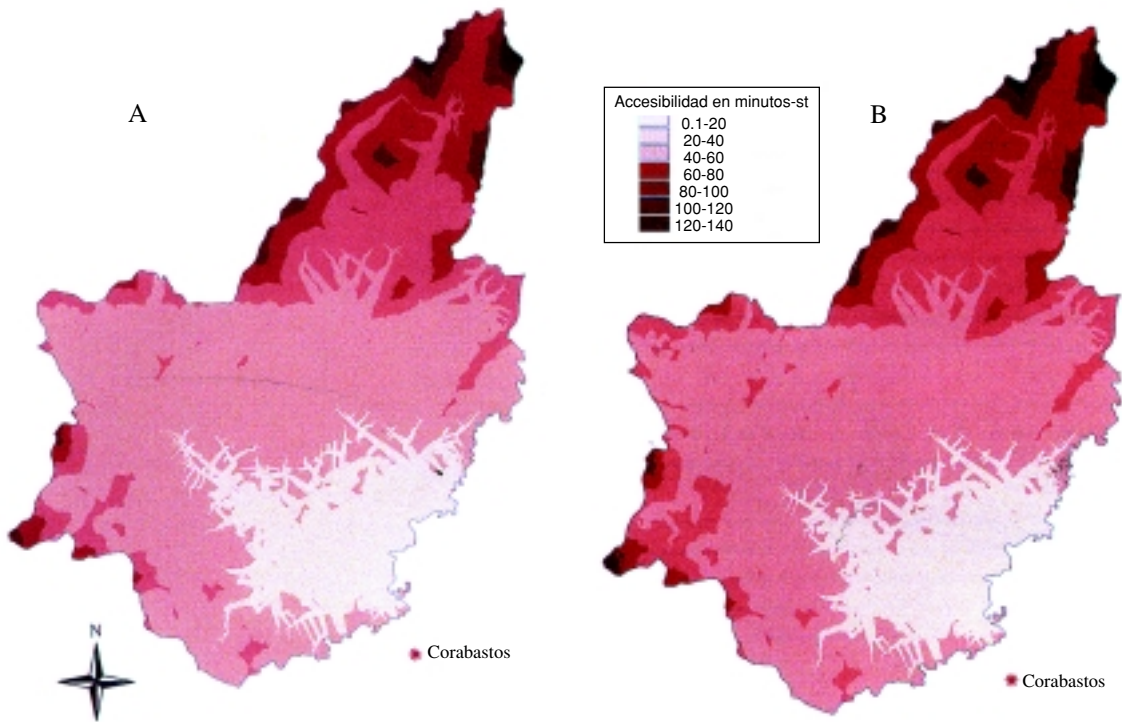


FIGURA 5. MAPA DE ACCESIBILIDAD A CORABASTOS, A= CON TREN Y B= SIN TREN. Fuentes originales: Gobernación de Cundinamarca y CAR.

Access map to Corabastos: A= with railroad and B= without railroad.

ACCESIBILIDAD Y USOS DE LA TIERRA DE SABANA OCCIDENTE

*La Provincia de Sabana Occidente*

Sabana Occidente está localizada en la Cuenca Media del Río Bogotá, a 2600 msn y es parte del departamento de Cundinamarca, en el centro de Colombia. Aunque la provincia es parte de la cordillera oriental de Colombia, su relieve es mayoritariamente plano con presencia de algunos cerros y terrenos de montaña con pendientes de más del 20%. Toda la Provincia presenta condiciones climáticas similares, predominando la zona de vida de bosque húmedo montano bajo en el 88% de la región, con temperatura entre 12 y 18°C (Bocanegra 1999).

Su extensión es de 106.091 ha equivalente a 1.060 km<sup>2</sup> y está conformada por 10 municipios que albergan una población de 243.736 habitantes y en promedio presenta una densidad poblacional de 230 habitantes por km<sup>2</sup>.

La provincia de Sabana Occidente limita por el oriente con Bogotá, capital de Colombia y la ciudad más grande del país. De acuer-

do con el estudio del CEDE (1998), siete de los municipios que conforman Sabana Occidente hacen parte del área metropolitana de la ciudad de Bogotá, por tener fuertes relaciones funcionales, demográficas, geográficas y de servicios públicos con la capital.

*Estructura espacial de los usos de la tierra*

En el aspecto económico, Sabana Occidente presenta el segundo PIB municipal más alto del Departamento de Cundinamarca, es el primer productor de leche y el segundo productor agrícola, especialmente de cultivos transitorios como la papa y las hortalizas (Gobernación de Cundinamarca, 1999). Ello se refleja en la distribución espacial de los usos de la tierra de la Provincia presentada en la Tabla 3 y la Fig 6, en los cuales se aprecia que casi la mitad de la tierra de la provincia son pastos manejados.

Los usos fueron clasificados en 6 categorías, tomando como base la clasificación propuesta por la FAO (1995), citada en Briassoulis (2000). El mapa de las categorías de usos de la tierra es presentado en la Fig 6.

Categorías de Uso	Usos Incluidos	Área (ha)
Agrícola	arveja, cebada, café, maíz, hortaliza, papa, invernaderos	16.691
Mixto	combinación de cultivos con pasto	19.313
Pasto Natural	pasto natural, rastrojo	9.097
Pasto Manejado	pasto manejado	48.759
Bosque	bosque de plantación, bosque natural, vegetación de páramo	9.042
Otros	lagos, lagunas, ríos, afloramiento rocoso, canteras, urbano.	4.592

TABLA 3. CATEGORÍAS DE USOS DE LA TIERRA EN SABANA OCCIDENTE, COLOMBIA.  
Categories of land use on Sabana Occidente, Colombia.

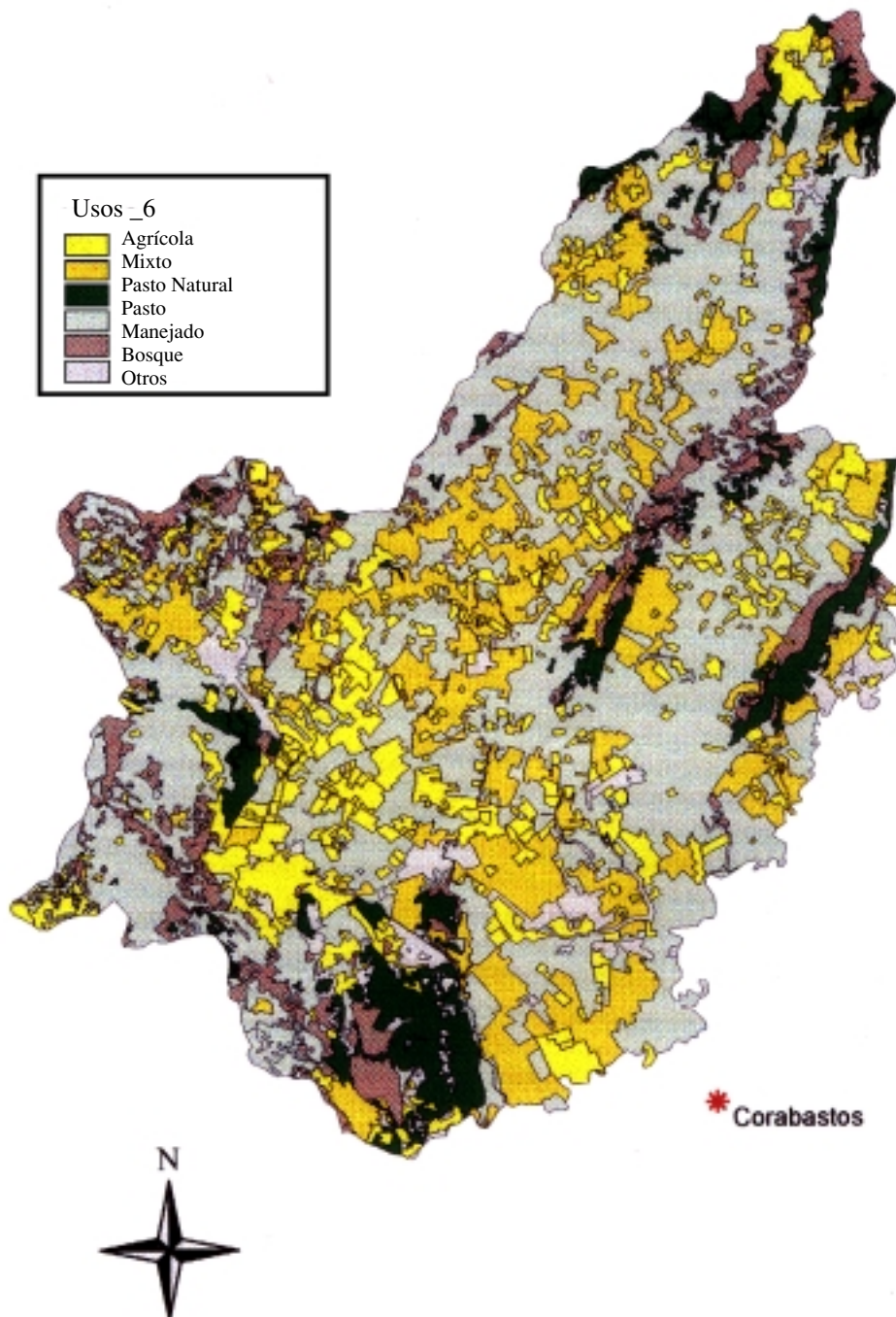


FIGURA 6. USOS DE LA TIERRA DE SABANA OCCIDENTE, COLOMBIA. Fuentes originales: Gobernación de Cundinamarca y CAR.

Land uses of Sabana Occidente, Colombia.

*Los usos de la tierra y la accesibilidad al mercado*

Al sobreponer el mapa de uso de la tierra al mapa de accesibilidad que incluye el tren, se observa que algunos usos tienden a ubicarse en la zona de mayor acceso al mercado, como es el caso del uso agrícola, mientras que otros tienden a ubicarse en las zonas más alejadas.

La Fig. 7 ilustra el caso del uso agrícola y el uso bosque, aquí se retoma el mapa de accesibilidad mostrado en la Fig. 5 y se superponen los polígonos correspondientes a cada uso; lo que se aprecia es que la mayoría de los usos agrícolas ciertamente están ubicados a menos de una hora del mercado central de Bogotá, mientras que en el caso del uso bosques se resalta su ubicación en zonas periféricas en la Provincia. Para el caso del uso pasto manejado es menos evidente la relación entre uso y accesibilidad porque los pastos representan más de la mitad del área de

la provincia y se encuentran dispersos por toda la región.

Los casos agrícola y bosque muestran empíricamente que existe una relación espacial entre usos de la tierra y acceso al mercado, situación que ha sido objeto de estudios de destacados teóricos, entre ellos Von Thünen que es considerado pionero.

Actualmente las teorías económicas dirigidas a explicar los patrones de uso de la tierra, junto con los avances en Sistemas de Información Geográfica, han permitido desarrollar modelos econométricos de uso de la tierra que tienen como fuente de información la cartografía de un determinado territorio, permiten identificar relaciones espaciales y hacer pronósticos sobre usos futuros probables (Briassoulis 2000). Para el caso de Sabana Occidente se ha estimado un modelo econométrico que toma la información de los mapas presentados anteriormente.

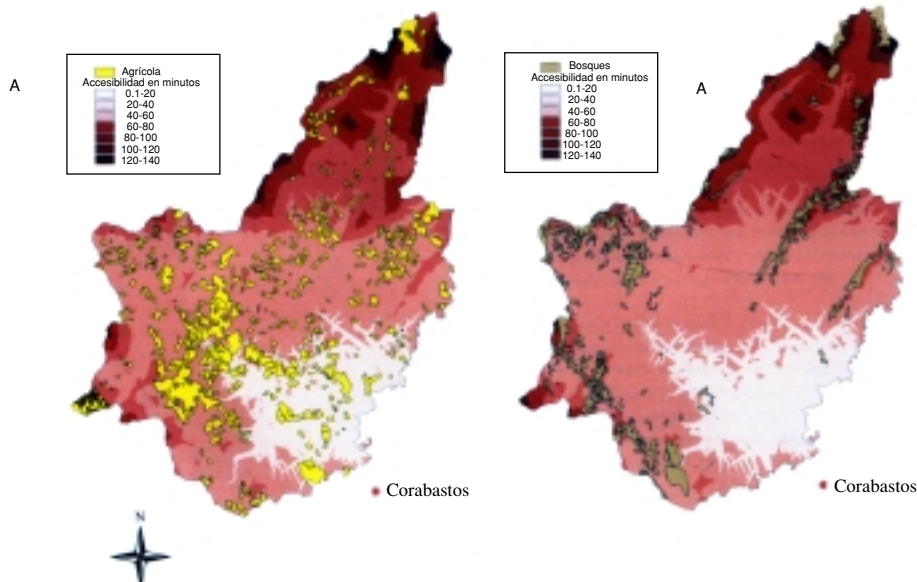


FIGURA 7. LA RELACIÓN ENTRE USOS DE LA TIERRA Y ACCESIBILIDAD AL MERCADO.

A= uso agrícola. B= uso bosque. En ambos casos con tren. Fuentes originales: Gobernación de Cundinamarca y CAR.

Land uses and acces to market.

MODELO DE USO DE LA TIERRA

Los modelos econométricos de uso de la tierra están basados en la teoría económica, algunos inspirados por la teoría de la renta de la tierra de Von Thünen, en la cual la distancia al mercado es considerada una buena aproximación de los costos de transporte y éste a su vez es un determinante clave de la decisión del uso de la tierra por parte de los propietarios porque afecta la renta de ubicación.

La renta de ubicación refleja la ganancia que se genera por la ventaja de la cercanía de la fuente de producción al mercado y hace referencia a esos ingresos adicionales obtenidos que no se atribuyen a ningún aumento del esfuerzo por parte del productor sino que se deben únicamente a la ubicación del terreno (Polèse 1998).

En esta dirección se encuentran los trabajos de Chomitz & Gray (1996) y Nelson & Hellerstein (1997), los cuales retoman el modelo de la renta de Von Thünen y lo transforman en un modelo econométrico de uso de la tierra, incorporando explícitamente atributos específicos del sitio. Nelson & Hellerstein (1997) consideran que la decisión de hacer un uso particular en una parcela surge de comparar el valor presente neto del beneficio obtenido entre posibles usos, lo cual se expresa matemáticamente en la Ecuación 1.

$$R_{hLT} = \int_0^{\infty} (P_{hLT+t} Q_{hLT+t} - C_{hLT+t} X_{hLT+t}) e^{-i \cdot t} dt \quad (1)$$

Donde  $R_{hLT}$  es el valor presente neto de la renta,  $P$  es el precio del producto,  $Q$  es la cantidad producida,  $C$  es el vector de costos de insumos,  $X$  es el vector de insumos;  $i$  es la tasa de descuento;  $h$  es un uso de la tierra,  $L$  es la localización y  $T$  es el tiempo.

Este modelo considera que cada productor enfrenta una función de producción tipo Cobb-Douglas ponderada por un factor de productividad generado por las condiciones del sitio

donde producen, como se expresa en la Ecuación 2. Donde  $Q$  es la cantidad producida por el uso de la tierra  $h$ ; ( $G_L$ ) es un índice de factores de sitio que afectan la productividad, el subíndice  $L$  se refiere a cada parcela;  $X_j$  son los insumos de producción:

$$Q_h = G_L \prod_j X_j^{\alpha_{nj}} \quad (2)$$

Se asume que la tecnología de producción tiene la siguiente restricción:

$0 < \alpha_{nj} < 1 \Rightarrow$  Los factores de producción son inelásticos.

$0 < \sum_j \alpha_{nj} < 1 \Rightarrow$  Los rendimientos son decrecientes a escala.

$G_L \prod_{r=1}^R G_R^{n_r}$  Representa una combinación multiplicativa de factores específicos de sitio que afectan el uso de la tierra.

Los trabajos de Chomitz & Gray (1996) y Nelson & Hellerstein (1997) consideran que la renta de ubicación puede modelarse como una función de utilidad aleatoria, que incorpora la función de producción. Para ello, parten del supuesto que los precios de los productos,  $P$ , y los costos de los insumos,  $C$ , son una función exponencial del costo de acceso al mercado.

$$\begin{aligned} P_{hL} &= e^{(\gamma_0 h + \gamma_1 h L D h L)} \\ C_{hL} &= e^{(\delta_0 h + \delta_1 h L D h L)} \end{aligned} \quad (3)$$

Donde  $D$  es una medida del costo de acceso desde una parcela  $h$  que tiene el uso de la tierra  $L$  hasta el Mercado. La Ecuación 2 conlleva dos supuestos:

$\gamma_1 h L < 0 \Rightarrow$  El precio del producto,  $P$ , decrece cuando el costo de acceso aumenta.

$\delta_1 h L > 0 \Rightarrow$  El costo de los insumos crece cuando el costo de acceso aumenta.

Combinado las Ecuaciones 1, 2 y 3, Nelson & Hellerstein (1997) deducen un modelo econométrico para la renta:

$$\ln(R_{hLT}) = \eta_{oh} + \sum_i \eta_{Li} D_i + \eta_{2h} \ln G_h + \eta_{3h} \ln i_L + \mu_{HL} \quad (4)$$

$$= v_h N_L + \mu_{hL} \quad (5)$$

La Ecuación 5 se puede simplificar en dos componentes como lo muestra la Ecuación 6, donde  $v_h N_L$  es el componente sistemático y  $\mu_{hL}$  es el componente aleatorio. Si se asume que el componente aleatorio tiene una distribución Weibull, la Ecuación 6 puede expresarse como un Modelo Logit Multinomial:

$$Prob(y=h) = \frac{e^{V_L \beta_h}}{\sum_{k=1}^J e^{V_L \beta_k}} \quad h+1, 2, J \quad (6)$$

Donde  $V_L$  es una matriz que contiene 3 conjuntos de variables explicativas  $X$ : costo de acceso, variables geográficas específicas de sitio, variables geográficas con efectos espaciales,  $\beta_h$  es el vector de coeficientes de las variables explicativas para el uso  $h$ .

Siguiendo a Kennedy (1998), la Ecuación 6 se puede leer de la siguiente manera: la probabilidad de que un productor particular elija un uso de la tierra  $h$  está dada por la probabilidad de que la renta de la alternativa  $h$  sea mayor que la renta de las otras alternativas. Y tal como lo expresa la Ecuación 4, la renta de la tierra está en función de la distancia al mercado y un factor de productividad dado por las características del sitio.

De acuerdo con la teoría económica que está en la base de este tipo de modelos de uso de la tierra, se espera que el coeficiente que relaciona la distancia con la renta sea negativo, indicando una relación inversa: a mayor distancia del mercado central menos renta de ubicación. Se espera que las variables biofísicas beneficiosas para la productividad de la tierra tengan un signo positivo, indican-

do que a mejores condiciones de productividad mayor renta de ubicación. Finalmente, se espera que las variables geográficas de sitio tengan el signo correspondiente al efecto general en la producción, por ejemplo, si la altura favorece ciertos usos entonces su signo debería ser positivo.

### *Especificación del modelo de uso de la tierra de Sabana Occidente*

El criterio para seleccionar las variables explicativas del modelo de uso de la tierra se encuentra en la teoría económica que subyace al modelo econométrico. Tal como lo presenta Chomitz & Gray (1996), una de las variables explicativas es el costo de acceso al mercado que aproxima los costos de transporte, la cual fue obtenida del mapa de accesibilidad y el procedimiento para su cálculo fue explicado anteriormente. Las otras variables explicativas son atributos biofísicos y geográficos específicos de sitio a tener en cuenta que contribuyen a explicar la variación en la productividad potencial del recurso tierra en el proceso productivo. Estos atributos entran dentro de la función de producción como un factor de productividad tal como se mostró en la Ecuación 2.

Para el caso de Sabana Occidente los atributos específicos de sitio considerados aparecen en la Tabla 4. Los atributos geográficos tomados en cuenta fueron: Altura y Pendiente. Respecto a los atributos biofísicos se retomaron los señalados por expertos de la región que fueron entrevistados, a saber: la disponibilidad de agua y el tipo de suelo. La disponibilidad de agua se aproximó a través del cálculo del número de pozos por polígono. El tipo de suelo se aproximó con el índice de erosión y el horizonte argílico, que caracteriza la existencia o no de una capa arcillosa en el subsuelo, la cual divide los suelos entre pobres y no pobres, así como la erosión en la región.

Tipo de Variable	VARIABLES EXPLICATIVAS	Símbolo	Unidad
Atributos geográficos	Altura Pendiente	ALTURA PENDI	msm grados
Factores biofísicos	Horizonte Argílico	HTARGI	Índice*
	Erosión	EROSI	5 categorías**
	Distancia mínima a ríos y distrito de riego	DISAGUA1	metros
	Disponibilidad de agua subterránea	NPOZOS	cantidad de pozos
Variable económica	Costo de Acceso	ACCES	minutos

TABLA 4. VARIABLES EXPLICATIVAS DEL USO DE LA TIERRA EN SABANA OCCIDENTE, COLOMBIA. (\*) El índice tiene valor 0 para suelos sin horizonte argílico y 1 para suelos con horizonte argílico. (\*\*) Las categorías de erosión son: 1 sin evidencia de erosión; 2 erosión ligera; 3 erosión moderada; 4 erosión severa; 5 erosión muy severa.

Explain variables of land use in Sabana Occiente, Colombia.

#### Obtención de la base de datos

Las recientes aplicaciones empíricas de los modelos de uso de la tierra basados en modelos multinomiales logísticos parten de obtener una muestra de información georeferenciada tanto de la variable de respuesta, usos de la tierra, como de las variables explicativas consideradas en el modelo. Para el caso de Sabana Occidente esta información fue obtenida de los Sistemas de Información Geográfica, SIG, existentes para la región y complementada con visitas a la zona de estudio y reuniones con informantes claves en cada uno de los municipios. Entre éstos últimos se destacan las entrevistas con los técnicos agropecuarios de las Secretarías de Agricultura municipales y las entrevistas con los responsables de las oficinas de Planeación en las Alcaldías municipales, quienes en su mayoría suministraron información sobre los recientes planes municipales de ordenamiento territorial. Así mismo, se hicieron recorridos por la región verificando las vías por las

cuales los habitantes de los municipios tienden a desplazarse.

En la elección del tamaño del píxel al cual se crean las cuadrículas del formato “raster” de los mapas se tuvo en cuenta la resolución del mapa de usos y el polígono más pequeño de uso de la tierra en Sabana Occidente. Por lo tanto se decidió trabajar con un tamaño de píxel de 30x30 m, asegurando que todos los polígonos de uso quedan capturados.

La depuración de la información se realizó con ayuda de un mapa de incertidumbre basado en la creación de bandas alrededor de las divisiones de polígonos y se definió un tamaño de muestra tomando como criterio la minimización de la varianza asintótica.

Una vez definido el tamaño de muestra y generados los puntos que componen la muestra en el espacio de la zona de estudio, se procedió a capturar la información correspondiente en cada capa de mapa, usando el software ARCVIEW, comando “summarize zone”. El procedimiento se repitió con cada una de las capas cartográficas y se conformó la base de datos numérica para la estimación del modelo.



*Estimación del modelo empírico básico*

Con la información muestral de las variables los usos de la tierra y el costo de acceso, se estimó el Modelo Logit Multinomial para las probabilidades de uso de la tierra utilizando el programa Limdep. La estimación se hizo tomando en cuenta dos opciones: una con la variable Costo de Acceso sin incluir el tren en su cálculo y otra con la variable Costo de Acceso que si lo incluyó. De aquí en adelante nos referiremos a estas opciones como el modelo sin tren y el modelo con tren.

Los aspectos a analizar de la estimación son tres. Primero la prueba conjunta para todos los parámetros estimados utilizando la Razón de verosimilitud, que aparece en la Tabla 5, permite concluir que hay evidencia estadística que por lo menos un coeficiente estimado es distinto de cero, tanto en el modelo sin tren como en el modelo con tren.

Segundo, el Vector de probabilidades medias para las categorías de uso de la tierra que se obtiene en cada modelo estimado, muestra la distribución de las probabilidades estimadas y al ser comparada con la distribución real

MODELO BÁSICO SIN TREN		MODELO BÁSICO CON TREN	
Razón de versimilitud	918,12	Razón de versimilitud	997,09
Grados de libertad	5	Grados de libertad	5
Nivel de significancia	0.000	Nivel de significancia	0.000

TABLA 5. RESULTADOS PRUEBA DE VEROSIMILITUD MODELO EMPÍRICO.

Results of likelihood ratio test of basic empirical model.

de los usos de la tierra en Sabana Occidente permite evaluar hasta dónde el modelo captura el patrón de distribución espacial.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la estimación, mostrando que tanto en el modelo con tren como en el modelo sin tren se tiende a sobreestimar la probabilidad del uso de Pasto Manejado, que es el uso dominante en la región. Sin embargo, se puede considerar que los modelos estimados hacen una buena aproximación de la distribución espacial de los usos de la tierra en Sabana Occidente.

Tercero, se estimó el efecto marginal de la variable costo de acceso en cada categoría de uso de la tierra (ver Tabla 7).

	Usos de la Tierra		
	sin tren	con tren	dist. real
Agrícola	15%	14%	16%
Mixto	18%	19%	18%
Pasto natural	9%	9%	8%
Pasto Manejado	51%	51%	46%
Bosque	7%	7%	8%
Otros	1%	0%	4%

TABLA 6. VECTOR DE PROBABILIDADES ESTIMADAS CON EL MODELO EMPÍRICO BÁSICO.

Probabilities at the mean vector with basic empirical model.

Los resultados de la estimación se interpretan como una prueba t. Todos los coeficientes estimados individualmente son significativos a un nivel del 1%.

El análisis del signo de los coeficientes estimados da el efecto direccional del cambio en las probabilidades de uso causados por un cambio en el costo de acceso. Nótese que hay

MODELO BÁSICO SIN TREN			MODELO BÁSICO CON TREN		
Uso	costo de acceso		Uso	costo de acceso	
	Coef.	b/stErr		Coef.	b/stErr
Agrícola	-0,098%	-4,41	Agrícola	-0,227%	-10,18
Mixto	-0,476%	-18,8	Mixto	-0,374%	-14,73
Pasto Natural	0,024%	18,38	Pasto Natural	0,225%	18,34
Pasto Manejado	0,141%	4,83	Pasto Manejado	0,195%	6,83
Bosque	0,222%	20,51	Bosque	0,193%	18
Otros	-0,031%	-5,78	Otros	-0,012%	-3,43

TABLA 7. EFECTOS MARGINALES DE LOS USOS DE LA TIERRA EN EL MODELO BÁSICO.  
Marginal effects of land use in basic empirical model.

consistencia en los signos de los coeficientes en ambos modelos, lo cual es un indicador de consistencia del modelo.

Para ambos modelos los resultados son similares. Formalmente muestran que ante un aumento del 1% en el tiempo de acceso promedio al mercado, la probabilidad del Uso Agrícola y el Uso Mixto se reduce mientras que la probabilidad del Uso Pasto Natural, Pasto Manejado y Bosque aumenta.

En términos espaciales, estos resultados muestran una distribución de las probabilidades de los usos de la tierra respecto al costo de acceso al mercado; así, las probabilidades del uso mixto y agrícola tienen una relación inversa con la distancia al mercado, lo cual indica que estas actividades están dispuestas a pagar la renta de ubicación más alta y por tanto las decisiones de producción se ven afectadas por los costos de transporte.

Con los usos de pastos y bosques se tendría la situación contraria, pues a medida que aumenta la distancia al mercado la probabilidad de estos usos aumenta. Ello indica que el mercado de Bogotá no es un atractor para estos usos. Estos resultados cuantitativos son coherentes con el análisis cualitativo que resulta de observar cuidadosamente los mapas de la Fig. 7.

Se puede agregar que para el modelo que tiene en cuenta el tren, el uso de pasto natural tiene un valor de coeficiente de efecto marginal mayor que el uso de pasto manejado. Sin embargo, es necesario recordar que los modelos de probabilidad no permiten este tipo de comparaciones, pues los efectos marginales sólo indican la dirección del cambio y no la magnitud. Por tanto tiene sentido interpretar la significancia y el signo del coeficiente nada más.

*Estimación del modelo empírico ampliado*

De nuevo se estimó el modelo de Uso de la Tierra en función del costo de acceso, pero ahora incorporando también las variables biofísicas, señaladas en la Tabla 4, utilizando el Software Limdep. Otra vez, la estimación se hizo tomando en cuenta dos opciones: una con la variable Costo de Acceso sin tomar en cuenta el tren y otra con la variable Costo de Acceso considerando el tren.

La razón de verosimilitud mostrada en la Tabla 8 permite concluir que al menos una de las variables involucradas en el Modelo Empírico Ampliado es significativa para explicar la probabilidad del uso de la tierra.

<b>MODELO AMPLIADO SIN TREN</b>	
Razón de versimilitud	8955,03
Grados de libertad	30
Nivel de significancia	0,000
<b>MODELO AMPLIADO CON TREN</b>	
Razón de versimilitud	8899,03
Grados de libertad	30
Nivel de significancia	0,000

TABLA 8. RESULTADOS PRUEBA DE VEROSIMILITUD MODELO EMPÍRICO AMPLIADO.

Results of likelihood ratio test of enlarged empirical model.

Los resultados del Vector de Probabilidades Medias, que aparecen en la Tabla 9, muestran que el Modelo Empírico Ampliado sólo explica las categorías de uso mixto y uso de pasto manejado.

Por lo anterior, sólo es posible interpretar los resultados de la estimación de los efectos marginales para estas dos categorías de uso, mixto y pasto manejado, que aparecen en la Tabla 10.

	Usos de la Tierra		
	Sin Tren	Con Tren	Dist. Real
Agrícola	0%	0%	16%
Mixto	23%	24%	18%
Pasto natural	0%	0%	8%
Pasto Manejado	77%	76%	46%
Bosque	0%	0%	8%
Otros	0%	0%	4%

TABLA 9. VECTOR DE PROBABILIDADES ESTIMADAS CON EL MODELO EMPÍRICO AMPLIADO.

Probabilities at the mean vector with enlarged empirical model.

En el Modelo Empírico Ampliado que no toma en cuenta el tren, todas las variables explicativas resultan significativas, tanto para el uso mixto como para pasto manejado.

En el Modelo Empírico Ampliado con tren, la variable costo de acceso deja de ser significativa, así como la variable horizonte argílico. Para la pérdida de significancia del horizonte argílico no tenemos una explicación lógica pero para el caso del costo de acceso, que es la variable que nos mide el impacto del tren sí.

**CONCLUSIONES**

En términos globales, el anterior resultado muestra que algunos atributos de sitio, así como la distancia al mercado, influyen en la decisión de uso de la tierra, pero al habilitar el tren mejora la accesibilidad al mercado y los costos de transporte dejan de ser una variable que discrimina entre usos.

Si los costos de acceso al mercado ya no son discriminantes y si, tal como lo señala la teoría, estos costos son los que determinan la renta de ubicación de la actividad económica, lo que se tendría es una homogenización de

MODELO AMPLIADO SIN TREN				MODELO AMPLIADO CON TREN			
Uso Mixto				Uso Mixto			
variables explicativas	coeficiente	b/StErr	P[ z >z]	variables explicativas	coeficiente	b/StErr	P[ z >z]
Costo de Acceso	-0,780%	-13,5	0,00	Costo de Acceso	-0,047%	-0,85	0,39
Altura	0,057%	12,78	0,00	Altura	0,029%	7,456	0,00
Pendiente	-0,564%	-9,08	0,00	Pendiente	-0,847%	-13,2	0,00
Horizonte Argilico	-6,060%	-4,24	0,00	Horizonte Argilico	-0,578%	-0,4	0,69
Erosión	3,013%	2,55	0,01	Erosión	0,384%	3,117	0,0
Agua Subterranea	-0,110%	-31,9	0,00	Agua Subterranea	-0,112%	-30,7	0,00

MODELO AMPLIADO SIN TREN				MODELO AMPLIADO CON TREN			
Uso Pasto Manejado				Uso Pasto Manejado			
variables explicativas	coeficiente	b/StErr	P[ z >z]	variables explicativas	coeficiente	b/StErr	P[ z >z]
Costo de Acceso	0,780%	13,47	0,00	Costo de Acceso	0,051%	0,931	0,35
Altura	-0,057%	-12,8	0,00	Altura	-0,029%	-7,47	0,00
Pendiente	0,566%	9,11	0,00	Pendiente	0,850%	13,24	0,00
Horizonte Argilico	6,054%	4,24	0,00	Horizonte Argilico	0,590%	0,406	0,68
Erosión	-3,031%	-2,57	0,01	Erosión	-3,380%	-3,12	0,01
Agua Subterranea	0,110%	31,85	0,00	Agua Subterranea	0,115%	30,73	0,00

TABLA 10. EFECTOS MARGINALES DE LOS USOS DE LA TIERRA EN EL MODELO EMPÍRICO AMPLIADO.

Marginal effects of land use in enlarge empirical model.

las rentas de ubicación en toda la región. En estas condiciones es de esperarse que se imponga la renta de ubicación más alta, que vendría a representar la renta del suelo.

En el caso de Sabana Occidente, dadas sus características, lo que cabría esperar es la urbanización de sus tierras, lo que significa un cambio del uso actual de la tierra.

Este resultado tiene implicaciones importantes al combinarse con el proceso de localización de la industria y el proceso de urbanización de Bogotá en las últimas décadas. La Corporación Bogotá Siglo XXI (1998) argumenta que la ubicación de la actividad industrial ha empezado a moverse a municipios ve-

cinosa a la gran ciudad a medida que los costos de transacción en la ciudad han ido aumentando. Bogotá presenta una expulsión de las industrias hacia los municipios vecinos, expulsión que se vería incentivada al habilitar el tren y facilitar el acceso, de modo que las industrias aprovecharían los menores costos de transacción de los municipios y los servicios de Bogotá. Este fenómeno ya parece estar siendo previsto por los empresarios puesto que se ha iniciado la construcción de un parque industrial en el municipio de Madrid, además del ya existente en Mosquera.

En cuanto al proceso de urbanización de Bogotá, como se señaló anteriormente, la ten-

dencia en los últimos años muestra que la ciudad crece cada vez más en la periferia que en el centro y es de esperarse que continúe dado el incremento del desplazamiento en el país.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta los incentivos de política que se le otorgan al sector construcción por considerarlo motor de desarrollo de la economía nacional. Esos incentivos de política van dirigidos a la construcción de vivienda nueva y más específicamente vivienda de interés social, la cual se ubica en zonas periféricas, donde la tierra tiene un precio bajo.

Con la habilitación del Tren de Cercanías, es de esperarse que los nuevos proyectos de vivienda de interés social se ubiquen en los municipios, fenómeno que al parecer está en la mente de los mayores constructores de Colombia, pues según datos recopilados en las visitas de campo, algunos constructores son los propietarios de grandes fincas en la Sabana.

Los transportadores serían los que no verían con muy buenos ojos la habilitación del tren, aunque ya en el estudio de demanda realizado por Steer Davies Gleave (2001) se considera la integración del tren con Transmilenio de tal manera que los grandes transportadores mantendrían su negocio. Aún falta que las autoridades municipales y de Bogotá, tomen conciencia del impacto del tren sobre el uso de la tierra y también tomen medidas que permitan controlar y ordenar el proceso de metropolización, así como redistribuir las ganancias por el cambio de uso de la tierra. El impuesto de plusvalía podría ayudar.

Respecto a los actuales usos de la tierra, se debe tener presente que la mayor urbanización se hace a costa de reducir la tierra disponible para desarrollar actividades agropecuarias, como los cultivos y la ganadería de leche, actividades en las cuales la Provincia Sabana Occidente se disputa los primeros lugares, como se mencionó anteriormente. En el estu-

dio de Bocanegra (1999) se señala que la tierra de Sabana Occidente es subutilizada porque teniendo tierras aptas para cultivos intensivos se usan para cultivos extensivos (pasto manejado). A pesar de ello, el cambio de usos extensivos a usos intensivos es posible de realizarse mientras que si la tierra se urbaniza se haría un cambio permanente del suelo y se impediría que esta tierra vuelva a ser cultivada.

Por lo tanto, la urbanización afectaría la vocación de la tierra y la producción de alimentos de manera definitiva. Si a ello sumamos la mayor concentración de población urbana que se daría con el crecimiento del área metropolitana, tendríamos un escenario donde la demanda de alimentos crece y la oferta se reduce, generando problemas de seguridad alimentaria de la región y presión para que tierras más lejanas y posiblemente no tan aptas para la agricultura lleguen a ser cultivadas.

Todo lo anterior, permite plantear la necesidad de tener en cuenta que una mayor accesibilidad entre la provincia y la gran ciudad tiene diversos impactos en la región, como cambios en el uso de la tierra y presión sobre recursos naturales, los cuales deben ser previstos y contrarrestados por las autoridades y entidades responsables, en vez de simplemente suponer que mejor transporte es sinónimo de desarrollo.

Finalmente, se debe señalar que si bien la metodología de los modelos logit multinomial usando como fuente de información los Sistemas de Información Geográfica contribuye a explicar el uso de la tierra en función de factores económicos y biofísicos, ésta metodología presenta algunas limitaciones.

Kennedy (1998) señala que los modelos logísticos son muy sensibles a los errores de especificación, lo que puede llevar a inconsistencia en los estimadores si una variable explicativa importante es omitida. La estimación e interpretación de los resultados resulta más parsimoniosa cuando las variables explicati-

vas son continuas en el espacio, ello facilita interpretar los resultados como promedios, se captura la heterogeneidad espacial y se evita problemas de no-convergencia en la estimación.

La sensibilidad de la metodología también fue verificada al estimar el modelo con distintos niveles de agregación de los usos de la tierra existentes en la Provincia de Sabana Occidente. En la literatura no existe un criterio para definir cual es la clasificación de uso adecuada, esta decisión responde más al tipo de hipótesis que se quiere probar. De todas maneras trabajar con pocas categorías de uso facilita el proceso de estimación del modelo y de interpretación de resultados (Kennedy 1998).

Un criterio útil a tener en cuenta al agrupar los usos de la tierra es buscar una distribución equitativa de las categorías de uso en términos de área, pues la presencia de una categoría dominante genera una distorsión en todo el proceso de estimación del modelo y lleva a que el método de predicción se sesgue hacia este uso. En Sabana Occidente no sería posible tomar las flores como un uso a explicar en el modelo pues en términos de área este uso no llega a representar ni el 2% de la región y por tanto el modelo no logra una explicación para él.

En cambio fenómenos con amplia representación espacial, como es el caso de la deforestación causada por nuevas carreteras, han sido el tema por excelencia para este tipo de metodología. La aplicación que se hizo en el presente estudio es novedosa y representa un trabajo pionero y puede ser extendida al análisis completo de efecto del tren en las áreas metropolitanas de América Latina, la cual parece ser una nueva tendencia en materia de transporte de pasajeros.

## LITERATURA CITADA

- BOCANEGRA M comp ((1999) Plan Regional de la Provincia de Sabana de Occidente. Departamento de Cundinamarca. Editorial Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 537 pp.
- BRIASSOULIS H (2000) Analysis of Land Use Change: Theoretical and modeling Approaches. (En línea). DERN. Department of Geography Univesity of the Aegean Lesvos, Greece. (Consultado enero de 2001). Disponible en: <http://www.rri.wvu.edu/Webbook/Briassoulis/contents.htm>.
- CENTRO DE ESTUDIOS SOBRE DESARROLLO ECONÓMICO (CEDE); CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ (1998) Bogotá-Sabana: un Territorio Posible. Editorial CEDE-Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá. 163 pp.
- COCK J, J OSPINA, H BELTZ (1991) Los ferrocarriles: una alternativa para la apertura?. *Debates de Coyuntura* 21: 1- 15.
- CHOMITZ K & D GRAY (1996) Roads, Land Use, and Deforestation: A spatial Model Applied to Belize. *The World Bank Economic Review*. 487-512.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE) (2000) Boletín Estadístico, Bogotá. 28 pp.
- FERROVÍAS-RENFE (2000) Estudio de viabilidad del sistema de transporte de cercanías para la Sabana de Bogotá. Convenio de Cooperación Ferrovías-Renfe España (manuscrito).
- FLÓREZ J (1995) Transporte férreo de pasajeros: absoluta necesidad colombiana. *Separata Revista* 13. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. 14 pp.
- GARCÍA S J MEZA & E PEÑA (1974) Estadísticas del transporte en Colombia. Tesis Ingeniería Civil, Bogotá. 85 pp.
- GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA (1999) Anuario Estadístico. Bogotá. 460 pp.
- GUZMÁN G (2001) Bogotá. Del tranvía al Transmilenio. Editorial Solar, Bogotá 200 pp.
- JARAMILLO S & O ALFONSO (2001) Una análisis de las relaciones de metropolización a partir de los movimientos migratorios. En: Alfon-

- so O ed. Ciudad y Región en Colombia 70-92  
Editorial Universidad Externado de Colombia.  
Bogotá.
- KENNEDY P (1998) A Guide to Econometrics.  
The MIT Press, Cambridge. 468 pp.
- MACHADO I (1988) Utilización del ferrocarril  
como medio de transporte de basuras en Bogotá  
D.C Tesis Ingeniería Civil, Bogotá. 75 pp.
- MALDONADO H (2001) Estimación de la demanda  
actual de pasajeros de transporte público para  
estudios de prefactibilidad del proyecto tren de  
cercanías, corredor Bogotá-Funza-Madrid-  
Mosquera-Facatativá. Bogotá (manuscrito).
- MISIÓN BOGOTA SIGLO XXI (1998) Locali-  
zación de la actividad económica en Bogotá.  
DAPD. Bogotá. 287 pp.
- NELSON G & D HELLERSTEIN (1997) Do  
Roads Cause Deforestation? Using Satellite  
Images in Econometric Analysis of Land Use.  
Amer. J. Agr. Econ. 79: 80-88.
- POLÈSE M (1998) Economía urbana y regional.  
Introducción a la relación entre territorio y desarrollo.  
Libro Universitario Regional. Cartago.  
438 pp.
- STEER DAVIES GLEAVE (2001) Estudio de demanda  
para el Tren de Cercanías de la Sabana  
de Bogotá. Informe ejecutivo.