

# **EVALUACIÓN DEL IMPACTO PRODUCIDO POR LA INSERCIÓN DE NUEVAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EN TÉRMINOS DE TIEMPOS DE ACCESO AL TERRITORIO**

ESCOBAR, Diego\_A.; GARCÍA, Francisco\_J.; BARRIOS, Johnatan. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Departamento de Ingeniería Civil.  
daescobarga@bt.unal.edu.co    fgarciaor@bt.unal.edu.co    jebarriosr@unal.edu.co

## **Resumen**

El Municipio de Manizales (Colombia), se encuentra en la actualidad implementando las llamadas Piezas Intermedias de Planificación (PIP), las cuales son instrumentos de planeación urbana que normalizan la ocupación del territorio y proponen la construcción de nuevas infraestructuras del transporte, con el fin de proporcionar una movilidad más eficiente y sostenible.

El presente estudio aplica una metodología de Análisis de Accesibilidad Territorial basada en el conocimiento de las diferentes velocidades de operación sobre los arcos que componen la red vial, así mismo, ésta permite establecer cuál es el verdadero impacto que un conjunto de obras de infraestructura imprimen a la ciudad, dependiendo de variables como los cambios en las velocidades de operación, la creación de nuevos canales de movilidad y la futura densificación poblacional que tendrían los sectores en los cuales se realizan las obras.

Los resultados muestran cómo un conjunto de infraestructuras del transporte proporcionan una mayor accesibilidad al territorio, relacionando las áreas de mayor ganancia en tiempo medio de viaje con las áreas de mayor densificación poblacional en la ciudad. Este tipo de análisis proporciona herramientas técnicas adecuadas para la toma de decisiones respecto a la inserción de nuevas infraestructuras, buscando así un mayor beneficio para la comunidad.

*Palabras Clave:* Accesibilidad, evaluación de impacto, obras, grafos, cobertura.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

La ciudad de Manizales se encuentra ubicada en la región centro occidente de Colombia, a una altura de 2150 m.s.n.m., entre los 5.4° de latitud norte y 75.3° de Greenwich, sobre la prolongación de la cordillera andina, se localiza en el centro geográfico de las tres ciudades más importantes de Colombia, a una distancia de 275 km. de la capital Bogotá D.C., 180 Km. a Medellín y 300 km. a Cali.; 370000 habitantes aproximadamente. La conformación urbanística de la ciudad responde a la adaptación a una topografía bastante quebrada y abrupta, dado su emplazamiento geográfico, lo cual hace que ésta posea características muy particulares; ubicada en el filo de la colina, permite una apertura permanente al paisaje, a todo lo largo de su recorrido, es así como el crecimiento urbanístico se ha venido adaptando de manera orgánica a las condiciones topográficas.

Los esfuerzos investigativos se enfocaron en la evaluación del impacto en términos de tiempos medios de viaje dado a las intervenciones que se desean realizar a la infraestructura vial mediante los Estudio de las Piezas Intermedias de Planificación - PIP 4 y 11 de la ciudad. El procesamiento de esta información se realizó mediante el software de Transcad mediante el cual se definieron las características físicas actuales y futuras de la

infraestructura vial de la ciudad de Manizales, con el fin de obtener las matrices de tiempos medios de viaje y los modelos de accesibilidad necesarios para la evaluación.

a. Definición de accesibilidad.

La Accesibilidad es una medida de la facilidad de comunicación que una red ofrece mediante el uso de un determinado modo de transporte (Morris et al., 1979 y Zhu & Liu, 2004), así mismo, es posible establecer que la accesibilidad se encuentra íntimamente relacionada con la variable “distancia” (Loyola et al., 2009), convirtiéndose en una función que depende de la cercanía de cualquier punto geográfico de un área o región de análisis; no obstante, es válido afirmar que dados los desarrollos tecnológicos actuales, la accesibilidad depende cada vez menos de la distancia real a los centros de actividad y, por el contrario, depende cada vez más de la distancia a las infraestructuras de transportes (Gutiérrez, 1998) y de cómo dichas infraestructuras acortan los tiempos de conexión entre las áreas, en donde los diferentes modos de transporte ofrecidos juegan un papel fundamental en el análisis.

b. Niveles de accesibilidad.

Los estudios de accesibilidad basados en la teoría de grafos pueden ser de dos tipos (Murillo, 2007): estáticos y dinámicos. Los estáticos se describen a través de índices de forma y conexiones (aunque su desarrollo se produzca a través de una sucesión temporal) y los dinámicos se encargan de valorar los elementos de conexión de la red con variables reales asociadas con la operación de cualquier sistema de transporte como, por ejemplo, las distancias, velocidades de operación de los diferentes modos entre los nodos del grafo, características de superficie de rodadura, costos, flujos que por ellas circulan, etc.

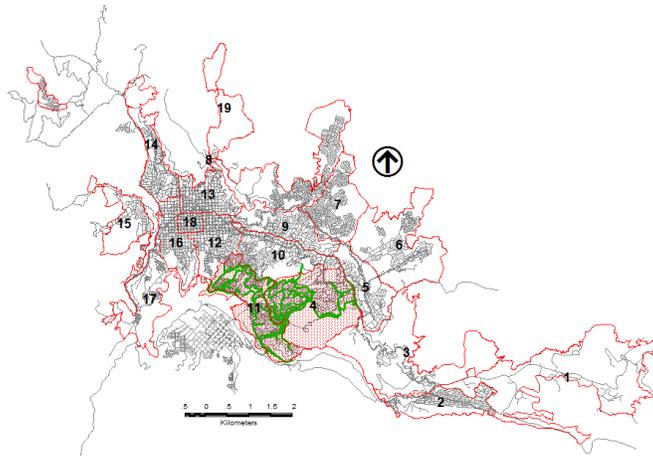
Independientemente del tipo de estudio de accesibilidad (estático o dinámico), existen tres niveles en los que la accesibilidad se puede categorizar: relativa, integral o global (Izquierdo et al., 1991).

La accesibilidad relativa está asociada con la calidad de la conexión entre dos nodos situados en una misma área; la accesibilidad integral, mide el grado de interconexión de un nodo en particular con los demás nodos de una misma área; y la accesibilidad global es el promedio de las accesibilidades integrales de todos los nodos definidos en el área de estudio, es decir, es representativa del grado de conexión de toda la red y refleja el efecto que sobre la movilidad presentaría un conjunto de intervenciones infraestructurales.

## 2. METODOLOGÍA

En la presente investigación se aborda el análisis de la Accesibilidad Media Global ofrecida por la red viaria actual de la ciudad de Manizales, y la evaluación del impacto con respecto a los tiempos medios de viaje que brindaría la ciudad al realizar las obras de intervención vial propuestas para las PIP 4 y 11.

En la Figura 1 se observa la red vial de la ciudad de Manizales, resaltándose los proyectos de intervención propuestos por los estudios de las PIP 4 y 11.



**Figura 1 Proyectos viales para las PIP 4 y 11 de la ciudad de Manizales**

a. Actualización de la red georeferenciada.

Para la actualización de la red vial se debía contar con una red de infraestructuras de transporte actualizada y para ello se debió realizar un reajuste en los arcos que componen esta red viaria, para ello también se tuvo como base los grafos proporcionados por los documentos de los Estudio de las Piezas Intermedias de Planificación 4 y 11 de la ciudad de Manizales.

b. Velocidad de operación.

La velocidad de operación para la red vial fue tomada como información secundaria de los datos proporcionados en las Fases de Diagnóstico 0 y 1 del Plan de Movilidad de Manizales de 2005, realizado por la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

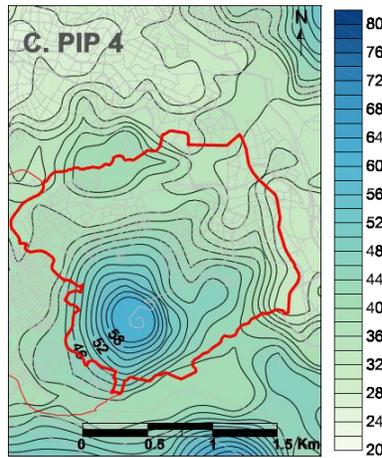
### 3. PRINCIPALES RESULTADOS

A partir de la metodología descrita anteriormente, se obtuvieron las curvas isócronas de tiempo medio de viaje, representando la Accesibilidad Media Global para los modos de transporte público y privado de las Piezas Intermedias de Planificación 4 y 11; para este análisis de accesibilidad se considera dos tipos de escenarios:

- a. La infraestructura existente en ambas piezas.
- b. Los proyectos de desarrollo vial expresados por los documentos de los Estudios de las Piezas Intermedias de Planificación 4 y 11 de la ciudad de Manizales.

#### 3.1 Accesibilidades actual y futura de la PIP 4.

- i. Transporte público.



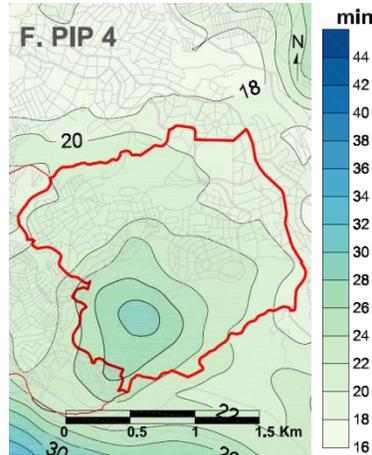
**Figura 2. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 4 para Vehículo público en el escenario actual.**

En la Figura 2 se observa un zoom de las curvas isócronas a partir del análisis de la situación actual de infraestructura, para el modo de transporte público. Por medio de la Tabla 1 se observan los datos de cobertura de la accesibilidad actual expresada en los rangos de tiempo definidos por las isócronas que cubren la PIP 4; el rango entre 35 y 40 minutos tiene una representatividad importante, con el 35.1% del área total de la pieza. Para un rango ampliado entre las isócronas de 30 y 45 minutos se encuentra una cobertura del 67.3% de la pieza, de forma que la distribución presenta asimetría hacia la marca de clase de la isócrona de 37.5 minutos.

**Tabla 1. Accesibilidad actual para transporte público en la PIP 4**

Curva isócrona (minutos)	Área (Km <sup>2</sup> )	% Área total
< 20	0.00	0.0
20 – 25	0.00	0.0
25 – 30	0.00	0.0
30 – 35	0.43	15.4
35 – 40	0.98	35.1
40 – 45	0.47	16.9
45 – 50	0.46	16.5
50 – 55	0.36	12.9
55 – 60	0.09	3.2
<b>Totales</b>	<b>2.80</b>	<b>100.0</b>

3.1.2 Vehículo privado.

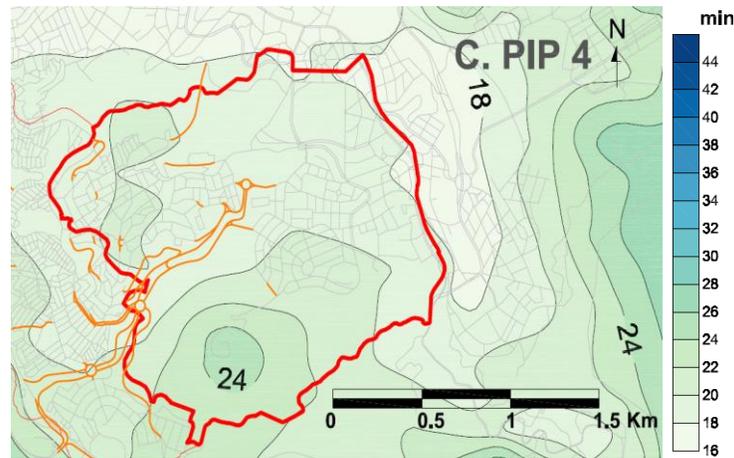


**Figura 3. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 4 para Vehículo privado en el escenario actual.**

En la Figura 3 se observa un zoom de las curvas isócronas a partir del análisis de la situación actual de infraestructura, para el modo de transporte privado para la PIP 4, se observa que no hay cobertura de isócrona inferior a 18 minutos y un porcentaje significativo de la pieza (37.1%) se encuentra en el rango entre 20 y 22 minutos. Considerando un rango de isócronas ampliado entre 18 y 24 minutos se encuentra el 73.3% de la superficie de la pieza, lo cual indica una asimetría de los resultados hacia la marca de clase de la isócrona de 21 minutos según lo obtenido por medio de la Tabla 2.

**Tabla 2. Accesibilidad actual para vehículo privado en la PIP 4.**

Curva isócrona (minutos)	Área (Km <sup>2</sup> )	% Área total
< 18	0.00	0.0
18 – 20	0.49	17.5
20 – 22	1.04	37.1
22 – 24	0.52	18.7
24 – 26	0.39	14.1
26 – 28	0.28	10.1
28 – 30	0.07	2.5
<b>Totales</b>	<b>2.80</b>	<b>100.0</b>



**Figura 4. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 4 para Vehículo privado en el escenario futuro.**

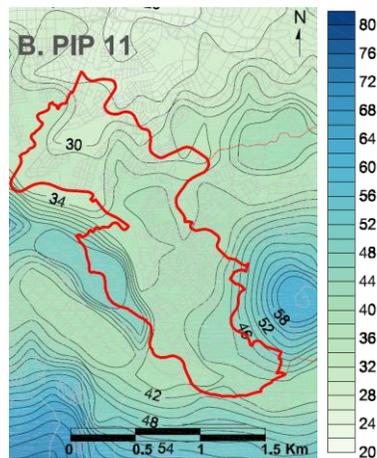
En la Figura 4 situación de oferta futura de infraestructura vial, se observa que el 100% del área de la pieza se encontraría cubierta por la isócrona de 26 minutos (4 minutos por debajo de la situación actual) y, además, una pequeña proporción del territorio (2.6%) se encontraría cubierta por la isócrona inferior a 18 minutos que en la situación actual es el límite inferior absoluto de la accesibilidad. (Ver Tabla 3).

**Tabla 3 Accesibilidad futura para vehículo privado en la PIP 4.**

Curva isócrona (minutos)	Área (Km <sup>2</sup> )	% Área total
< 18	0.07	2.6
18 – 20	1.60	57.2
20 – 22	0.70	24.8
22 – 24	0.34	12.2
24 – 26	0.09	3.2
26 – 28	0.00	0.0
<b>Totales</b>	2.80	100.0

b. Accesibilidades actual y futura de la PIP 11.

i. Transporte público.



**Figura 5. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 11 para Transporte público en el escenario actual.**

En la Figura 5 se observa un zoom de las curvas isócronas a partir del análisis de la situación actual de infraestructura, para el modo de transporte público para la PIP 11, las cuales fueron obtenidas mediante el análisis de toda la red vial de la ciudad de Manizales. Con esta información se obtuvo la Tabla 4, Se observa el rango entre 35 y 40 minutos tiene una representatividad importante, con el 41.7% del área total de la pieza. Para un rango ampliado entre las isócronas de 25 y 45 minutos se encuentra una cobertura del 72.7% de la pieza, de forma que la distribución presenta asimetría hacia la marca de clase de la isócrona de 37.5 minutos.

**Tabla 4. Accesibilidad actual para transporte público en la PIP 11**

Curva isócrona (minutos)	Área (Km <sup>2</sup> )	% del Área total
< 20	0.00	0.0
20 – 25	0.00	0.0
25 – 30	0.18	8.7
30 – 35	0.45	22.3
35 – 40	0.84	41.7
40 – 45	0.39	19.4
45 – 50	0.10	5.2
50 – 55	0.05	2.7
55 – 60	0.00	0.0
<b>Totales</b>	<b>2.02</b>	<b>100.0</b>

ii. Vehículo privado.

En la Tabla 5 se observa que el 100% del área de la pieza se encuentra cubierta por la isócrona de 30 minutos, la cual, en contraste, tiene cobertura de 8.7% en el análisis de transporte público. Este resultado se deriva de las marcadas diferencias en la velocidad de operación de ambos modos y en la rigidez espacial de la operación del transporte público, de forma que puede concluirse que es un producto previsible del análisis.

**Tabla 5. Accesibilidad actual para vehículo privado en la PIP 11**

Curva isócrona	Área (Km <sup>2</sup> )	% del Área
----------------	-------------------------	------------

(minutos)		total
< 18	0.08	3.7
18 - 20	0.72	35.8
20 - 22	0.59	29.4
22 - 24	0.42	20.6
24 - 26	0.16	8.0
26 - 28	0.05	2.3
28 - 30	0.004	0.2
<b>Totales</b>	2.02	100.0

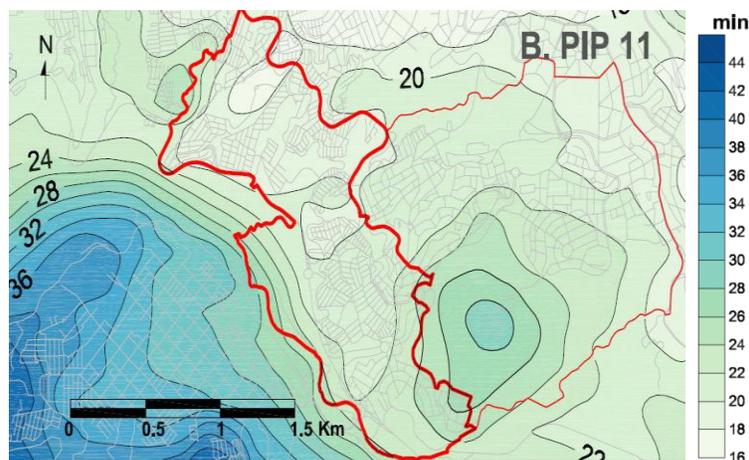


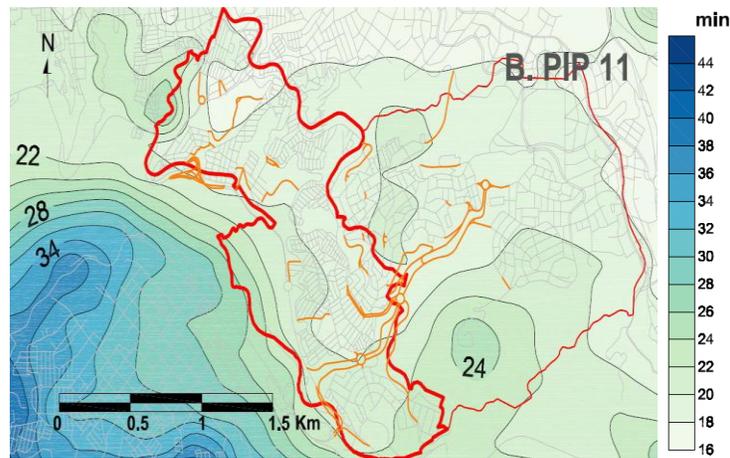
Figura 6. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 11 para Vehículo privado en el escenario actual.

Tabla 6. Accesibilidad futura para vehículo privado en la PIP 11.

Curva isócrona (minutos)	Área (Km <sup>2</sup> )	% del Área total
< 18	0.17	8.3
18 - 20	0.98	48.6
20 - 22	0.60	29.8
22 - 24	0.21	10.4
24 - 26	0.06	2.8
26 - 28	0.003	0.2
<b>Totales</b>	2.02	100.0

En la Figura 6 se observa un zoom de las curvas isócronas a partir del análisis de la situación actual de infraestructura, para el modo de transporte privado para la PIP 11, las cuales fueron obtenidas mediante el análisis de toda la red vial de la ciudad de Manizales. Para la Tabla 6, la situación de oferta futura de infraestructura vial, se observa que el 100% del área de la pieza se encontraría cubierta por la isócrona de 28 minutos (2 minutos por debajo de la situación actual) y, además, una mayor proporción del territorio (8.3%) se encontraría cubierta por la isócrona inferior a 18 minutos que en la situación actual corresponde a una cobertura de 3.7%.

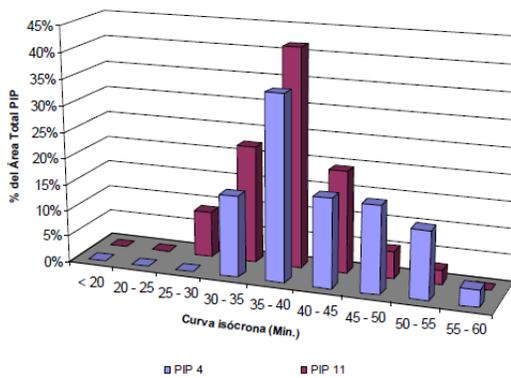
En la Figura 7 se observa un zoom de las curvas isócronas a partir del análisis de la situación futura de infraestructura, para el modo de transporte privado para la PIP 11.



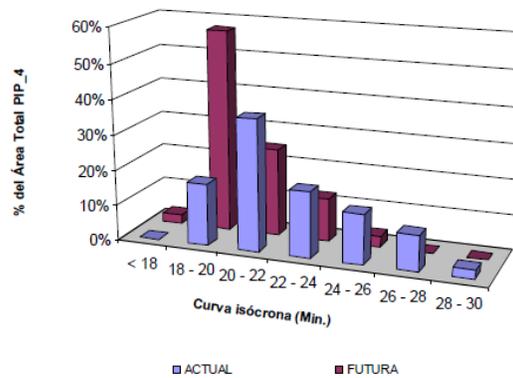
**Figura 7. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 11 para Vehículo privado en el escenario futuro.**

*c. Análisis comparativo de la accesibilidad actual para las PIP 4 y PIP 11.*

*i. Transporte público y privado.*



**Figura 8. Área relativa y curvas isocronas de accesibilidad actual de transporte público.**



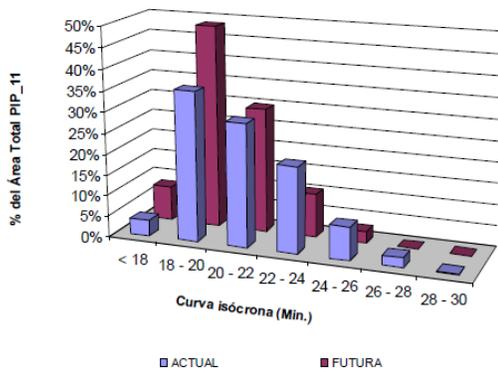
**Figura 9. Área relativa y curvas isocronas de accesibilidad actual de vehículo privado.**

En la Figura 9 se puede concluir que el efecto de la oferta de infraestructura vial futura genera un incremento de la accesibilidad, expresado como la reducción de la marca de clase del rango de isocronas representativo en cada escenario de 21 a 19 minutos. Este mejoramiento no es escalar, es decir, no está asociado con un único proyecto que genere simetría axial en la pieza, como se puede deducir de la agrupación de un 20.9% adicional del territorio en el rango adoptado de comparación entre 18 y 24 minutos.

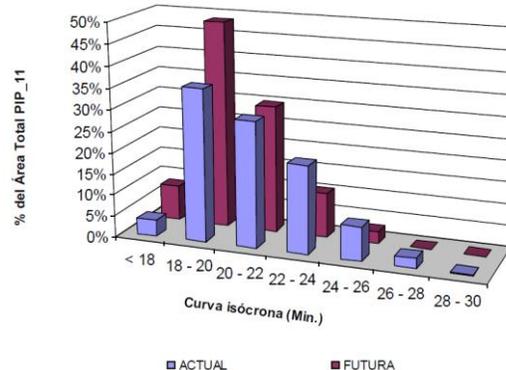
*ii. Pieza Intermedia de Planificación 11.*

Según la Figura 10 se puede concluir que el efecto de la oferta de infraestructura vial futura genera un incremento de la accesibilidad, expresado como la reducción de la marca de clase del rango de isocronas representativo en cada escenario de 21 a 19 minutos. Este mejoramiento no es escalar, es decir, no está asociado con un único proyecto que genere simetría axial en la pieza, como se puede deducir de la agrupación de un 20.9% adicional del territorio en el rango adoptado de comparación entre 18 y 24 minutos.

**Figura 10. Área relativa y curvas isócronas de accesibilidad actual y futura de vehículo privado en la PIP 11.**



**Figura 11. Área relativa y curvas isócronas de accesibilidad actual y futura de vehículo privado en la PIP 11.**



Con el fin de comparar las situaciones actual y futura de la Figura 11, se analiza el rango de isócronas entre 18 y 24 minutos, observándose un incremento del área de la pieza cubierta de 85.8% a 88.8%, respectivamente. Asimismo, considerando la isócrona de 26 minutos como límite superior, en la situación actual está limitada el 2.5% de la pieza mientras que en la situación futura cubriría un 0.2% del territorio de la misma.

#### 4. Conclusiones.

La aplicación de la presente metodología permite la elaboración de un panorama general de cómo la intervención sobre la infraestructura vial podría impactar las áreas urbanas cubiertas en determinadas zonas en específico, con el fin de evaluar en un futuro si el valor de las inversiones se justifican dado el mejoramiento de las condiciones de accesibilidad.

Se concluye que para ambos sectores estudiados, el transporte privado se ve más beneficiado que el transporte público, haciendo énfasis en la necesidad de modificar la operación del sistema público para obtener mejoras sustanciales en sus condiciones de accesibilidad. Se obtuvo que es la PIP 11 la más beneficiada en términos de cobertura de área urbana por las curvas isócronas.

Es de vital importancia mejorar las condiciones de operación del TPCU y comenzar políticas viales que desincentiven el uso de vehículo particular, lo cual redundará en condiciones de vida más humanas y en un derecho a la movilidad más equitativa.

Se concluye que este tipo de análisis es un apoyo técnico que en cualquier momento puede apoyar la toma de decisiones respecto a modificaciones que se deseen realizar a la red vial y sobre todo para establecer en qué áreas de la ciudad se deben aunar esfuerzos para ofrecer una mejor accesibilidad y aumentar la calidad de vida de los habitantes.

#### 5. Referencias.

- Barea, P. & Martínez, O. (2002). *Metodologías de Evaluación de la Accesibilidad y nuevos enfoques*. V Congreso de Ingeniería de Transporte. Ibeas, A., Díaz, J. y De la Lastra, P., Editores. Universidad de Cantabria. España.
- Escobar, D. et al. *Impacto de las nuevas obras de infraestructura vial en la ciudad de Manizales (Colombia) en términos de tiempos de accesibilidad en vehículo privado y en transporte público*. Universidad Nacional de

Colombia". Departamento de Ingeniería Civil. Manizales. Presentado en XVI PANAM, Julio 15-18, 2010 – Lisboa, Portugal.

Escobar, D. et al. *Impacto en la Accesibilidad y Costos de operación por la inserción de nueva infraestructura del transporte en la región centro sur del Departamento de Caldas (Colombia)*". Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. Manizales. Presentado en XVI PANAM, Julio 15-18, 2010 – Lisboa, Portugal.

Gutiérrez, J. (1998). *Redes, espacio y tiempo. Análisis de Geografía de la Universidad Complutense*. No. 18. Pp. 65-86. Universidad Complutense de Madrid. España.

Izquierdo, R., et al. (1991). *Transportes un Enfoque Integral. España*.

Loyola et al. (2009). *Flujo, Movilidad y Niveles de Accesibilidad en el centro de Chillan año 2007. Propuesta de mejoramiento mediante SIG. Revista Urbano*, Vol. 12, No. 19, mayo, 2009, pp. 17-27. Universidad del Bío Bío. Chile

Morris, J. M., Dumble, P. L., Wigan, M. R., (1979): *Accessibility indicators in transport planning. Transportation Research A* 13, 91–109.

Murillo, J. et al. (2007) *La Accesibilidad Vial Regional, Metodologías para su evaluación*. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. 2007.

Universidad Nacional de Colombia (2005). *Plan de Movilidad para el Municipio de Manizales. Fases 0 y 1*. Manizales, 2005.

Petrus, J. & Seguí, J. (1991). *Geografía de Redes y Sistemas de Transporte*. Editorial Síntesis. España.

Secretaría de Tránsito y Transporte. Alcaldía de Manizales. *Estudio de Reestructuración del Transporte Público Colectivo 2009*. Informe Final. Manizales, Noviembre 4 de 2009.

Secretaría de Tránsito y Transporte. Alcaldía de Manizales. *Informe de Situación Actual del Sistema de Transporte Público Colectivo de la Ciudad de Manizales*. Octubre de 2008.

Transporte Integrado de Manizales. TIM S.A. *Sistema Estratégico de Transporte Público de Manizales. Subproyectos Componentes del Sistema*. Febrero de 2008.

Vásquez, L. R. *Diagnóstico del sistema de movilidad de la Pieza Intermedia de Planificación PIP 11 de la ciudad de Manizales*. Enero de 2009.

Zhu, X. & Liu, S. (2004): *Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool; Journal of Transport Geography* Vol. 4. No. 12. pp. 89 – 101.

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito*