

## DIAGNÓSTICO DE CONECTIVIDAD Y ACCESIBILIDAD DE LA RED VIAL DEL CANTÓN DE SAN CARLOS, COSTA RICA

Diego Armando Céspedes Álvarez  
Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, MG, Brasil  
[diegouna.geo@gmail.com](mailto:diegouna.geo@gmail.com)

Recebido: 06/04/16; Aceito para publicação: 21/07/16

### RESUMEN

El presente estudio fue realizado con el fin de dar a conocer el nivel de accesibilidad y conectividad de la red vial entre los mayores centros urbanos del cantón, constituyendo una herramienta importante para la coordinación de las labores de atención y gestión sobre la infraestructura vial. Por medio de la presente investigación, se plantea el diagnóstico respectivo de conectividad y accesibilidad dentro de la red vial del cantón de San Carlos, Costa Rica, localizado al norte del país centro-americano; aplicando la Teoría de Grafos y analizando cada una de las variables que el modelo conlleva, complementando con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a partir de datos secundarios y primarios. Los resultados muestran que las ciudades periféricas al cantón, presentan las situaciones más difíciles en conectividad y accesibilidad, mientras que los sectores ubicados hacia el centro del cantón, presentan los mejores niveles en conectividad y accesibilidad en referencia a los datos abstraídos por el programa SIG.

**Palabras clave:** Accesibilidad, Conectividad, Teoría de grafos, Urbano, Red vial.

### RESUMO

Este estudo foi realizado a fim de divulgar o nível de acessibilidade e conectividade da rede rodoviária entre os maiores centros urbana do município, constituindo uma ferramenta importante para a coordenação dos projetos e trabalhos na gestão da infraestrutura rodoviária. Através deste trabalho, o respectivo diagnóstico de conectividade e acessibilidade na rede rodoviária, no município de San Carlos, Costa Rica, localizado no norte do país centro-americano, surge com aplicação da Teoria dos Grafos, modelo aplicação e análise de cada uma das variáveis que o modelo comporta, complementados pela aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) por meio de dados secundários, como primários. Os resultados mostram que as cidades periféricas do município, têm as situações mais difíceis na conectividade e acessibilidade, enquanto os setores localizados em direção ao centro do município apresentam os melhores níveis de conectividade e acessibilidade.

**Palavras-chave:** Acessibilidade, Conectividade, Teoria de grafos, Urbano e Rede rodoviária.

## **INTRODUCCIÓN**

En las últimas décadas en muchas de los centros urbanos o pequeñas ciudades más alejadas de Costa Rica, referentes a la capital de San José. La jerarquía urbana y el mantenimiento de la infraestructura vial han constituido un importante problema para la gestión vial. En el caso de Costa Rica el poco interés por parte del gobierno central tanto como de los gobiernos locales, junto con los insuficientes recursos que se destinan a este fin, no han logrado establecer las medidas necesarias para el mantenimiento adecuado de la infraestructura vial que se requiere, ocasionando efectos negativos en la movilización de productos y mercancías, así como, la comercialización y la fuente económica principal como el turismo.

Por su parte, el cantón de San Carlos se encuentra localizado en la región norte de Costa Rica, siendo el cantón con mayor extensión en todo el territorio nacional con 3.37098 km<sup>2</sup>, segundo el decreto N° 4574 de 4 de mayo de 1970. Un territorio que está distribuido en 13 distritos con cabeceras urbanas centrales, una distribución geográfica que posee distintas formas de relieve, además de sistemas de producción agropecuaria como industrial, marcada por sus características climáticas.

El presente estudio fue realizado mediante un levantamiento cuantitativo con datos primarios recolectados en el campo y secundarios por parte de la base de datos de la municipalidad de San Carlos, así como el atlas nacional de Costa Rica 2008, con el objetivo de crear una base de datos con sus determinados atributos (longitud de las vías, características de las vías e importancia regional, calidad de infraestructura), así realizar un análisis con el método aplicado por la teoría de Grafos, y estadístico por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG). Ante esto cabe mencionar que desde el enfoque cuantitativo, se emplearon un conjunto de métodos y técnicas sujetos a la Teoría de Grafos y el índice de rodeo, con la cual se calcularon una serie de parámetros matemáticos que describieron el comportamiento de la conectividad y accesibilidad de la red vial del cantón de San Carlos.

Su elaboración tiene como resultado una serie de datos importantes que se distribuyen para la aplicación de nuevos proyectos para el cantón, localizando aquellos lugares más accesibles y conectados en referencia a los demás centros urbanos de la región de San Carlos.

La importancia de este estudio se atribuye a una carente investigación relacionada a la conectividad entre los diferentes centros urbanos de la región, además de, una falta de conocimiento sobre la importancia que tiene sobre las vías de comunicación y desplazamientos con altos costos de transportes, aparte de aplicar una teoría a una nueva área de estudios como son las vías de comunicación.

## **LAS REDES DE TRANSPORTES EN LA REGIÓN DE SAN CARLOS.**

Las redes de transportes urbanas como rurales son de grande importancia para la circulación socio-espacial e interacción de mercadorías, personas e información, transformándose su infraestructura de gran jerarquía para que se desarrolle la producción del espacio.

El transporte y las redes viarias urbanas-rurales, expresan a lógica de organización sobre el espacio, una producción que fundamenta las principales relaciones entre el hombre y la naturaleza (CASTELLS, 2006).

Por otro lado tomar en cuenta el factor distancia es facilitar la comunicación y circulación de mercadorías, ya que, la distancia relaciona el tiempo de desplazamiento y la disminución de costos. En este sentido la relación distancia-tiempo será el factor determinante para la aplicación de alternativas, adoptando nuevas localizaciones de centros de distribución o bien empleando formas más factibles de motorización entre centros urbanos y espacios rurales.

El emplear metodologías de modelos matemáticos y la caracterización espacial del espacio como la reproducción sobre él, se impactan nuevas perspectivas de como un territorio debería distribuir su accesibilidad y conectividad entre las distintas actividades, para este caso de estudio el de conocer los centros más aptos para beneficiar la producción y comercialización del cantón. Un bienestar que se enfoca a partir del desarrollo integral con el mantenimiento y la gestión de las vías de comunicación, rutas de acceso entre los distintos centros urbanos del cantón de San Carlos.

Se debe tomar en cuenta que esta región produce la mayor parte de productos agropecuarios en el territorio nacional, un área que distribuye su red viaria cantonal a una escala considerable, abarcando nodos importantes para cubrir mayoritariamente la extensión total del territorio con 2252.5 km de longitud, segundo (MUNICIPALIDAD de SAN CARLOS, 2012).

La geografía como disciplina científica del territorio no queda excluida del análisis de redes, y más bien se postula como una de las disciplinas que mejor pueden desempeñar este tipo de estudios. El estudio de redes en la geografía recae desde la perspectiva de considerar la industria, la infraestructura y los equipamientos en conjunto con las redes como elementos nodales que ocupan un lugar importante en el espacio, y que a su vez, consolidan las bases para un sistema complejo de actividades desde la índole política, económica y social, resaltando que su explicación se va relacionar a partir de los fenómenos dentro del territorio (RODRÍGUEZ, 2006, CITADO EN CARDOZO; GÓMEZ; PARRAS, 2009)

El sistema de actividades representaría todo el conjunto de actividades (o fenómenos) que se desarrollan sobre el territorio; dichas actividades podrían corresponder a residencia, producción, consumo, recreación, entre otras tantas que el ser humano realiza en torno a sus necesidades afirma (CARDOZO; GÓMEZ; PARRAS, 2009).

Estas actividades se encuentran sujetas a un factor que es imprescindible para realizarlas: la necesidad de desplazamiento. Pues el espacio no es homogéneo y presenta características

físicas y sociales que determinan la disposición de las redes de comunicación, adjudicadas por su forma, distribución y función.

Esta investigación implica el análisis de la red vial del cantón de San Carlos, por lo que este último representa el territorio de un sistema de actividades. La red vial, es concebida como un solo sistema, donde se encuentran interconectados grandes números de elementos lineales, que a su vez estructuran una dinámica de flujos de intercambio entre dichos elementos, (BOQUE, 1997 citado en LOYOLA; ALBORNOZ, 2009, p. 18).

Como se mencionó anteriormente, una red vial se encuentra compuesta por elementos lineales, interconectando elementos nodales, que para efectos técnicos son considerados por numerosos actores como conjunto de aristas y de nodos respectivamente; generando a su vez la organización del sistema de actividades dentro de un territorio. En términos de infraestructura e conectividad entre aristas y nodos, se puede considerar que vías de comunicación y los centros urbanos dentro del espacio rural los “[...] elementos lineales son las vías de circulación y los elementos nodales, puntos de intersección.” (LOYOLA; ALBORNOZ, 2009, p. 18).

En toda esta trama de nodos y arcos, junto con los sistemas de actividades, los flujos y la movilidad son situaciones fundamentales que permiten toda esa dinámica. Pues de tal manera la movilidad es una necesidad diaria, individual, como colectiva que el ser humano debe ejecutar para desenvolverse sobre el espacio, estando “[...] el movimiento es el reflejo de los lazos funcionales entre las actividades urbanas y de la organización socio-espacial.” (GANGES; RIVAS, 2008, p. 16).

De tal modo, que para realizar cualquier actividad, sea de residencia, producción, consumo o recreación es necesario movilizarse de un nodo a otro en un mecanismo de flujo que permita la interacción entre elementos en el territorio. No obstante el desplazamiento de un lugar a otro implica costos, ya sean monetarios, de esfuerzo físico o de depreciación de las estructuras viales, conllevando a generar efectos sobre factores como la accesibilidad o la conectividad entre la red vial.

Conectividad y accesibilidad son importantes dentro de un sistema de redes, por lo que un estudio de este tipo aplicado a una red vial cantonal representaría un medio técnico necesario para la gestión y ordenamiento de las vías que comunican los distintos centros poblados. La Teoría de Grafos implicará la metodología necesaria para determinar el grado de accesibilidad y conectividad dentro de la red vial en estudio, pues en la geografía desde la década de los años setentas, se introdujo como un medio para el estudio en la expresión de las redes del transporte siendo por naturaleza un método meramente matemático de relaciones topológicas entre puntos unidos por segmentos.

La Teoría de Grafos conlleva cálculos en dos clases. La primera corresponde a las medidas de conexión y cohesión, en función del número de arcos y nodos que contenga una red,

permitiendo medir el grado de conexión recíproca entre los nodos existentes. En la segunda clase están las medidas de accesibilidad y centralidad que determinan el nivel de accesibilidad de los nodos en la red, tomando como referencia la cantidad de arcos necesarios para pasar de un nodo a otro, jerarquizando los nodos según el grado de accesibilidad entre estos (GÓMEZ; PARRAS, 2009, p. 96).

Para las medidas de accesibilidad, las matrices de conectividad y accesibilidad serán preponderantes en los resultados finales. La primera determinará cuáles nodos están mejor conectados, mientras que en la segunda matriz se podrá determinar el número de Köning y el número de Shimmel. Ambos ayudan a determinar la accesibilidad entre nodos, generando a su vez el índice de dispersión y el índice de accesibilidad media que determinarán el nivel de accesibilidad de toda la red en estudio.

Simultáneamente toda red está influenciada por patrones y características físicas que le condicionan su forma, generando efectos en su densidad, así como en su accesibilidad o conectividad, por lo que las relaciones entre las distancias de los tramos reales y líneas ideales que interconectan centros o nodos podría constituir el medio necesario para tratar de conocer el nivel de influencia que tienen las condiciones orográficas sobre la red.

Hablar de movilidad desde un enfoque sustentable representa una condición importante para el bienestar de la población, ya que este modelo implica dentro de sus diversas consideraciones, la provisión de un sistema de transporte público adecuado y eficiente, así como la provisión de una adecuada infraestructura vial por parte de las instituciones fiscalizadoras del transporte público, donde se procura erradicar cualquier tipo de limitación que afecte el flujo de personas y mercancías. (ORTIZ; GARNICA, 2006, p. 769)

El desarrollo sustentable también se encuentra implicado al análisis de redes, especialmente cuando de la red vial se trate, ya que desde esta perspectiva es posible establecer para el transporte carretero objetivos de índole económica, social y ambiental para efectos de una movilidad eficiente en cuanto a seguridad vial, accesibilidad y conectividad además de la contribución ambiental que tanto se requiere actualmente, procurando una red vial integrada. (GALARRAGA; HERZ, 2008, p. 152)

## **APLICACIÓN DE ÍNDICES POR MEDIO DEL SIG**

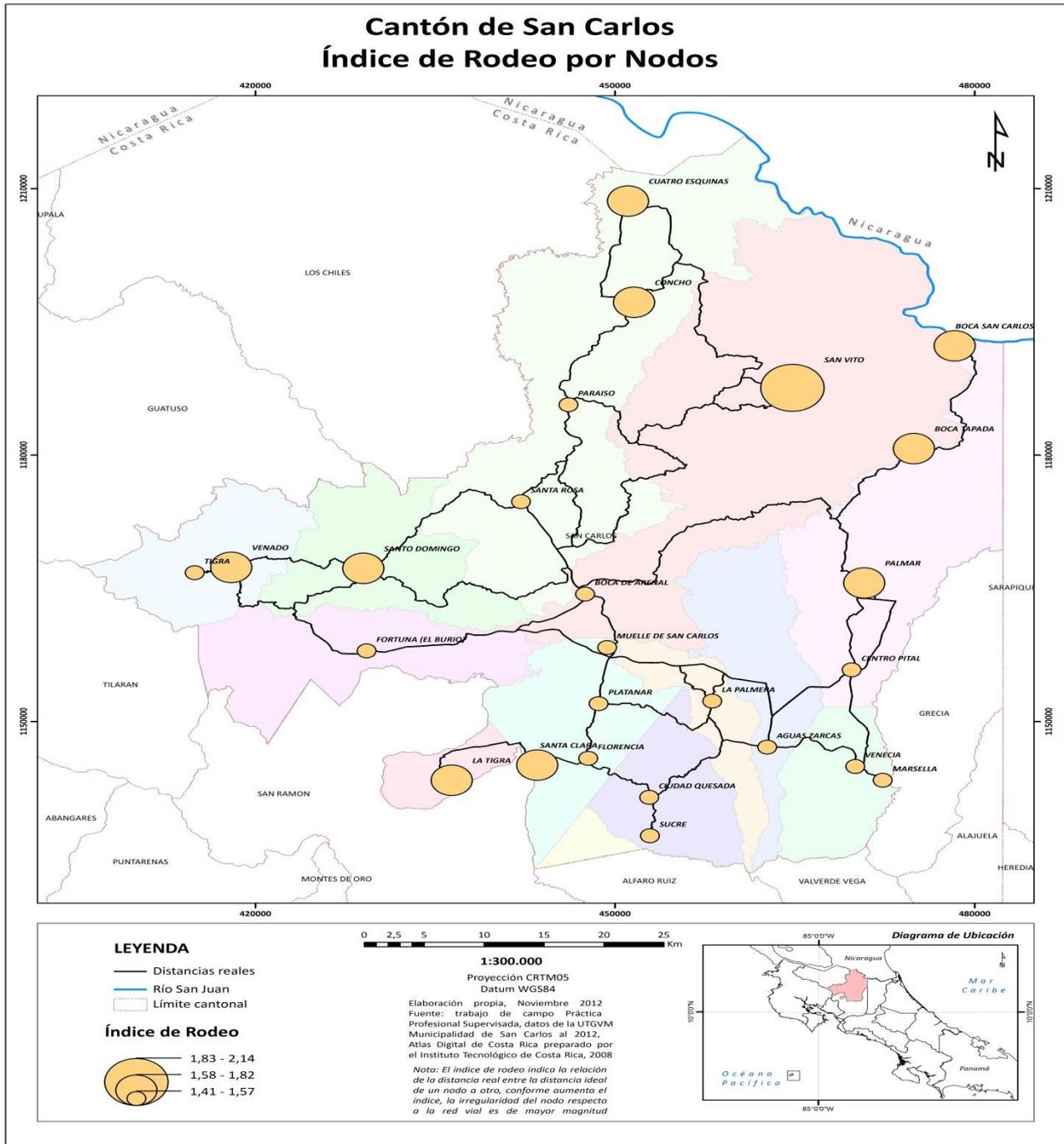
Conocer el grado de eficiencia de la red es fundamental para conllevar el análisis de la conectividad y accesibilidad que se pretende abordar. Para ello, el índice de rodeo representa la variable indicada para medir dicha situación. Cabe mencionar que los datos generados de aquí en adelante se generaron a partir de las matrices de distancia reales e ideales entre los nodos de la red. (*Cuadro 1*), la matriz de índice de rodeo que se representan trazadas en la figura 1, donde las líneas oscuras representan la red real y las líneas rojas la red ideal.

El cuadro 1 contiene la numeración de nodo para cada poblado del área de estudio, por motivos de efectos prácticos de disposición de las matrices requeridas por el análisis, cada número representa un centro urbano de importancia para la región en términos económicos y de población de acuerdo a los datos de la Municipalidad de San Carlos.

El cuadro 1 contiene el índice de rodeo de un nodo a otro nodo ( $R_t$ ) conectado por un tramo; en color rojo las deficiencias y el color verde los valores de más eficiencia. Como se puede observar hay tramos que presentan un índice de rodeo muy considerable al representar irregularidades en la red. Tal es el caso de San Vito, donde por su ubicación se encuentra las mayores deficiencias de la red. Por nombrar algunos de los casos, respecto a Palmar el  $R_t$  del trayecto real entre ambos poblados supera en 326% a la distancia en línea recta.

Así mismo respecto al Centro de Pital el índice de rodeo supera en 183% a la distancia real. Por su parte respecto a Boca Tapada el  $R_t$  supera en 698% a la distancia real y en 716% respecto a Boca San Carlos. Otro caso correspondería su conexión con Marsella que presenta 123% de diferencia con la distancia ideal. Otro caso es el de Santo Domingo con Fortuna Burío donde predomina una deficiencia de 108% respecto a la distancia ideal.

Figura 1. Mapa de Índice de rodeo



Fuente: Elaboración propia, realizada por equipo de trabajo, Municipalidad de San Carlos, 2012.

**Cuadro 1.** Matriz de Índice de rodeo entre nodos.

| MATRIZ 1. ÍNDICE DE RODEO ENTRE NODOS |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| NODOS                                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   |
| 1                                     | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2                                     | 1,35 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3                                     | 1,69 | 1,62 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4                                     | 1,37 | 1,65 | 1,67 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5                                     | 1,34 | 1,66 | 1,72 | 1,86 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6                                     | 1,23 | 1,53 | 1,56 | 1,36 | 1,71 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 7                                     | 1,81 | 1,71 | 1,83 | 4,26 | 2,14 | 2,83 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8                                     | 1,39 | 1,55 | 1,69 | 1,37 | 1,68 | 1,37 | 7,98 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 9                                     | 1,44 | 1,58 | 1,66 | 1,47 | 1,67 | 1,45 | 8,16 | 1,61 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10                                    | 1,87 | 2,16 | 2,92 | 1,72 | 1,64 | 1,61 | 1,66 | 1,55 | 1,69 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 11                                    | 1,27 | 1,20 | 1,70 | 1,77 | 1,28 | 1,47 | 1,85 | 1,70 | 1,87 | 1,34 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 12                                    | 1,59 | 1,85 | 2,88 | 1,63 | 1,58 | 1,57 | 1,62 | 1,53 | 1,65 | 1,28 | 1,36 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 13                                    | 1,37 | 1,32 | 1,52 | 2,70 | 1,45 | 1,73 | 1,55 | 2,84 | 4,90 | 1,45 | 1,35 | 1,55 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 14                                    | 1,22 | 1,52 | 1,58 | 1,24 | 1,37 | 1,12 | 2,23 | 1,31 | 1,39 | 1,55 | 1,34 | 1,36 | 1,54 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 15                                    | 1,32 | 1,46 | 1,90 | 1,39 | 1,37 | 1,33 | 1,77 | 1,40 | 1,44 | 1,79 | 1,28 | 1,79 | 1,36 | 1,70 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 16                                    | 1,41 | 1,12 | 1,70 | 1,75 | 1,53 | 1,50 | 1,79 | 1,58 | 1,62 | 1,89 | 1,20 | 1,48 | 1,34 | 1,32 | 1,41 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 17                                    | 1,32 | 1,61 | 1,62 | 1,29 | 1,33 | 1,14 | 2,12 | 1,33 | 1,39 | 1,61 | 1,29 | 1,57 | 1,47 | 1,34 | 1,49 | 1,30 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 18                                    | 1,38 | 1,32 | 1,55 | 2,32 | 1,49 | 1,82 | 2,14 | 3,13 | 3,96 | 1,41 | 1,34 | 1,49 | 1,29 | 1,57 | 1,38 | 1,35 | 1,50 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |      |
| 19                                    | 1,36 | 1,29 | 1,62 | 2,16 | 1,45 | 1,72 | 1,66 | 2,47 | 2,78 | 1,46 | 1,40 | 2,15 | 1,33 | 1,50 | 1,35 | 1,32 | 1,44 | 1,29 | 0,00 |      |      |      |      |      |      |
| 20                                    | 1,39 | 1,18 | 1,77 | 1,85 | 1,43 | 1,56 | 1,86 | 1,42 | 1,56 | 1,65 | 1,04 | 1,52 | 1,34 | 1,40 | 1,36 | 1,30 | 1,40 | 1,36 | 1,29 | 0,00 |      |      |      |      |      |
| 21                                    | 1,61 | 1,58 | 2,54 | 1,61 | 1,58 | 1,54 | 1,59 | 1,50 | 1,37 | 1,29 | 1,36 | 1,32 | 1,56 | 1,37 | 1,64 | 1,49 | 1,57 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 0,00 |      |      |      |      |
| 22                                    | 1,47 | 1,56 | 1,60 | 1,26 | 1,43 | 0,98 | 2,25 | 1,31 | 1,39 | 1,80 | 1,35 | 1,37 | 1,54 | 1,09 | 1,68 | 1,50 | 1,41 | 1,58 | 1,51 | 1,44 | 1,38 | 0,00 |      |      |      |
| 23                                    | 1,41 | 1,19 | 1,88 | 1,60 | 1,63 | 1,48 | 1,73 | 1,56 | 1,59 | 2,23 | 1,36 | 2,16 | 1,37 | 1,49 | 1,61 | 1,41 | 1,47 | 1,39 | 1,39 | 1,43 | 2,16 | 1,51 | 0,00 |      |      |
| 24                                    | 1,38 | 1,17 | 1,70 | 1,86 | 1,37 | 1,38 | 1,88 | 1,58 | 1,64 | 1,77 | 1,14 | 1,63 | 1,35 | 1,37 | 1,37 | 1,22 | 1,37 | 1,37 | 1,31 | 1,32 | 1,62 | 1,41 | 3,01 | 0,00 |      |
| 25                                    | 1,61 | 1,58 | 1,66 | 1,48 | 1,19 | 1,22 | 1,89 | 1,31 | 1,44 | 2,08 | 1,87 | 1,55 | 1,47 | 1,28 | 1,66 | 1,37 | 1,26 | 1,47 | 1,20 | 1,11 | 1,60 | 1,28 | 2,63 | 1,24 | 0,00 |

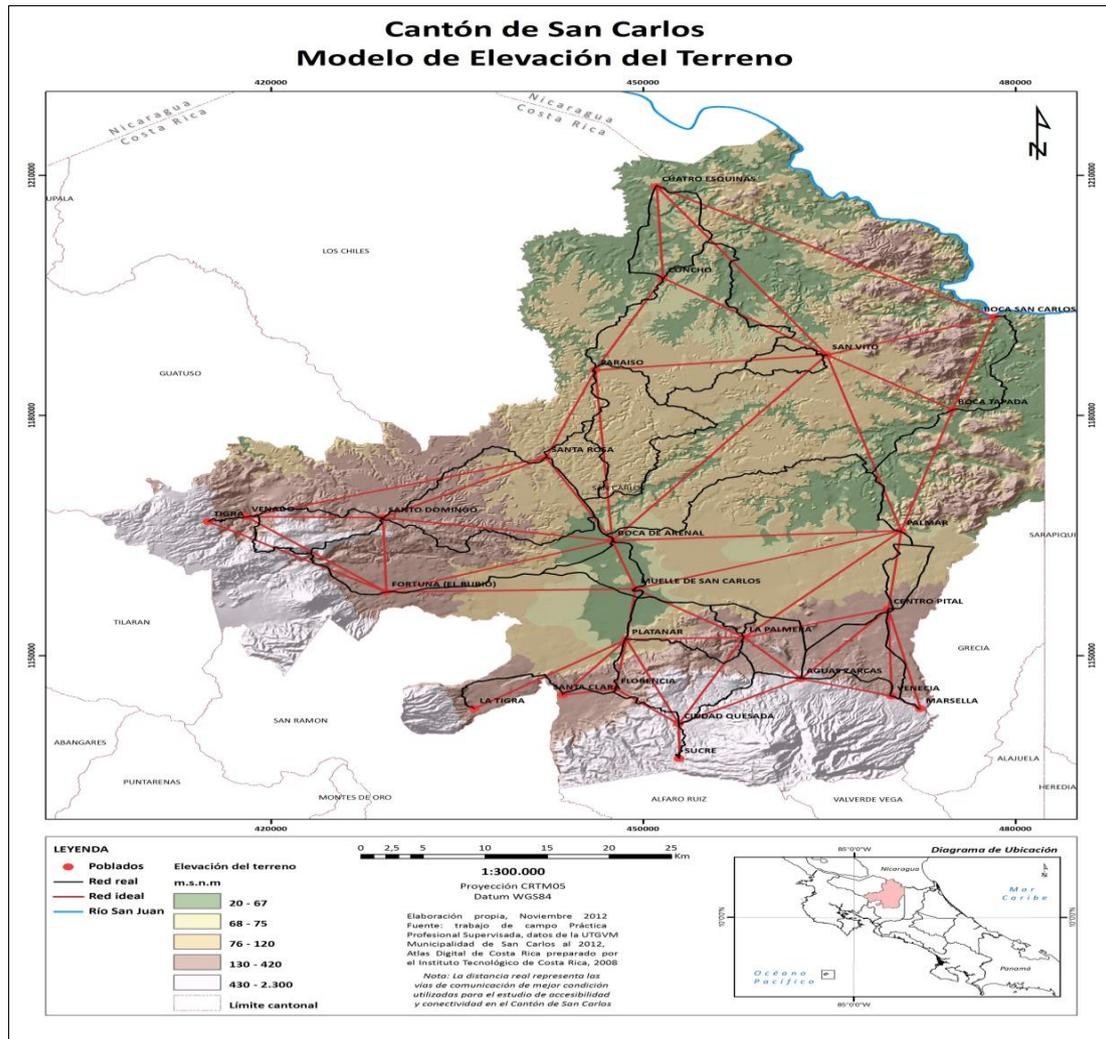
**Fuente:** Elaboración propia, realizada por equipo de trabajo, Municipalidad de San Carlos, 2012.

En tal caso si observamos el figura 2 se puede notar un patrón interesante por la ubicación de estos nodos, ya que si se observa en el sector este del cantón estos poblados están conectados por una sola vía de comunicación muy irregular que por su ubicación aislada les confiere índices de rodeo de una diferencia muy alta al conectarse a San Vito.

Por su parte los tramos que presentan valores  $R_t$  de mejor regularidad corresponden a Santa Rosa con Boca Arenal superando en 4% a la distancia ideal y el trayecto de Marsella a Venecia que supera en un 9% la distancia ideal. En términos generales, estos últimos trayectos presentan una forma relativamente lineal, básicamente por la cercanía que prevalece entre estos, lo que no conlleva grandes irregularidades en la forma de las carreteras.

En la tabla 1, se establecen las medidas de accesibilidad real ( $A_r$ ), accesibilidad ideal ( $A_i$ ) y el índice de rodeo para cada uno de los poblados ( $R_c$ ). Este último registra valores mayores del 40% de irregularidad respecto a la accesibilidad ideal para todos los cantones, siendo el caso de Santa Rosa el que presenta mejor regularidad en las vías que comunican con los demás poblados dentro del cantón.

Figura 2. Mapa de Modelo de elevación del terreno, con la red vial real e ideal del cantón de San Carlos



Fuente: Elaboración propia hecha por equipo de trabajo, Municipalidad de San Carlos

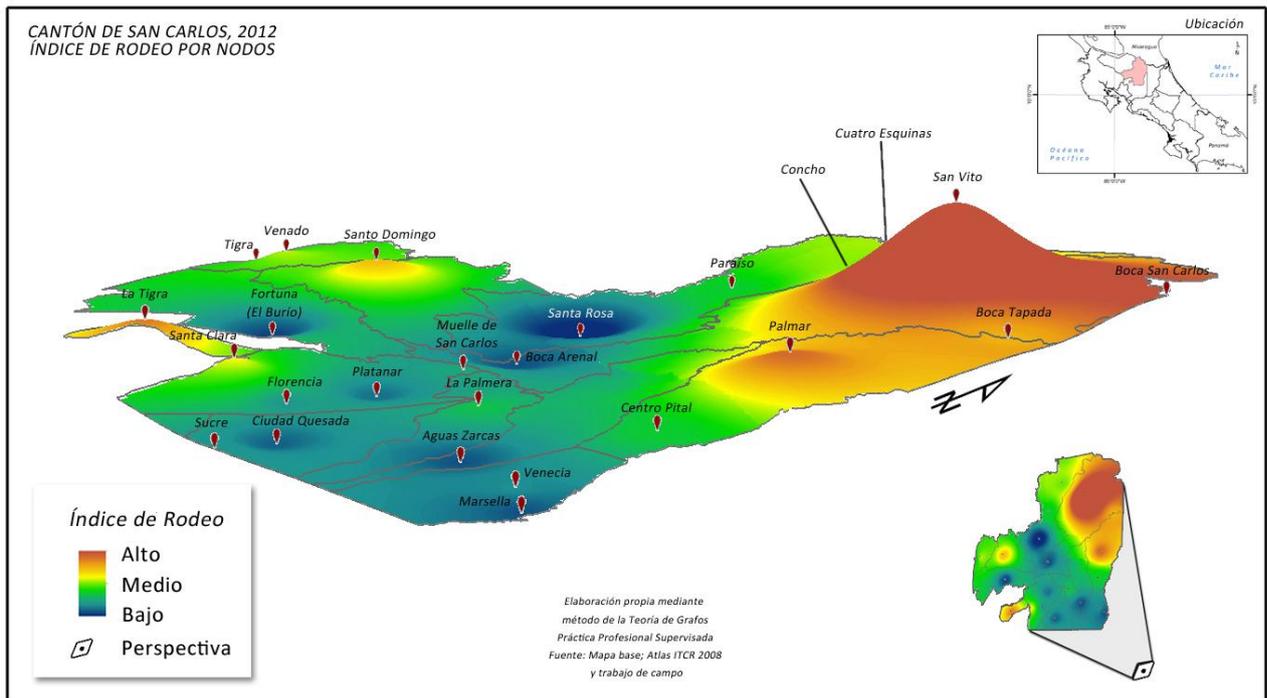
Cabe mencionar que los poblados con mayor deficiencia en la red vial del cantón lo representan Santo Domingo, Boca Tapada, La Tigra, Palmar y Boca San Carlos con valores entre el 71 y 82% de irregularidad respecto a la accesibilidad ideal. El caso más llamativo corresponde a San Vito, que sobrepasa en un 114% a la accesibilidad real, por lo que lo convierte en un poblado muy deficiente dentro de la dinámica de la red.

En términos generales, la red vial del cantón de San Carlos tiene un índice de rodeo general (Rr) de 1.61, por lo que la red vial real sobrepasa en un 61% a la accesibilidad ideal. Si observamos la figura 3, los poblados con valores en rojo se encuentran con problemas de accesibilidad dentro la red, ya que superan el ese 61% de irregularidad. Dichos poblados corresponden a los comentados anteriormente, San Vito, Boca San Carlos, Palmar, La Tigra, Boca Tapada, y Santo Domingo, sumando los poblados de Santa Clara, Venado, Cuatro Esquinas y el Concho. Dicho patrón puede notarse claramente por la características de

ubicación, así como de la forma irregular que presentan sus vías de conexión respecto a demás poblados.

En contraste, el poblado de Santa Rosa presenta menos irregularidad y mayor eficiencia en la accesibilidad dentro de la red vial del cantón, con un valor muy inferior al 60% de irregularidad, al igual que poblados como Marsella, Agua Zarcas, Boca Arenal y la Fortuna donde las rutas que conectan a distintos destinos son relativamente eficientes. (Ver figura 1, modelos 3D).

**Figura 3.** Representación en 3 dimensiones del índice de rodeo por nodos (Rc)



**Fuente:** Elaboración propia hecha por equipo de trabajo, Municipalidad de San Carlos, 2012.

**Tabla 1.** Número Asociado o Köning (NS)

| Baja accesibilidad |   | Mejor accesibilidad |   |
|--------------------|---|---------------------|---|
| La Tigra           | 8 | Fortuna (Burío)     | 5 |
| Cuatro Esquinas    | 8 | Boca Arenal         | 5 |
| Sucre              | 8 | Agua Zarcas         | 5 |
| Santa Clara        | 7 | Platanar            | 5 |
| Tigra              | 7 | Centro de Pital     | 5 |
| Concho             | 7 | Palmera             | 5 |
| Marsella           | 7 | Muelle San Carlos   | 4 |
| Boca San Carlos    | 7 |                     |   |
| Ciudad Quesada     | 7 |                     |   |

**Fuente:** Elaboración propia hecha por equipo de trabajo, Municipalidad de San Carlos, 2012.

No obstante hay que hacer notar que los valores a nivel general son relativamente altos, y que por ende la situación de eficiencia dentro de la red para trasladarse de un destino a otro debe ser tomada para atención y gestión de las vías que comunican dichos poblados, implicando el tema de las rutas alternas a dichos poblados en caso inoportuno de que estas vías tengan que ser cerradas ante cualquier eventualidad que lo requiera.

**Tabla 2.** Índice Shimbél

| Menos accesibles |     | Más accesibles    |    |
|------------------|-----|-------------------|----|
| La Tigra         | 120 | Palmera           | 64 |
| Cuatro Esquinas  | 116 | Platanar          | 63 |
| Sucre            | 108 | Agua Zarcas       | 63 |
| Tigra            | 105 | Fortuna (Burío)   | 63 |
| Marsella         | 102 | Boca Arenal       | 56 |
|                  |     | Muelle San Carlos | 55 |

**Fuente:** Elaboración propia hecha por equipo de trabajo, Municipalidad de San Carlos, 2012.

A partir de los datos de shimbél para cada nodo en la matriz de accesibilidad topológica, se obtuvo el índice de Dispersión (G) de la red, el cual arrojó un valor de 2026, indicando que al no ser un valor alto la forma de la red es un poco dispersa y no concentrada, debido a la dimensión del área de estudio. Además, para el análisis de esta variable es preferible hacerlo en comparación a otro grafo.

Por su parte, el índice de accesibilidad media (IAM), presenta un valor de 81.04. Este dato representa el nivel de accesibilidad global de la red y se compara con los índices shimbél de los diferentes poblados, obteniendo los poblados que cuentan con una mejor y peor accesibilidad dentro de la red.

Ante esto último, al hacer tal comparación del IAM con el Índice shimbél de cada poblado en la matriz de accesibilidad, se determina que La Tigra, Cuatro Esquinas, Sucre, Tigra y Marsella son los poblados que presentan mayores dificultades en su accesibilidad, debido a que sus valores de shimbél se hayan muy por encima del valor de IAM. No obstante si al observar en la matriz los valores de shimbél de otros poblados que igualmente sobrepasan la accesibilidad media de la red, se considerarían como nodos con dificultades de accesibilidad, sin embargo los poblados citados anteriormente contiene valores mucho más significativos por encima de 100.

## **PROPUESTAS DE ACCESIBILIDAD Y CONECTIVIDAD DE ACUERDO A LOS RESULTADOS**

En la actualidad muchas vías de acceso son interferidas por drenajes de aguas superficiales y desniveles en el terreno debido a las características orográfica que presenta una zona en específico, esto ocasionando mayores costos de transporte y tiempo de traslado de un lugar inicial a un lugar de destino.

Es por esto que la tecnología representa una herramienta para mejorar la accesibilidad y conectividad de una manera práctica y sencilla que a su vez permite mejorar la calidad de vida de la población, tomando en cuenta la topografía de los lugares junto con metodologías específicas que explican la importancia de poseer una red de caminos conectada y accesible, reduciendo costos de transporte y largas distancias, beneficiando empresarios, industrias, comercios, turistas, personas y comunidades en general.

En el cantón de San Carlos, se analiza la situación actual de la red, considerando la problemática de conexión de redes en presencia de los criterios de accesibilidad y conectividad. Tomando una suma importancia la presencia de obras de infraestructura civil que permita el paso de un lugar a otro sobre un afluente o aguas superficiales que impida el paso y a la vez la eficiencia de la red de caminos.

Una de estas mejoras que explican el mejoramiento del índice de rodeo actual; es decir, la relación de un tramo real con uno ideal en línea recta que comuniquen dos nodos en relación a diferencias en distancias por kilómetros que posea un tramo; es la presencia de vías de acceso que presenten mejoras en la conectividad y accesibilidad de varios pueblos, en este caso los más alejados.

Por medio de un modelo de elevación (figura 4), tanto como por un sustento prácticos, así como metodológicos se crea una propuesta que dará mejoramiento a la accesibilidad y conectividad, donde se dé una rehabilitación del estado de los caminos, así como la implementación de un puente que conecte las rutas cantonales 02-10-251, 02-10-123, 02-10-250 y 02-10-281 que están en el distrito de Cutris al norte del cantón, con 02-10-189, 02-10-111, 02-10-154, 02-10-174 y la ruta nacional número 250 al lado este del cantón (Pital) y sur del río que interfiere en la conectividad de ambos distritos, tanto así con esta propuesta se mejoraran a gran escala las distancias como los benéficos que produce la implementación de una nueva conexión entre dos sectores aislados.

Esta medida es aplicada para el mejoramiento de la parte norte del cantón, en el poblado de San Vito, interconectando el sector este y sur del cantón como lo es Boca Tapada, Boca San Carlos, Palmar, Pital, Marsella, Venecia, Agua Zarcas y La Palmera; lo cual mejora el tiempo y la distancia reduciendo el kilometraje de manera considerable.

Tomando el caso de San Vito hacia los demás lugares del sector este del cantón de San Carlos, se encuentran situaciones en las que los índices bajan drásticamente, tal es el caso el tramo que comunica con Boca San Carlos, donde la distancia real de esos dos poblados son de 116.89 km, por lo que al colocar un puente, reduciría la distancia en 56.54 km, lo cual se puede observar la gran cantidad de km que se ahorra al implementar dicho puente, dando como resultado un cambio considerable en el índice de rodeo, pasando de un 716% de irregularidad a un 295% aproximadamente de irregularidad en el tramo.

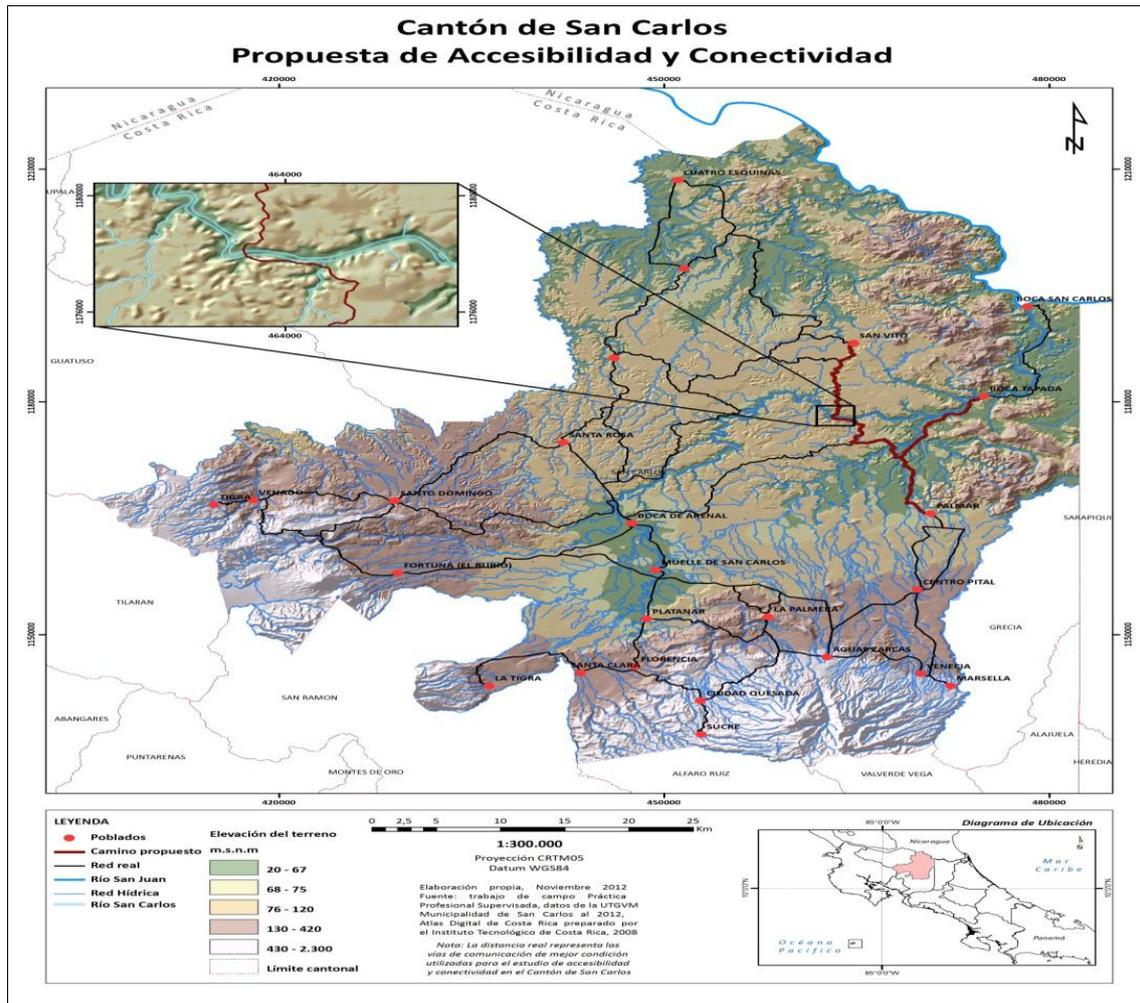
Otro ejemplo representativo dentro de la misma propuesta es el caso del tramo entre San Vito y el Centro de Pital, que presenta un índice de rodeo de 2.83 lo cual refleja una irregularidad de 183% sobre la línea ideal, con una distancia del tramo de 91.04 km, por lo que con dicha propuesta, el índice se reduce a un 1.09 lo que representaría tan solo un 9% de irregularidad del camino entre ambos nodos, con una distancia de 47.95 km, por lo que se consideraría uno de los tramos más beneficiados en cuanto a distancias de poblado a poblado.

De igual forma el caso del tramo entre San Vito y Boca tapada estaría siendo beneficiado, ya que distancia es actualmente de 97.52 km por lo que mejoraría a una distancia de 37.14. También el poblado de Palmar que con una distancia de 96.94km conectando con San Vito reduciría la distancia a 34.62km; con Palmera su distancia presente actualmente es de 76.81 km mientras que con la propuesta implementada su distancia se reduciría a 68.54 km.

Respecto al sector sureste del cantón, el tramo que conecta a los poblados de Venecia y Marsella con San Vito, presenta una distancia de 96.83 km y de 99.84 km respectivamente, por lo que con la propuesta implementada se reducirían dichos kilometrajes a 60.59 km y 62,14 respectivamente. Por último otro poblado que mejoraría su distancia respecto a San Vito, es al centro poblado de Agua Zarcas donde su distancia actualmente es de 86.02 km, por lo que según la propuesta dicha distancia disminuiría a 60,67 km.

Es importante tener en cuenta que la implementación de esta propuesta referente a la ubicación de un puente sobre el Rio San Carlos, comunicando el camino 2-10-281 con el camino 2-10-189, indica que no solamente el poblado de San Vito cambiaría su kilometraje y por ende su índice de rodeo, sino también otros poblados pueden verse beneficiados por utilizar la misma ruta para otros sectores lejanos para su traslado y así disminuir las distancias respecto a otros poblados del cantón de San Carlos, tal es el ejemplo de Cuatro Esquinas y el Concho que reduce en gran medida con la parte este y sureste del cantón.

Figura 4. Mapa Propuesta de conectividad y accesibilidad en el Río San Carlos, distrito de Cutris.



Fuente: Elaboración propia hecha por equipo de trabajo, Municipalidad de San Carlos, 2012.

En términos generales, con la implementación de esta propuesta, el poblado de San vito, tanto así como lugares aledaños al poblado, se beneficiaran al poseer mayores rutas de entrega de productos como la yuca, ñampi, tiquizque, y los lugares aledaños de extracción de madera y materiales de construcción, también la producción de piña que ayuda y agiliza los procesos de entregar y comercializar con el resto del cantón y el país.

Tomando en cuenta por completo las distancias reales e ideales que presenta toda la red del cantón, se puede apreciar que el índice baja considerablemente pasando de un 61% de irregularidad respecto a la accesibilidad ideal a un 58% de irregularidad, lo cual representa una mejora en la conectividad y accesibilidad del cantón en general; es decir, entre menos porcentaje muestre el índice de rodeo, la red vial será más eficaz, compacta, conectada y accesible generando impactos positivos en factores económicos, sociales, turísticos, agrícolas, empresariales, municipales, Institucionales, políticos, entre otros.

Otra propuesta identificada a la mejora de la red cantonal de San Carlos, se da en la parte Oeste del cantón, en el tramo que conecta los poblados de Fortuna y Santo Domingo. Ésta es una propuesta de mejoramiento de la infraestructura vial, actualmente de lastre y tierra, ya que es una ruta muy importante por la actividad turística que predomina en el sector, siendo su principal atracción el Volcán Arenal y la laguna del mismo nombre como diferentes escenarios paisajísticos que posee la zona.

Esta propuesta está enfocada a la reparación y mejoramiento tanto del camino como del paso “vado” sobre el Río de Arenal, que divide el distrito de Monterrey y de Fortuna. Dicho camino a mejorar es el 02-10-460. Es importante tomar en cuenta que con la propuesta de mejoramiento de esta ruta se reducen sus distancia, lo cual pasa de 19.31 km a una distancia de 16.12 km, disminuyendo 3 km.

El beneficio a la actividad turística sería importante mediante esta propuesta, ya que la accesibilidad y conectividad con otros poblados sería mejorada, beneficiando a la calidad de servicios turísticos demandados por los usuarios, además de beneficiar al sector agrícola disminuyendo costos de transporte, carga y tiempo, así como las industrias, y los comerciantes.

## **CONCLUSIONES**

A nivel general, la aplicación de modelos matemáticos en el análisis espacial de las vías de comunicación, permite conocer ciertas características que requieren ser estudiadas para el desarrollo propio de las infraestructuras. El modelo de la Teoría de Grafos y el índice de rodeo, potencializan las labores de gestión y mantenimiento de las rutas y caminos. No obstante la aplicación de estas metodologías puede tener ciertos dilemas en cuanto a los valores arrojados, acrecentando la posibilidad de generar errores.

De tal forma, el caso del poblado de San Vito aunque presente valores ideales de conectividad, los datos de accesibilidad son diferentes, debido a los procedimientos que conlleva el modelo de la Teoría de Grafos. De igual modo, Ciudad Quesada no refleja los datos esperados previamente en cuanto a conectividad y accesibilidad, ya que el modelo exige únicamente las rutas con las distancias más cortas, por lo que otras rutas alternas de conectividad quedan fuera del análisis, generando datos inexactos o inesperados en dicha localidad.

Aunque la implementación de la metodología permite conocer las características a nivel de cantón sobre conectividad y accesibilidad de los principales poblados y rutas viales que comunican a estos, el análisis se enriquecería de forma consistente mediante la comparación con otras áreas de estudio, sobre todo el nivel de accesibilidad que contenga el cantón en general, asimilando consideraciones que puedan corregir las impedancias identificadas en la comparación con otra área de estudio.

## REFERENCIAS

- CASTELLS, M. *A sociedade em rede*. São Paulo: Paz e Terra, 2006.
- CASTELLS, M. O espaço de fluxos. In: \_\_\_\_ **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.
- CARDOZO, O.; GÓMEZ, E; PARRAS, M. **Teoría de Grafos y Sistemas de Información Geográfica aplicados al Transporte Público de Pasajeros en Resistencia**. Buenos Aires: Revista Transporte y Territorio N° 1, Universidad de Buenos Aires, 2009. pp. 89-111.
- CORRÊA, R.L. **Estudos sobre Rede Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.
- DEL CANTO, C.; GUTIÉRREZ, J.; PÉREZ, M.C. “**Asentamientos y transportes**”, en **Carrera. Trabajos prácticos de Geografía Humana**. Madrid: Síntesis. 1988.
- GALARRAGA, J; HERZ, M. **Gestión de riesgo en gerenciamiento de puentes con modelos de decisión multicriterio discretas**. Argentina: Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil 2. 2008. pp. 151-164.
- GÁMIR ORUETA, A.; RUIZ PÉREZ, M.; SEGUÍ PONS, J. **Prácticas de Análisis Espacial**. Barcelona: Oikos-Tau S.A. Ediciones. 1995.
- ISO/TC 2. **Geographic information/Geomatics**. Oslo Noruega: International Organization for Standardization. 1999.
- LOYOLA, C.G; DEL VALLE, A. E. **Flujo, movilidad y niveles de accesibilidad en el centro de Chillan año 2007: propuesta de mejoramiento mediante SIG**. Concepción, Chile: Revista Urbano 19. 2009. pp. 17-27
- LOYOLA, Christian Gómez. **Infraestructura vial y niveles de accesibilidad entre los centros poblados y los centros de actividad económica en la provincia de Ñuble, VIII Región**. Concepción, Chile: Revista Tiempo y Espacio 15. 2005. pp. 101-112
- HALL, C. **La expansión de los transportes en Costa Rica**. Revista Geográfica de América Central N. 3. Vol 2, 1975. p. 26.
- HARVEY, D. **A produção capitalista do espaço**. São Paulo: Annablume, 1ªed. 2005.
- IGN – Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica. Mapas de Costa Rica. Rede viária Nacional. Disponível em: <<http://mapasdecostarica.info/mapas-red-vial-nacional/>>. Acesso em maio 2016.
- LEFEBVRE, H. **A produção do espaço**. Trad. Doralice Barros Pereira e Sérgio Martins (do original: *La production de l'espace*. 4 e éd. Paris: Éditions Anthropos, 2000). Primeira versão: início - fev.2006
- MOPT – Ministerio de Obras Públicas y Transportes. **Conservación de caminos: Un modelo participativo**. San José: Central América. 1998.
- MORAES, A.C. **Território e história no Brasil: Ideologias Geográficas e Projetos Nacionais no Brasil**. Sao Paulo: HUCITEC, 2002b. Pp. 112-174.
- MIRALLES-GUASCH, C. **Ciudad y transportes: El binomio imperfecto**. Barcelona: Ariel, S. A, 2002.
- MUNICIPALIDAD DE SAN CARLOS. **Acta 23, Capítulo IV**. Secretaria del consejo municipal: Plan Quinquenal. Ciudad Quesada. 2012.
- ORTIZ CHAO, C.; MONROY, R. **La accesibilidad espacial en la definición de territorios inteligentes**. En Revista ACE 2. 2008. pp. 759 - 756
- PONS, J.M.S.; REYNÉS, M.R.M. **Geografía de los Transportes**. Universitat de les Illes Balears: Gráficas Planisi, S.A, 2004
- SANTOS, M.; BECKER, B.K. **Território, territórios: ensaios sobre o Ordenamento Territorial**. Rio Janeiro: DP&A, 2006.

SANTOS Y GANGES, L.; DE LAS RIVAS, J.L. **Ciudades con atributos conectividad, accesibilidad y movilidad**. Valladolid: Revista Ciudades 11. 2008. pp. 13-32