

Diseño de Redes Inalámbricas como Infraestructura Tecnológica para Facilitar el Acceso a Internet en Entornos Rurales del Cantón Ambato de la Provincia de Tungurahua

Francisco NARANJO COBO

Facultad de Ingeniería en Sistemas
Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo
Universidad Tecnológica Indoamérica
Bolívar y Quito, Ambato, Ecuador
francisco.naranjo@gmail.com

RESUMEN

Las redes inalámbricas son un fenómeno que ha crecido de forma muy significativa en los últimos años, gracias al reducido costo de implantación, a la facilidad de uso en hogares, oficinas y empresas y a las altas tasas de transmisión que ofrecen. Estas características tan significativas han sido trasladadas al entorno rural mediante el uso de diversas técnicas y metodologías que las hacen aptas para este tipo de entorno. Trabajos realizados por grupos de investigación como el Digital Gangetic Plains (DGP) en India, o el Technology and Infrastructure for Emerging Regions (TIER) en Estados Unidos, han demostrado que se pueden realizar enlaces PtP (punto a punto) de varias decenas de kilómetros sobre hardware WiFi obteniendo prestaciones razonables. Ambas aproximaciones se basan en reemplazar el protocolo CSMA/CA del MAC por un protocolo TDMA. Estas soluciones permiten subsanar fundamentalmente dos problemas: por un lado evitan las ineficiencias inherentes al hecho de usar CSMA/CA en largas distancias, y, por otro, evitar las interferencias internas en un nodo IEEE 802.11 con múltiples interfaces. Sin embargo, también introducen graves problemas de incompatibilidad con otros dispositivos al romper completamente con el estándar WiFi basado en CSMA/CA. Investigaciones realizadas por otros grupos como la Fundación EHAS han propuesto cambios alternativos, los cuales dicen no eliminar la compatibilidad entre dispositivos.

PALABRAS CLAVE

redes inalámbricas, Radio Mobile, Land Cover, Objetivos del Milenio, WiFi, 802.11

ABSTRACT

Wireless networks are a phenomenon that has grown very significantly in recent years, thanks to the low cost of implementation, ease of use in homes, offices and businesses and high transmission rates they offer. These features have been moved to the rural environment by using various techniques and methodologies that make them suitable for this type of environment.

Work carried out by research groups such as the Digital Gangetic Plains (DGP) in India, or the Technology and Infrastructure for Emerging Regions (TIER) in the United States have shown that they can make links PtP (Point to Point) of several tens of kilometers WiFi hardware on getting reasonable performance. Both approaches are based on replacing the CSMA / CA MAC protocol for TDMA. These solutions address two main issues: first avoid the inefficiencies inherent in the act of using CSMA / CA over long distances, and second, to avoid internal interference at a node with multiple IEEE 802.11 interfaces. However, it also introduces serious incompatibilities with other devices to break completely with the WiFi standard based on CSMA / CA. Research by other groups such as the Enlace Hispano Americano de Salud Foundation have proposed alternative changes, who say they do not eliminate compatibility between devices.

KEYWORDS

wireless networks, digital divide, Radio Mobile, Land Cover, millennium objectives, WiFi, 802.11



1. Introducción

La globalización de la educación, y las necesidades actuales de mejorar el acceso y uso de las tecnologías de la informática y computación, nos imponen el generar las condiciones necesarias para eliminar o acortar la nueva brecha digital, la cual no habla únicamente de las diferencias entre países, sino de la fisura existente entre las regiones de un mismo país, habiendo una marcada desigualdad entre el acceso a TIC en las zonas urbanas y las zonas rurales.

El deficiente acceso a las TIC en la zona rural ha sido motivado por al menos dos factores importantes. En primer lugar, el alto costo de implementación de infraestructuras tecnológicas en las zonas rurales, las cuales poseen un bajo porcentaje de elementos humanos en una amplia zona geográfica. Esta situación hace que las empresas proveedoras de estos servicios no tengan como objetivo incursionar en estas áreas.

En segundo lugar, los países en vías de desarrollo no están en la capacidad de tender fibra óptica que permita a estos centros poblacionales rurales, tener acceso a tecnología como el Internet. Ante estas dificultades surgen tecnologías aplicables para subsanar este tipo de problemáticas. Básicamente hablamos de las tecnologías inalámbricas.

Estándares como 802.11, nacieron con el fin de proveer conectividad inalámbrica a una red de alcance local. Con áreas de cobertura de aproximadamente 100 metros, este estándar no es adecuado para ser utilizado en grandes extensiones de terreno, aunque brinda capacidades de transmisión de datos bastante altas. Ante este bache encontrado para su despliegue tecnológico en las zonas rurales, surge la iniciativa de modificar parte del estándar 802.11, específicamente lo relativo a la capa de MAC (Media Access Control), brindando enlaces punto a punto junto a antenas directivas que fácilmente sobrepasan una decena de kilómetros. Esto unido al desarrollo de las redes Malladas o redes *Mesh* ha permitido convertir un estándar dirigido hacia entornos locales en una herramienta fuerte y probada para el despliegue de redes rurales.

La provincia de Tungurahua se encuentra ubicada en la zona centro-norte del país, su población es de 504.583 y pertenece a la región 3. El Cantón Ambato cuenta con 329.856 habitantes, está constituido por 9 parroquias urbanas y 18 rurales [1]. El objetivo de esta investigación es proveer de acceso a Internet a las zonas rurales del Cantón Ambato.

2. Metodología

La metodología utilizada está basada en la propuesta para redes inalámbricas de largo alcance para países en desarrollo contemplada en un estudio anterior [2], a la cual se le han realizado algunas modificaciones, y consta de los siguientes pasos:

2.1 Obtención de las coordenadas geográficas de los establecimientos que conforman la red.

2.2 Arquitectura de la red.

2.3 Simulación de los radio enlaces RF de la red con ayuda de RadioMobile

2.4 Cálculo del presupuesto.

A continuación se detallan cada uno de estos pasos.

2.1 Obtención de las coordenadas geográficas de los establecimientos que conforman la red.

El primer paso a la hora de diseñar una nueva red es la determinación geográfica de cada uno de los nodos pertenecientes a ella. Para no incurrir en errores a la hora de determinar la localización exacta de los nodos de la red ha sido necesario utilizar un dispositivo GPS (*Global Positioning System*) con una tolerancia de error de 0.10 metros, de manera que la determinación de las coordenadas geográficas de cada uno de los nodos sea lo más fiable.

Se ha realizado el desplazamiento a cada una de las parroquias rurales del cantón Ambato, tomando como punto central las Juntas Parroquiales o Iglesias existentes como punto central.

Cabe recalcar la importancia de una buena recolección de esta información, pues es la clave para conseguir una buena simulación de la red con el Software RadioMobile.

Para la obtención de las coordenadas se optó por las coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*). La localización de los establecimientos se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1: Coordenadas UTM

LOCALIDAD	MERIDIANO	X	Y	Z
AMBATILLO	17E	761194	9864221	3113
ATAHUALPA	17E	766081	9865613	2610
AUGUSTO MARTINEZ	17E	765177	9865646	2632
CONSTANTINO FERNANDEZ	17E	763224	9867739	2840
HUACHI GRANDE	17E	763157	9855798	2880
IZAMBA	17E	768767	9864566	2566
IUAN BENIGNO VELA	17E	756816	9856454	3129
MONTALVO	17E	764284	9853180	2929
PASA	17E	752663	9860057	3112
PICAHUA	17E	769041	9859257	2592
PILAHUIN	17E	753215	9857354	3327
QUIJAPINCHA	17E	758055	9863925	3094
SAN BARTOLOME DE PINILLO	17E	762755	9864037	2690
SAN FERNANDO	17E	750998	9860420	3262
SANTA ROSA	17E	760254	9858512	3027
TOTORAS	17E	767813	9854789	2670
CUNCHIBAMBA	17E	768882	9874754	2693
UNAMUNCHO	17E	767259	9872028	2760
PUNTOS DE REFERENCIA	MERIDIANO	X	Y	Z
PARQUE DE LA FAMILIA	17E	760971	9862466	3026
PARQUE INDUSTRIAL	17E	768061	9868280	2680
PILAHUIN TAMBOLOMA	17E	747561	9855111	3680
PICAHUA COLEGIO	17E	769489	9859533	2584
CERRO NITÓN	17E	774181	9858586	3044.1

2.2 Arquitectura de la red

En esta etapa se debe técnicamente decidir la tecnología o tecnologías a emplear, así como la tipología de red a implementar. Una de las condiciones que hemos puesto es que el acceso sea lo más económico posible, pero que a su vez sea confiable.

La topología a utilizar es una estrella, compuesta por conexiones punto a punto a un nodo central, el cual proveerá acceso a la red troncal, la cual facilitará el acceso a internet.

La salida a internet está constituida por un enlace de fibra óptica proporcionado por la Universidad Tecnológica Indoamérica (así ha sido contemplado actualmente pero el diseño

acepta modificaciones acordes a las necesidades del proyecto, sugiriéndose el uso de fibra óptica o acceso ADSL). La señal es distribuida a la red troncal mediante un enlace con equipos WiFi 802.11n con modificaciones para largas distancias [3], con tecnología MIMO 2T2R o MIMO 3T3R con antenas con triple polaridad.

Para la red de troncal se han utilizado enlaces 802.11g conformada por los enlaces entre parroquias, mediante la utilización de antenas direccionales y las modificaciones a la capa MAC para enlaces de larga distancia. El punto central de la red lo constituye el emplazamiento ubicado en el cerro Nitón.

La red de distribución está constituida por redes 802.11n con modificaciones para largas distancias con antenas sectoriales, las cuales formarán celdas de acceso en cada una de las comunidades.

2.3. Simulación de los radio enlaces RF de la red con ayuda de Radio Mobile.

Radio Mobile es un software de distribución gratuita que permite la simulación de redes de radio frecuencia, su uso es muy extendido tanto por usuarios noveles como usuarios profesionales, principalmente debido a su versatilidad. A su favor podemos decir que cuenta con actualizaciones periódicas y se encuentra en continuo desarrollo y optimización. Lo que tiene en contra es la falta de documentación sobre los algoritmos que utiliza para la simulación de las redes, y el no contar con el código fuente para poder implementar nuestras propias modificaciones.

2.3.1 Determinación de las especificaciones radioeléctricas y los mapas a utilizar

A continuación en la Figura 1 se pueden apreciar los parámetros de Frecuencia, Refractividad de la superficie, Conductividad del suelo, Permitividad relativa al suelo, polarización, Modo estadístico y Clima, los cuales han sido registrados en el software Radio Mobile.

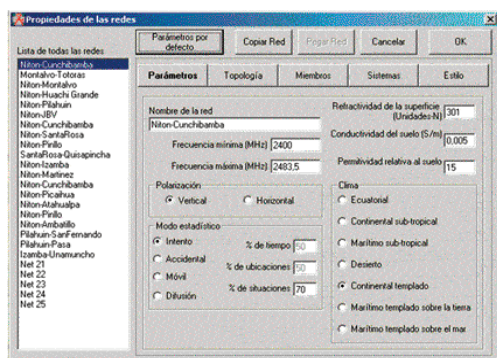


Figura 1. Parámetros de refractividad, conductividad, permitividad.

2.3.2 Determinación de los mapas a utilizar

Se ha decidido utilizar mapas provenientes del sistema de satélites Terra. La NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) han diseñado un nuevo mapa topográfico digital basado en las medidas recogidas por el instrumento radiométrico ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) (Japón), que se encuentra a bordo del satélite TERRA (NASA). Este nuevo mapa obtiene la representación "más vasta y precisa" del mundo, abarcando un 99% de la superficie del planeta.

RadioMobile no soporta por el momento la utilización de imágenes ASTER GDEM, por lo cual se utilizó el software de licencia libre 3DEM, el cual transforma la información proveniente de estos archivos al formato HGT de SRTM 1 arc/seg (30 m), lo cual mejora la resolución de SRTM v3 el cual brinda una resolución de 3 arc/seg (90 m).

2.3.3 Determinación de los nodos

Se ha ingresado la información de cada uno de los nodos a los cuales se quiere dotar de acceso a Internet, más el nodo central ubicado en el Cerro Nitón.

Se han bloqueado los nodos, con el fin de eliminar posibles distorsiones de la información ingresada. En cuanto sea posible se plantea el uso de enlaces directos para cada uno de los nodos con el fin de prestar un mejor servicio,

con mejores capacidades.

En la Figura 2 se observa la información de los nodos ingresada en Radio Mobile acorde a la información recogida en la Tabla 1

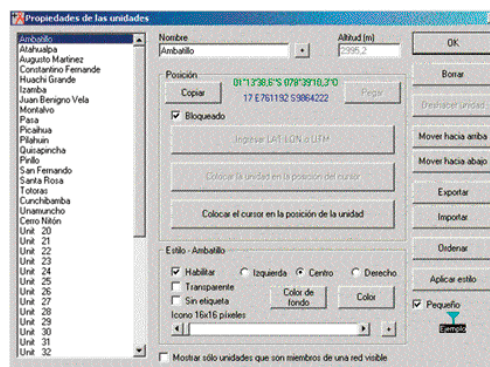


Figura 2. Información de los nodos en Radio Mobile

En la Figura 3 se observa la distribución de los Nodos dentro del mapa, gracias al software Radio Mobile

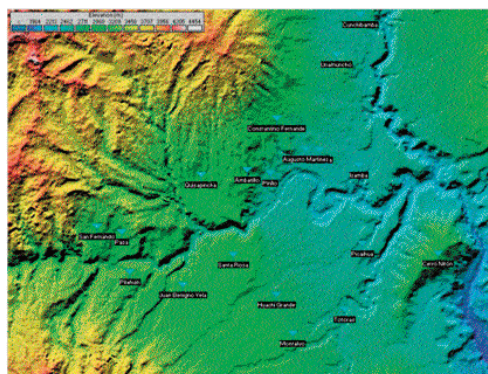


Figura 3. Nodos distribuidos en el mapa

El software Radio Mobile, se encargará de obtener los puntos necesarios para la simulación de los enlaces, acorde a la configuración propuesta, obteniéndola de los mapas utilizados.

Con el objetivo de mejorar la simulación y obtener resultados más precisos se ha utilizado Land Cover, el cual es una base de datos con información sobre la cobertura de la tierra (asfalto, edificios, árboles, agua, etc). y apoyada por el uso de Land Cover con el fin de mejorar la simulación utilizando los parámetros más exactos posibles.

En la Figura 4 se puede apreciar los parámetros provistos por el Software Radio Mobile gracias a la utilización de la información de Land Cover.

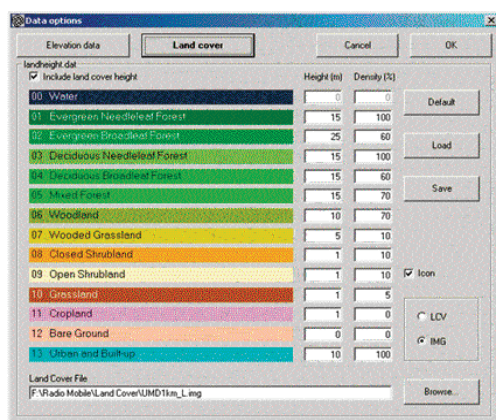


Figura 4. Interface de Land Cover

2.3.4 Determinación del equipamiento dependiendo de la tecnología y del tipo de nodo

Se ha propuesto la utilización de placas Alix 2d2, proporcionados por PCEngines, la misma cuenta con dos interfaces Ethernet, 2 puertos minipci, 2 puertos USB, 256 MB de Ram, y un procesador AMD Geode LX800, los radios a utilizar son 2 RouterBOARD R52Hn, las cuales cuentan con un chip Atheros AR9220, acompañados por el sistema operativo Linux Voyage 0.8.0, el cual está especialmente diseñado para sistemas embebidos y es totalmente compatible con las placas Alix. Como sistema de almacenamiento se utilizan Compact Flash de 2GB.

Se han utilizado los drivers hostap y madwifi para las pruebas de conectividad.

2.3.5 Localización y altura de antenas y repetidores

Se ha decidido utilizar torres con la menor altura posible a fin de reducir los costos de implantación de la solución propuesta, así como brindar mayor potencial de replicabilidad al proyecto. La mayor parte de antenas tiene una altitud de tan solo 5 metros, están ubicadas en lugares donde se cuenta con un suministro con-

tinuo de energía eléctrica, existe infraestructura de respaldo, y acceso relativamente fácil para su mantenimiento.

La torre ubicada en el Cerro Nitón es la única que cuenta con un alto mayor (30 metros) con el fin de proveer una distancia óptima entre radios y evitar su mutua interferencia, así como mejorar los enlaces con cada uno de los nodos. Al existir en Cerro Nitón infraestructuras sub-utilizadas, se ha pensado en el alquiler de una torre, la cual no cuente con radios dentro del mismo espectro de frecuencia.

3. Resultados

Analizando minuciosamente el conjunto de estándares 802.11 se comprueba lo expuesto en el trabajo de Simó [3], que dice que estándar por sí no ofrece restricciones a la distancia o cobertura de los enlaces de radio.

3.1 Límites de alcance de IEEE 802.11

3.1.1. Límites impuestos por la capa física

Una cuidadosa revisión del estándar no deja entrever ningún elemento de la capa física que limite el alcance de las comunicaciones WiFi en términos de distancia, salvo el balance de enlace. Los límites físicos de distancia alcanzable con WiFi dependerán, por lo tanto, de los siguientes parámetros:

- La máxima potencia que podamos transmitir (PIRE).
- Las pérdidas de propagación.
- La sensibilidad de recepción.
- La mínima relación señal a ruido que estemos dispuestos a aceptar como suficiente para obtener enlaces estables y de calidad a pesar de las fluctuaciones del medio.

3.1.2. Máxima potencia de transmisión

El estándar determina que el límite de potencia que se puede transmitir depende de la le-

gislación relativa a la banda de frecuencias ISM (*Industrial, Scientific and Medical*).

Así podemos observar que además de estar reglamentada la potencia a la salida del transmisor, la FCC (*Federal Communications Commission*) especifica que la ganancia de la antena no puede sobrepasar los 6dBi para configuraciones punto a multipunto. Para enlaces fijos punto a punto se puede superar esa ganancia, reduciéndose el máximo de potencia a la salida del transmisor en 1dBm por cada 3dBi de más en la antena.

Tabla 2. Máxima potencia de transmisión por regiones

Máxima potencia transmisible	Domino legal	Normativa
1000mW	USA y muchos países en desarrollo, sobre todo en áreas rurales.	FCC 15.247
100 mW	Europa	ETS 300-328
10 mW	Japón	MPT Artículo 49-20

En 5.8GHz la limitación de la FCC es igual a la salida del transmisor, pero no hay que transmitir menos potencia si la ganancia sube en enlaces punto a punto.

En nuestro país y en muchos otros países en vías de desarrollo la normativa utilizada es la FCC 15.247, o en su lugar emiten normas parecidas, lo que permite a estas administraciones aprovechar las potencialidades de IEEE 802.11 para fomentar las comunicaciones de banda ancha en zonas rurales.

3.1.3 Límites impuestos por la capa MAC

En ningún estándar de la familia IEEE 802.11 se imponen restricciones explícitas de distancia, pero es notorio que éstas existen porque los resultados lo demuestran.

La capa MAC tiene multitud de tiempos constantes definidos que tienen diferente efecto en función de la distancia que haya entre estaciones. Tras una revisión cuidadosa del estándar IEEE 802.11, se pueden extraer dos tipos de li-

mitaciones: el temporizador de espera de los ACKs, y la definición de tiempos relacionados con el tamaño de la ranura (SLOTTIME).

3.1.4. ACKTimeout

Se define como el tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK (Acknowledge, acuse de recibo, o confirmación de la recepción de datos) una vez ha terminado la transmisión de un paquete.

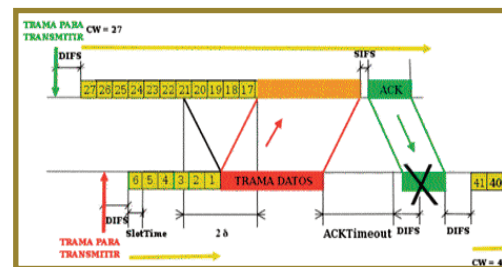


Figura 5. Transmisión de una trama cuando el ACKTimeout es insuficiente

La Figura 5 muestra, que si el ACK correspondiente a una trama que llega a la estación transmisora tras caducar el ACKTimeout, el ACK se descarta y se programa una nueva retransmisión. Tras caducar el ACKTimeout se inicia un periodo DIFS, el cual no se puede concluir porque se ha empezado a recibir el ACK, activando el mecanismo CCA/CS; tras quedar de nuevo el canal libre, se vuelve a esperar un tiempo DIFS y se empieza de nuevo la cuenta atrás para una retransmisión.

Al ser un parámetro del MAC, no se trata tanto de cuándo llega el primer bit del ACK a la estación transmisora como de recibir señal de ello en el nivel MAC de ésta, el estándar especifica que el evento que finaliza la espera del ACK es el paso de la capa PHY a la capa MAC de la primitiva PHY-RXSTART.indication, que sucede cuando la capa PHY ha terminado de recibir el preámbulo y la cabecera PLCP.

En breves palabras para que funcione el mecanismo de confirmación de tramas de datos unicast el ACKTimeout debe contener:

- El tiempo de propagación de ida y vuelta. Este tiempo dependerá de la distancia entre estaciones.
- El tiempo SIFS que separa la recepción del paquete de la transmisión de su ACK en el receptor. Su valor es de 10µs para 802.11b/g y de 16µs para 802.11a.
- El tiempo de recepción del preámbulo y cabecera de nivel físico del ACK. Este tiempo varía según el PHY. En los PHY DSSS existen dos posibilidades: preámbulo y cabecera largos, totalizando una duración de 192µs, y preámbulo y cabecera cortos, totalizando una duración de 96µs. Las cabeceras cortas son opcionales en 802.11b (y raramente implementadas) y obligatorias en 802.11g. En OFDM esa duración es de tan sólo 20µs.

Paradójicamente, en el estándar no se dice cual es el valor del ACKTimeout ni cómo se calcula. Bianchi en [4] afirmó que el estándar no contenía este valor. En la publicación de Bianchi y Tinnirello en 2005 [5], se ponía de relieve que en la descripción formal del MAC en SDL, en la página 361 del estándar IEEE 802.11-1999 [6], hay un temporizador sin nombre cuya función está relacionada con el tiempo de espera del ACK en la estación transmisora. Según esa descripción formal, tendríamos un valor de:

$$ACKTimeout = SIFS + SlotTime + ACK + PLCPpreamble + PLCPHeader$$

La inclusión de la duración de la trama MAC ACK responde a la lógica de que la estación transmisora no pueda colisionar con el ACK que podría estarse transmitiendo aunque no lo esté recibiendo por razones asociadas a la propagación. El sumando Slot-Time (duración de una ranura) representa una cota superior al tiempo de propagación en distancias cortas. La suma de estos dos tiempos es lo que va a determinar el alcance máximo que se puede lograr respetando esa definición formal del estándar y que depende de la velocidad, como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 3. Parámetros por alcance y velocidad

Velocidad (Mbps)	SlotTime (µs)	ACK (bits)	Alcance (µs)	Alcance (Km)
1	20	112	66.0	19.8
2	20	112	38.0	11.4
5.5	20	112	20.2	6.1
6	9	112	13.8	4.2
9	9	112	10.7	3.2
11	20	112	15.1	4.5
12	9	112	9.2	2.8
18	9	112	7.6	2.3
24	9	112	6.8	2.1
36	9	112	6.1	1.8
48	9	112	5.7	1.7
54	9	112	5.5	1.7

Es claro que estas limitaciones dejan poco juego para los enlaces de larga distancia, salvo a las velocidades más bajas. Si el material empleado permite ajustar el parámetro ACKTimeout, el ajuste según la siguiente fórmula permitiría evitar esta limitación:

$$ACKTimeout = SIFS + 2 \text{ tiempos de propagación} + PLCPpreamble + PLCPHeader + SlotTime$$

Para simplificar los valores se ha tomado que ACKTimeout debe tener un valor igual al tiempo de propagación en ambos sentidos. SlotTime debería tener un valor igual al tiempo de propagación de envío, pero esto implicaría tener enlaces asimétricos, por lo cual se resuelve utilizar un valor igual al tiempo de propagación en ambos sentidos.

A lo anterior hay que añadir que el hardware Atheros posee una limitación en función del tamaño de registro, por lo cual existen valores máximos a la hora de configurar el Acktimeout en los distintos modos 802.11 a/b/g. Estos son:

802.11b: 744 (~106 km)
 802.11a: 409 (~ 58 km)
 802.11g: 372 (~53 km)

Al comprobar que técnicamente los enlaces son viables se realiza la simulación en el software Radio Mobile, con los resultados mostrar en la Figura 6.

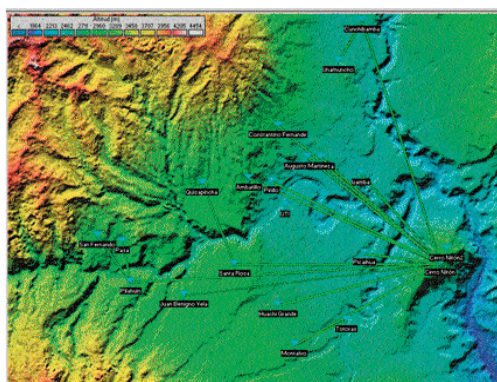


Figura 6. Simulación en Radio Mobile

4. Conclusiones

Con los resultados obtenidos y gracias al estudio detallado de los estándares 802.11 y su impacto para enlaces de larga distancia en zonas rurales, se puede afirmar:

Que este tipo de redes son fiables y fácilmente replicables en toda la zona central del país, y posiblemente con mejores prestaciones en la zona costera.

Que el uso de redes 802.11 puede reducir el costo de los despliegues tecnológicos en zonas rurales.

Que a pesar de la compleja orografía del valle interandino un buen estudio de los emplazamientos puede ayudar sustancialmente al óptimo diseño de este tipo de redes

Que el uso comunitario de estas redes puede reducir la brecha digital.

5. Referencias

[1] INEC. 2011. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo de Población y Vivienda 2010.

[2] Salguero, B. 2009. Propuesta de metodología de diseño de redes inalámbricas extensas de banda ancha para zonas aisladas en países en vías de desarrollo. 11-121.

[3] Simó, J. 2007. Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo. 57-150

[4] G. Bianchi. 2000. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, (18):535–547.

[5] Bianchi, G. and I. Tinnirello. 2005. Remarks on IEEE 802.11 DCF performance analysis. IEEE Communications Letters, 9(8):765–767.

[6] IEEE. 2007. IEEE 802.11-2007 (Revision of IEEE Std 802.11-1999).

IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications