

Análisis del desempeño de una red con tecnología *Wi-Fi* para largas distancias en la región costa del Ecuador

Isabel Cano

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela
Politécnica del Ejército
Quito, Ecuador
iecano@espe.edu.ec

Fernando Almeida

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela
Politécnica del Ejército
Quito, Ecuador
fdalmeida@espe.edu.ec

Abstract—*This paper studies the performance of the non-standardized technology WiLD (Wireless Fidelity for Long Distance), that consist in modifying the MAC layer of the IEEE 802.11b standard for a minimum distance of 50 km, This work was performed using pilots tests, with two links in different places of the coastal region of Ecuador, with different topographic characteristics. The results, obtained by the traffic injector D-ITG are compared with those obtained with the simulation tool ns-2. UDP and TCP traffic were used for the test in both, the simulations and the realized measurements. Finally we present the conclusions for this work.*

Keywords: IEEE 802.11, Wi-Fi, WiLD, ACK, MAC layer, ns-2.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las redes de conexión inalámbrica se encuentran en desarrollo constante, y existe una diversidad de maneras de acceso a Internet. Lamentablemente no toda la población del Ecuador tiene acceso a este servicio. Con el fin de realizar un mejoramiento en el desarrollo de las redes inalámbricas que se manejan bajo el estándar IEEE 802.11b y brindar una opción que abarate costos y tenga los mismos beneficios que las tecnologías similares pero con mayor alcance. El siguiente proyecto de graduación estudia la tecnología no estandarizada WiLD (Wireless Fidelity for Long Distance) en la región costa del Ecuador.

En los últimos años se ha podido observar un gran avance tecnológico en nuestro país, pero así mismo se observa que este avance no es equitativo. El estado mediante la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Semplades y, a través del Plan Nacional del buen vivir

2009-2013 [3], diagnostica que “El acceso limitado a la información, restringe las posibilidades de formación y aprendizaje continuo y dificulta el desarrollo personal y colectivo de las capacidades”, siendo las zonas rurales las más afectadas, apenas un 7,2% de población rural usa internet y, solo una vez por semana [1].

Las modificaciones realizadas al estándar IEEE 802.11 han permitido que esta tecnología aumente su cobertura, y, mediante el cambio de parámetros de configuración en la capa de enlace de datos MAC, es posible llegar con un enlace Wi-Fi de larga distancia a regiones donde las tecnologías cableadas resultarían costosas.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Se han realizado ya, varios trabajos de investigación para el desarrollo de esta tecnología; desde sus inicios en [2], donde se empieza a trabajar con enlaces de larga distancia bajo el estándar IEEE 802.11b; y, se concluye que un enlace de estas características, deberá ser planeado para situaciones totalmente predecibles, y que cualquier variación de cualquier clase, afectará drásticamente a la red.

En la India, un nuevo protocolo para las redes IEEE 802.11 de larga distancia, es diseñado por Raman y Chebrolu en [3], donde se planifica un protocolo llamado 2P MAC, que trabajaría como reemplazo de CSMA/CA, y alcanzaría la máxima eficiencia usando un solo canal, y si no se requiere de sincronización. Este protocolo fue diseñado con hardware propio para él, lo que es un nuevo avance en la tecnología no estandarizada WiLD, pero aún no lo suficiente para lograr que la tecnología se adapte al medio.

El Doctor Javier Simo en [4] ha propuesto bases como el establecimiento de un modelo analítico que justifica el comportamiento de enlaces con distancias entre 6 y 100 km modelando el estándar 802.11 y analizando la optimización del estándar 802.11b.

La Ingeniera, Patricia Ludeña en [5], analiza el estándar 802.11n, propone su aplicabilidad en entornos rurales específicamente de América Latina que combinados con 802.11n, conlleva ciertas ventajas como mayor ancho de banda y resistencia a los multitrayectos para estos entornos.

Los ingenieros Ricardo Águila y Jimmy Sánchez en [6], brindan el estudio para los estándares 802.11e y 802.11n donde se indica que en 802.11e cada tipo de tráfico debe recibir un tratamiento diferenciado por parte de la red para garantizar la calidad de servicio. Y al igual que el caso anterior mediante el estándar 802.11n se puede alcanzar mayor velocidad, cabe recalcar que en este trabajo solo se alcanzó la distancia máxima de 15 km.

En la escuela politécnica del ejército, las ingenieras Viviana Tamayo y Evelin Barrionuevo en [7] realizan el estudio de la tecnología WiLD para la región sierra del Ecuador, en el estándar 802.11b mediante 2 saltos, alcanzando 60 km.

El record de un enlace punto a punto lo tiene en Venezuela el profesor Pietrosémoli que en [8] ha probado enlaces Wi-Fi punto a punto y en el 2006 consigue un enlace de 382 km entre cadenas montañosas de Venezuela, empleando equipos Wi-Fi no convencionales con antenas parabólicas.

III. AJUSTE DE PARÁMETROS PARA WILD

Se tienen tres tipos de limitaciones que son: el temporizador de espera de los ACK, la definición de los tiempos relacionados con el tamaño de la ranura, y el cálculo del Vector de Asignación de Redes NAV¹ (Network Allocation Vector) para la detección de la portadora virtual.

ACK-Timeout.- Si el ACK es menor que el tiempo de propagación, es decir el tiempo que toma desde el último paquete enviado más 1 SIFS + más el inicio del ACK del mismo paquete para regresar al lugar de envío, la MAC que transmite, asumirá que se perdió el paquete, y será innecesario retransmitir el mismo. Si el paquete es retransmitido, terminará por colapsar con el ACK que está de regreso y termina por reducir el throughput.

¹ Mecanismo de sensado de portadora virtual, donde un valor determinado tiene que llegar a cero en la cuenta regresiva, para que se vuelva a censar el canal.

Si se da un valor muy largo de ACK, el transmisor espera un tiempo innecesariamente largo antes de retransmitir alguna trama perdida y esto también reduce el throughput del enlace. El enlace seguirá funcionando pero el throughput decaerá mientras la distancia aumente. Entonces lo que se debe hacer es alargar el ACK-timeout y el slottime, para que el paquete enviado no se pierda debido al tiempo de vida provisto para el mismo.

IV. MODELO DE LA RED

El primer paso para modelar la red fue escoger los lugares donde se realizaron los enlaces, que después de un estudio realizado, se determinó que los más óptimos fueron: el primero, entre el cerro Salinas y el cerro Cabuyas con 75,5 km de distancia entre ellos y el segundo entre el cerro Salinas y el cerro Ánimas con 66,7 km de distancia; éstos son lugares cuentan con características topográficas diferentes, el primero se encuentra sobre tierra y el segundo sobre mar como se aprecia en las figura 1.

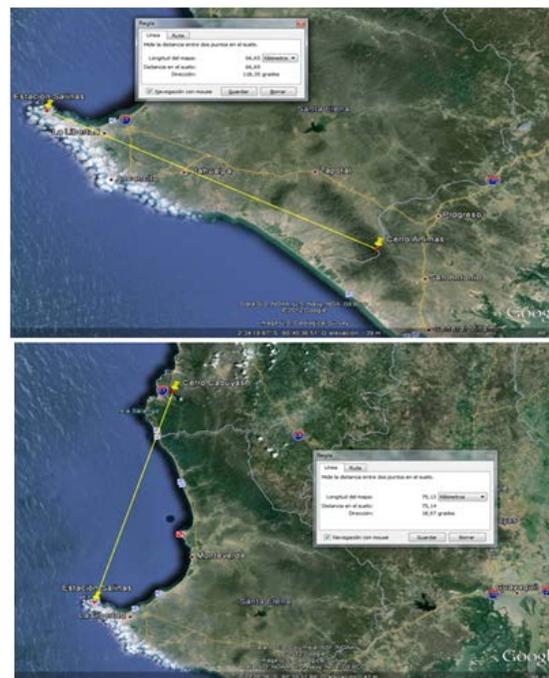


Figura 1. Vista satelital de los lugares donde se implementó la red, arriba: Salinas – Ánimas; abajo: Salinas Cabuyas.

El centro de investigaciones de redes ad-hoc (Cirad) de la Escuela Politécnica del Ejército, proporcionó los equipos con los que se realizó el proyecto. Uno de los principales componentes es la placa Alix, es una placa que permite la modificación del estándar IEEE 802.11

mediante código sobre el sistema operativo Linux voyage, con el driver de Madwifi para poder modificar el AKC-timeout y el Slottime.

Entre los beneficios se tiene su bajo costo y dimensiones así como también la posibilidad de portar el sistema operativo Linux mediante una compact flash, y principalmente la disminución en el consumo de energía del router. Una tarjeta Alix consume alrededor de 5W y 12V DC.

Se utiliza esta tarjeta ya que permite ejecutar la modificación del estándar a nivel de la capa de enlace mediante programación, no requiere refrigeración y tiene una muy buena estructura para exteriores.

El siguiente paso fue el esquema de la red a implementar, como se muestra en la figura 4.3. Se cuenta con un dispositivo “Power station” de largo alcance fabricado por Ubiquiti, este nos ayuda en la alineación de las antenas ya que cuenta con leds indicadores y con un software que nos permite verificar el nivel de la señal recibida. Una vez obtenido el enlace, se reemplaza este equipo por las tarjetas Alix 3D3 configuradas previamente como master y esclavo respectivamente. El esquema mostrado en la figura, es el mismo utilizado para el segundo enlace.

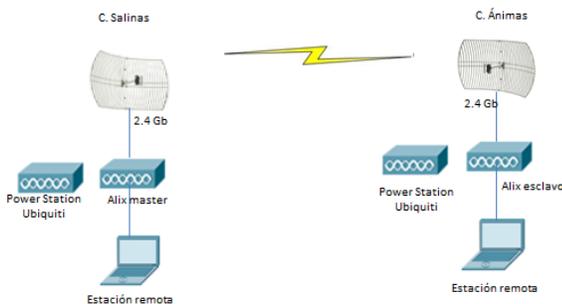


Figura 2. Esquema del enlace Salinas – Animas.

Para el ruteo es necesario separar en 3 subredes una que ira desde la estación remota a la tarjeta Alix, la segunda que saldrá inalámbricamente entre antenas y la tercera entre la tarjeta y la segunda estación remota, estas estaciones pueden ser cualquier dispositivo con capacidad para SSH en caso de que se requiera modificar la configuración de las interfaces; o en su defecto serán los terminales a los que se les brinde algún servicio proporcionado por la red.

V. SIMULACIÓN

Después de un estudio comparativo se determinó que el simulador más conveniente para este trabajo es ns-2 ya

que permite establecer las modificaciones necesarias mediante código y exportar los datos a graficadores externos. Su instalación completa se detalla en el anexo 1.

A pesar de que nos brinda un muy buen alcance de varias decenas de kilómetros, no es suficiente para la tecnología en curso con distancias de hasta 80 km, por lo que se investigó un parche para el programa llamado Tens el cual permite optimizar y lograr la cobertura total de la red.

The Enhanced Network Simulator (Tens) es una extensión del Network Simulator 2. Tens está diseñado para abordar las deficiencias de ns-2 en el modelado de protocolo IEEE 802.11 de la capa MAC, que en el ns original está muy simplificada [9].

Durante la simulación se analizaron los parámetros con los que se evaluará la calidad de servicio del enlace, estos son: throughput, delay, pérdida de paquetes y jitter. El parámetro más importante es el throughput, ya que determina el ancho de banda que se espera con las distancias propuestas, se tomaron medidas cada 10 km en cada enlace, con tráfico TCP y UDP; los resultados se muestran en las figuras 3 y 4 respectivamente y se observa claramente como este va decayendo mientras la distancia aumenta.

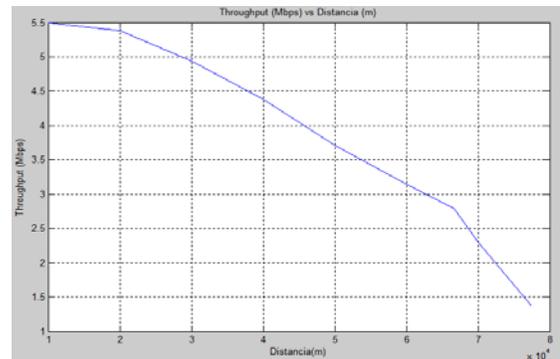


Figura 3. Análisis del Throughput vs Distancia con el Protocolo TCP.

La tasa de transmisión fue de 5.5 Mbps ya que la máxima permitida por el estándar es de 11 Mbps, pero para enviarla se necesita más ancho de banda y se verá deteriorado por la distancia.

El Throughput normalizado de la red con el protocolo TCP alcanza un valor de 2.84 [Mbps], que en relación a la velocidad de transmisión teórica de 5.5 [Mbps], representa el 51,63 % de la capacidad máxima de la red. Existen también periodos de tiempo en los cuales el rendimiento de la red decrece notablemente.

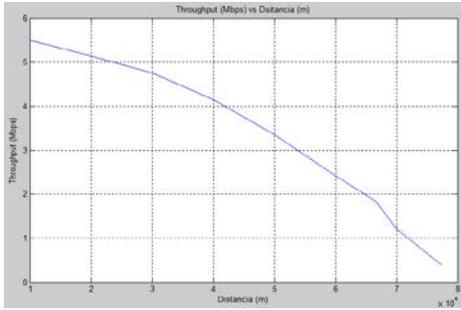


Figura 4. Análisis del Throughput vs Distancia con el Protocolo UDP.

El Throughput normalizado con el protocolo UDP alcanza un valor de 1,36 [Mbps] que en relación a la velocidad de transmisión teórica de 5.5 [Mbps], representa el 24,72% de la capacidad máxima de la red. Y al compararla con la velocidad alcanzada con el protocolo TCP se muestra una caída del 26,91%.

Para el enlace sobre mar el El Throughput normalizado con el protocolo TCP alcanza un valor de 1.55 [Mbps], y representa el 28,18 % de la capacidad máxima de la red. Y para el protocolo UDP, alcanza un valor de 243,53 [Kbps], que representa el 4,53 % de la capacidad máxima de la red. Y al compararla con la velocidad alcanzada con el protocolo TCP se muestra una caída del 23,65 %.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para poder realizar el análisis de resultados es necesario trabajar con las medidas tomadas de la instalación real de los enlaces, a continuación se muestran las gráficas y los valores obtenidos para los parámetros que fueron medidos en el primer enlace. Para el segundo enlace solo varían los valores.

Las Figura 5 y 6 muestran el comportamiento de la latencia frente al tiempo, para un tamaño de paquete de 512 bytes, el retardo existente en la red fue obtenido después de realizar las pruebas con el inyector D-ITG durante un tiempo de 30 segundos. La inyección del tráfico corresponde al flujo de paquetes que se envían desde la dirección 12.0.0.6 que corresponde al transmisor, a la dirección destino 13.0.0.5, el flujo agregado entregó como resultados retardos promedios de 7.25 y 5.62 segundos para TCP y UDP correspondientemente. En el enlaces Salinas – Cabuyas se obtuvo como resultados retardos promedios de 9.66 y 11.21.

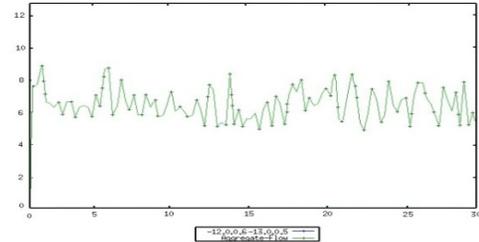


Figura 5. Delay con TCP Salinas – Animas.

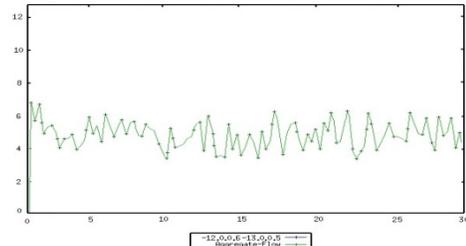


Figura 6. Delay con UDP Salinas – Animas.

En las Figuras 7 y 8 se puede observar que existe una diferencia de amplitud al momento de la transmisión de datos, con un promedio mínimo de jitter de 0,0061 y 0,0068 segundos para TCP y UDP correspondientemente, esto se produce debido a que en los periodos en el cual se envía la información existe congestión en la red, por causa de pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino. Para el segundo enlace se obtuvo un mínimo jitter de 0,0078 y 0,007 segundos.

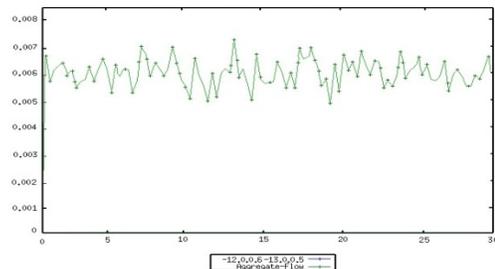


Figura 7. Jitter con TCP Salinas – Animas.

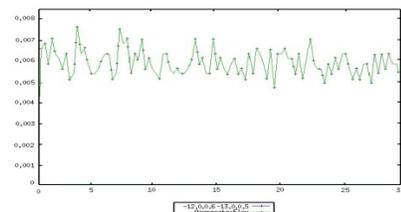


Figura 8. Jitter con UDP Salinas – Animas.

Las Figuras 9 y 10 muestran los paquetes perdidos en la transmisión de la red implementada durante los 30 segundos que duró, se observa que a lo largo de la transmisión con el protocolo TCP no existieron paquetes perdidos lo que concuerda con las razones mencionadas anteriormente, y mantiene un valor del 0%, TCP realiza retransmisiones cuando existen paquetes caídos pero esto afecta a su eficiencia ya que el tamaño de los paquetes es mayor en TCP debido a la estructura de su trama. Mientras que en UDP el porcentaje de paquetes perdidos se incrementa de forma directamente proporcional a la velocidad de transmisión de envío, con un valor total de paquetes perdidos de 22289, la pérdida considerable de paquetes se debe a la gran distancia del enlace y fallos en el hardware y software.

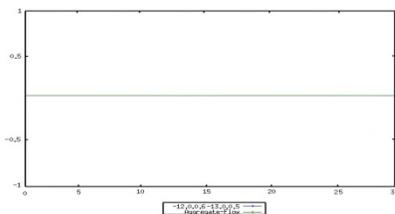


Figura 9. Paquetes Perdidos en D-ITG con TCP Salinas – Animas.

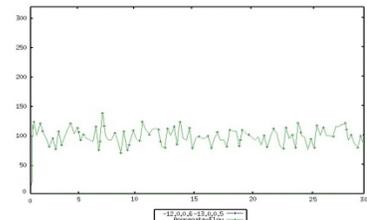


Figura 10. Paquetes Perdidos en D-ITG con UDP Salinas – Animas.

Para el enlace sobre tierra se obtuvo un valor promedio de 1260.459018 Kbit/s para el protocolo TCP y de 1018.937687 Kbit/s para el protocolo UDP. Como se muestra en las figuras 11 y 12 respectivamente. Por otro lado para el enlace sobre mar los valores obtenidos fueron de un valor medio de 527.127847 Kbit/s para el protocolo TCP y 271.554712 Kbit/s para el protocolo UDP.

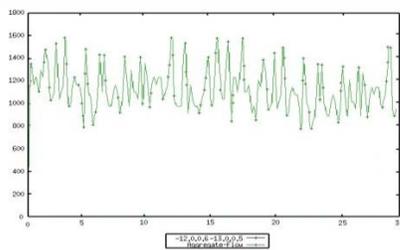


Figura 11. Throughput en GNUPlot con TCP Salinas - Animas.

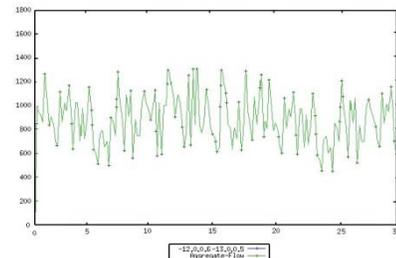


Figura 12. Throughput en GNUPlot con UDP Salinas - Animas.

Finalmente se compararon los datos obtenidos durante la simulación y las mediciones reales, estos se resumen en las gráficas 13 y 14 para ambos enlaces y para el protocolo TCP y UDP respectivamente. Se observa que Se puede observar que para el enlace Salinas – Ánimas correspondiente a los puntos ubicados a 6,6 km, mediante el simulador se esperaba obtener un Throughput de 2,84 Mbps, pero en los resultados medidos, se obtuvo 1,26 Mbps. Esto se debe a razones antes mencionadas como los equipos que intervinieron en los enlaces, pudiendo optimizar éstos enlaces al cambiar de equipos.

Para el enlace Salinas – Cabuyas que corresponde a los puntos ubicados en 77,6 km, se observa que el resultado esperado por el simulador es de 1.55 Mbps, y el medido fue de 0,527 Mbps; el valor arrojado por el simulador ya es un poco bajo para aplicaciones que requieran de un gran ancho de banda, el valor medido es mucho más bajo lo que podría perjudicar el envío de ciertos datos, este error se debe principalmente a la distancia del enlace.

Para el protocolo UDP para el primer enlaces mediante el simulador se esperaba obtener un Throughput de 1.36 Mbps, en los resultados medidos, se obtuvo 1,01 Mbps y para el segundo enlace el resultado esperado por el simulador es de 0.24 Mbps, y el medido fue de 0,271 Mbps

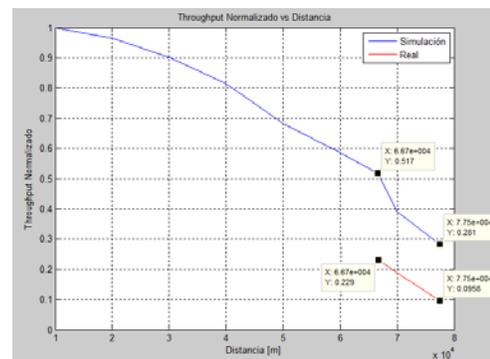


Figura 13. Valores de throughput, simulados y medidos con el protocolo TCP.

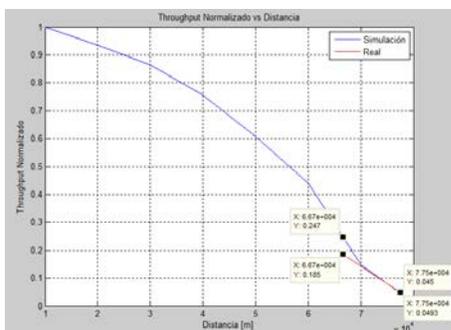


Figura 14. Comparación de valores simulados y reales con el protocolo UDP.

VII. CONCLUSIONES

Se realizó un estudio referente a las velocidades de transmisión y se concluyó que mientras mayor sea la velocidad a utilizarse en los enlaces, la potencia de recepción también debe incrementarse para mantener una tasa baja de bits erróneos, esta afirmación limita a utilizar velocidades de transmisión bajas para lograr enlaces de largo alcance, es por esto que se utilizó una tasa 5.5 Mbps en la implementación de las redes WiLD.

Se compararon los valores del simulador ns-2 con los valores reales que arroja el inyector de tráfico D-ITG para los protocolos TCP y UDP, se nota que para el resultado de la simulación con el protocolo TCP es de 2.789 Mbps, utilizando el estándar 802.11 b, y el valor tomado por medio de la inyección de tráfico con protocolo TCP, es de 1.260 Mbps. En el análisis de resultados de la simulación con el protocolo UDP fue de 1.844 Mbps, utilizando el estándar 802.11 b, y el valor tomado por medio de la inyección de tráfico con protocolo UDP es de 1.018 Mbps.

REFERENCIAS

[1] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Semplades, Consejo Nacional de Planificación 2009, Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural, segunda edición, ISBN: 978-9978-92-794-6.

[2] Chebrolu, Kameswari; Raman, Bhaskaran; Sen, Sayandeep, Long-Distance 802.11b Links: Performance Measurements and Experience, IEEE 2005, 84 páginas.

[3] Chebrolu, Kameswari; Raman, Bhaskaran, Design and Evaluation of a new MAC Protocol for Long-Distance 802.11 Mesh Networks, IEEE 2005, 14 páginas.

[4] Simó, Francisco, Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo, Universidad Politécnica de Madrid, Enero del 2007.

[5] Ludeña, Patricia, Estudio de aplicabilidad del estándar 802.11n para redes de larga distancia para entornos rurales en América Latina, Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, 2011.

[6] Agila, Ricardo; Sánchez Jimmy, Análisis de Estándares 802.11e Y 802.11n para Largas Distancias, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, 2009.

[7] Tamayo, Viviana; Barrionuevo, Evelin, Análisis Del Desempeño De Una Red Con Tecnología Wifi Para Largas Distancias En Un Ambiente Rural De La Región Sierra, Escuela Politécnica del Ejército, 2011.

[8] Elías, José, Nuevo Record De Distancia WiFi, http://eliar.com/index.cfm?post_id=3242, publicación: 21 de junio del 2007, consulta: enero 2012.

[9] Departamento de Computación, ciencia e ingeniería, Instituto tecnológico de India, The Enhanced Network Simulator (Release Version 1.2), <http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/>, disponible en junio del 2012.



Isabel Estefanía Cano Dávila.- Nació en Quito, Ecuador el 28 de agosto de 1988, Sus estudios primarios los realizó en la escuela municipal experimental “Antonio José de Sucre”. La secundaria fue en el colegio experimental “24 de mayo”. Egresada de la carrera de ingeniería Electrónica en telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Superior del Ejército. Sus actuales intereses son las

comunicaciones celulares y las redes WiLD, realizó su proyecto de grado sobre este tema, para obtener el título de Ingeniería en el 2012.



Fernando Darío Almeida García.- Nació en Quito, Ecuador el 23 de enero de 1989. Estudió en la escuela “Don Bosco” en su ciudad natal, mismo plantel donde realizó sus estudios secundarios. Egresada de la carrera de ingeniería Electrónica en telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Superior del Ejército. Sus intereses son la televisión digital, y las

redes WiLD, realizó su proyecto de grado sobre este tema, para obtener el título de Ingeniería en el 2012.