



ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍA WIFI, WIMAX Y MESH EN
ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES**

**PROYECTO DE FIN DE CARRERA PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Autores:

Fernando Miguel Loján Cajamarca
Bolívar Fabricio Ochoa Torres
Dorian Iván Pardo Pardo

Directora:

Ing. Patricia Ludeña González

SEPTIEMBRE 2009

LOJA - ECUADOR

Certificación

Ingeniera.

Patricia Ludeña González
DOCENTE DE LA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

C E R T I F I C A:

Que el proyecto de fin de carrera titulado “**ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍA WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES**” presentado por los señores Fernando Miguel Loján Cajamarca, Bolívar Fabricio Ochoa Torres y Dorian Iván Pardo Pardo; cumple con los requisitos metodológicos y con los aspectos de forma y fondos exigidos en las Normas Generales previas a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, vigentes en la Universidad Técnica Particular de Loja y de manera especial en la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, por lo que luego de haberla revisado minuciosamente autorizo su presentación.

Loja, 18 de septiembre del 2009

Ing. Patricia Ludeña González
DIRECTORA DE TESIS

Cesión de derechos

Nosotros, Fernando Miguel Loján Cajamarca, Bolívar Fabricio Ochoa Torres, Dórian Iván Pardo Pardo declaramos conocer y aceptar la disposición del Art.67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de las investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad.”

.....
Fernando Miguel Loján Cajamarca
TESISTA

.....
Bolívar Fabricio Ochoa Torres
TESISTA

.....
Dórian Iván Pardo Pardo
TESISTA

Autoría

Los resultados, análisis, conclusiones y recomendaciones que se presentan en éste trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

.....
Fernando Miguel Loján Cajamarca
TESISTA

.....
Bolívar Fabricio Ochoa Torres
TESISTA

.....
Dórian Iván Pardo Pardo
TESISTA

Agradecimiento

A mi Padre Celestial por brindarme la vida, por ser luz y guía en todo mi camino.

A toda mi familia, en especial a mis padres por su constante entrega para conmigo

A la ingeniera Patricia Ludeña, por su apoyo desmedido y completa disposición en nuestro proyecto, de igual manera al Ingeniero Segundo Marín por sus aportes

Fernando Loján

A mis padres y hermanos por brindarme todo su apoyo y comprensión durante todo el desarrollo del presente trabajo, a la ingeniera Patricia Ludeña por su colaboración y dirección.

Bolívar Ochoa

A mi Dios por estar siempre a mi lado y en todo momento.

A mis padres por darme todo su apoyo incondicional.

A la ingeniera Patricia Ludeña por demostrarnos su colaboración y paciencia y al ingeniero Segundo Marín por todo su apoyo y aportes valiosos.

Dórian Pardo

Dedicatoria

A Dios por ser el sustento en mi vida.

A mi padre, mi hermano, mis tíos y de manera muy especial a dos seres maravillosos: mi abuelita y mi madrecita, no tengo palabras para expresar toda mi gratitud, sin ustedes no lo hubiera logrado.

Al Movimiento Scout, por todas las experiencias adquiridas en mi vida, en especial a mis hermanos de Manada que son el motivo para seguir adelante

Fernando Loján

A mi Dios

A mis padres y hermanos.

A todos mis amigos y compañeros por brindarme su apoyo moral

Bolívar Ochoa

A Dios por guiarme en todo momento de mi vida.

A mis padres por ser el pilar fundamental de mi formación.

Dórian Pardo

Introducción

El empleo de las tecnologías inalámbricas donde los despliegues de redes cableadas aún no han tenido lugar o donde hay poca competencia, es muy beneficioso y atractivo. Al considerar ciertos aspectos, es probable que estas tecnologías tengan una estructura de menor costo y alto rendimiento respecto a las cableadas principalmente limitadas por la distancia; proveyendo así estas soluciones inalámbricas escalabilidad y por tanto, pueden soportar un mayor nivel de tráfico de usuarios para una cantidad dada de recursos de la red, la cual debe ser aprovechada en beneficio de las zonas especialmente rurales, para mejorar las condiciones de acceso a los servicios de telecomunicaciones a bajo precio, permitiendo que más personas puedan hacerlo.

Durante los últimos años se han incrementado el número de usuarios a nivel urbano, mientras que en zonas rurales aun ni siquiera se llega con tecnologías tradicionales (3G, cableadas, etc.) para brindar servicios a las comunidades.

Este trabajo se ha centrado principalmente en realizar un estudio de clima, temperaturas, pendientes, factor de rugosidad, precipitaciones de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe para la definición de entornos geográficos en dichas provincias y así mismo, recomendar la tecnología inalámbrica que mejor se adapte para cada entorno de acuerdo a las características tanto de los entornos como de las tecnologías (Wifi, Wimax y Mesh), esto previo a un análisis de propagación.

Para la definición de la tecnología especialmente para entornos rurales, nos centramos principalmente en los resultados obtenidos de las simulaciones, obteniendo así las mayores o menores pérdidas para un enlace de acuerdo a cada entorno. Estas tecnologías proveen servicios de banda ancha en todo tipo de ambientes urbanos y rurales, especialmente Wimax, zonas donde los operadores pueden suministrar diferentes servicios con bajas inversiones y un despliegue rápido de tecnología, además, el servicio puede ser ofrecido en bandas licenciadas y no licenciadas, lo que reduce aun más los costos.

OBJETIVOS

- ✓ Definir entornos geográficos en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.
- ✓ Definir diferencias tecnológicas.
- ✓ Recomendar la tecnología más adecuada para cada entorno en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Certificación.....	ii
Cesión de derechos.....	iii
Autoría.....	iv
Agradecimiento.....	v
Dedicatoria.....	vi
Introducción.....	vii
Objetivos.....	viii
Índice de contenidos.....	ix
Índice de tablas.....	x
Índice de gráficos.....	xi
Anexos.....	51

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: SITUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS Y ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN ECUADOR.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	2
1.2.1 Wifi.....	2
1.2.2 Wimax.....	2
1.2.3 Mesh.....	3
1.3 COMPARACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	4
Tabla I.1 Cuadro Comparativo de las Tecnologías Inalámbricas.....	4
1.4 BANDAS DE OPERACIÓN.....	5
CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE: ENTORNOS GEOGRÁFICOS, CLIMA, TEMPERATURA, PENDIENTES Y PRECIPITACIONES.....	6
2.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PROVINCIAS DE LOJA Y ZAMORA CHINCHIPE EN LA REGIÓN ANDINA.....	6
2.2 PARÁMETROS PARA LA DEFINICIÓN DE ENTORNOS GEOGRÁFICOS.....	7
2.3 DEFINICIÓN DE ENTORNOS PARA LA PROVINCIA DE LOJA.....	8
2.3.1 Clima.....	8
2.3.2 Precipitaciones.....	9
2.3.3 Temperatura.....	11
2.3.4 Pendientes.....	12
2.3.5 Definición de entornos geográficos para la provincia de Loja.....	13
2.4 FACTOR DE RUGOSIDAD POR ENTORNO GEOGRÁFICO.....	18
2.5 DEFINICIÓN DE ENTORNOS PARA LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE.....	19
2.5.1 Precipitaciones.....	19

2.5.2 Temperaturas	20
2.5.3 Pendientes.....	20
2.5.4 Definición de entornos geográficos para la provincia de Zamora Chinchipe	20
2.6 CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR DE RUGOSIDAD POR CADA ENTORNO PARA LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE	24
CAPÍTULO III: PRUEBAS DE RADIOENLACE	25
3.1 EQUIPOS.....	25
3.2 ENLACES CON MAYOR PÉRDIDA	29
3.3 ENLACES CON MENOR PÉRDIDA	31
3.4 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA CADA ENTORNO.....	38
3.5 COBERTURAS	43
Tablas III.12 Coberturas en la provincia de Zamora Chinchipe.....	43
Tablas III.13 Coberturas en la provincia de Loja	44
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas.....	4
Tabla II.1 Clasificación del clima según la altura en la provincia de Loja	8
Tabla II.2 Clasificación climática según Koppen.....	9
Tabla II.3 Precipitaciones mensuales provincia de Loja.....	10
Tabla II.4 Estaciones meteorológicas	10
Tabla II.5 Estaciones pluviométricas	11
Tabla II.6 Temperaturas mensuales en la provincia de Loja	12
Tabla II.7 Entornos geográficos en la provincia de Loja.....	15
Tabla II.8 Factor de rugosidad.....	18
Tabla II.9 Clasificación de alturas, pendientes y factor de rugosidad para cada entorno geográfico en la provincia de Loja.....	19
Tabla II.10 Entornos geográficos en la provincia de Zamora Chinchipe.....	21
Tabla II.11 Clasificación de alturas, pendientes y factor de rugosidad de Zamora Chinchipe.....	24
Tabla III.1 Equipos de estación base.....	27
Tabla III.2 Equipos de usuario final.....	28
Tabla III.3 Especificaciones técnicas utilizadas en las simulaciones.....	29
Tabla III.4 Pérdidas de enlaces punto-punto en la provincia de Loja	34
Tabla III.5 Pérdidas de enlaces punto-punto en la provincia de Zamora.....	35

Tabla III.6 Análisis de pérdidas con los parámetros de cada entorno a 2,4 GHz de la provincia de Loja.....	36
Tabla III.7 Análisis de pérdidas con parámetros de cada entorno a 5.8 GHz.....	36
Tabla III.8 Análisis de pérdidas con los parámetros de cada entorno a 2,4 GHz de la provincia de Zamora Chinchipe	37
Tabla III.9 Análisis de pérdidas con los parámetros de cada entorno a 5,8 GHz en la provincia de Zamora Chinchipe	37
Tabla III.10 Tecnología inalámbrica para cada entorno en la provincia de Loja.....	39
Tabla III.11 Tecnología inalámbrica para cada entorno en la provincia de Zamora Chinchipe.....	40
Tabla III.12 Coberturas en la provincia de Zamora Chinchipe	43
Tabla III.13 Coberturas en la provincia de Loja.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. II.1 Correlación de parámetros para definición de entornos geográficos en la provincia de Loja.....	16
Fig. II.2 Definición de entornos geográficos para la provincia de Loja	17
Fig. II.3 Correlación de parámetros para definición de entornos geográficos en la provincia de Zamora Chinchipe	22
Fig. II.4 Definición de entornos geográficos para la provincia de Zamora Chinchipe ..	23
Fig. III.1 Huachichambo - Puglla, perfil extraído de Radio Mobile Deluxe	29
Fig. III.2 Huachichambo - Puglla, perfil extraído de Excel.....	30
Fig. III.3 Consuelo - Santa Bárbara, perfil extraído de Radio Mobile Deluxe.....	30
Fig. III.4 Perfil Consuelo - Santa Bárbara, perfil extraído de Excel.....	31
Fig. III.5 Santa Bárbara - Pachicutza, perfil extraído de Radio Mobile Deluxe	31
Fig. III.6 Santa bárbara - Pachicutza, perfil extraído de Excel.....	32
Fig. III.7 Huachichambo - Colambo, perfil extraído de Radio Mobile Deluxe.....	32
Fig. III.8 Perfil Huachichambo - Colambo, perfil extraído de Excel.....	33
Fig. III.9 Tecnología inalámbrica para cada entorno geográfico en la provincia de Loja.....	41
Fig. III.10 Tecnología inalámbrica para cada entorno geográfico en la provincia de Zamora Chinchipe	42

CAPÍTULO I

SITUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS Y ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL ECUADOR

1.1 ANTECEDENTES

En muchas ocasiones la limitación de distancia impuesta por las soluciones cableadas imposibilita a muchos usuarios el acceso a los distintos servicios que prestan dichas tecnologías. Además de la distancia se presentan otros inconvenientes como movilidad, escalabilidad, flexibilidad, entre otras; lo que dificulta en muchos casos el uso de estas tecnologías.

Desde este punto de vista surgen las tecnologías inalámbricas de banda ancha (Wifi, Wimax, Mesh como topología, etc.), estableciendo nodos que se distribuyen por toda una zona geográfica, permitiendo al usuario acceder a los servicios ofrecidos por dichas tecnologías, tales como: internet, VoIP, videoconferencia, entre otros, siempre y cuando estén dentro del radio de cobertura.

Las tecnologías de interconexión inalámbrica van desde redes de voz y datos globales, que permiten a los usuarios establecer conexiones inalámbricas a través de largas distancias, especialmente para medios rurales, donde se dificulta el acceso para tecnologías cableadas.

El presente proyecto es un estudio de aplicabilidad de las tecnologías inalámbricas Wifi, Wimax y Mesh principalmente en medios rurales en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe; por ser zonas de interés para la Universidad Técnica Particular de Loja, ya que en dichas provincias se cuenta con centros de educación a distancia y centros asociados, en Zamora Chinchipe por ejemplo: el proyecto TUTUPALY¹ con intervención en los cantones El Pangui y Yacuambi.

¹ Proyecto de telesalud rural de la Universidad Técnica Particular de Loja en convenio con el Ministerio de Salud Pública desde diciembre 2007, en la provincia de Zamora Chinchipe.

Nuestro proyecto se basa en la definición de entornos geográficos y recomendación de la tecnología inalámbrica más conveniente (Wifi, Wimax y Mesh) para cada entorno de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

1.2 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

1.2.1 Wifi

Wifi es una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizada hoy en día. Wifi (IEEE 802.11) es una abreviatura de Wireless Fidelity, éste término significa que una red inalámbrica debe guardar mucha fidelidad o coherencia a una red cableada preservando casi las mismas características que ésta ofrece².

Entre las principales características de Wifi se tiene:

- Trabaja en bandas libres (ISM).
- Utiliza los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g, siendo éste último compatible con 802.11b.
- Fácil implementación y bajo costo.
- El rendimiento decrece mucho conforme aumenta la distancia.
- Múltiples interferencias en la banda 2.4 GHz (banda saturada y pocos canales); la banda de 5.8Ghz existe menos saturación, pero es susceptible a trayectos múltiples.
- No usa bandas licenciadas.

1.2.2 Wimax

Wimax o “Worldwide Interoperability for Microwave Access”, es una tecnología de última milla, que permite transmitir datos, voz y video con estaciones que pueden soportar miles de usuarios con y sin línea de vista.

El funcionamiento de Wimax es similar a Wifi pero a velocidades superiores, mayores distancias y un elevado número de usuarios, por lo que la hace bastante atractiva para soluciones de banda ancha en áreas suburbanas y rurales³.

² Córdova, Francisco. “Tecnologías de acceso”, pp. 60-63. 2005

³ Intel. “De qué manera entender Wifi y Wimax como soluciones de acceso para áreas metropolitanas”, pp. 10-14, 2003

Wimax se destaca principalmente por:

- Trabaja en bandas licenciadas y exentas de licencia.
- Utiliza modulaciones OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con 256 y OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) con 2048 portadoras, permitiendo altas velocidades
- Incorpora soporte para tecnologías “smart antenas” que mejoran la eficiencia y la cobertura
- Incluye mecanismos de modulación adaptativa, mediante los cuales la estación base y el equipo de usuario se conectan utilizando la mejor de las modulaciones posibles
- Trabaja en entornos LOS y NLOS

1.2.3 Mesh

Las redes Mesh, es una topología en mallas de las redes Wifi y Wimax, en la cual la información es pasada entre “nodos” que la conforman, capaces de actualizarse dinámicamente, optimizando éstas conexiones, en una jerarquía plana en contraste a las redes centralizadas. Por ende se puede reducir el número de estaciones o infraestructuras centralizadas⁴.

Las redes Mesh se destacan por:

- Red robusta con tráfico descentralizado, muy confiable y resistente, debido a que cada nodo sólo necesita transmitir tan lejos como esté ubicado el siguiente nodo
- Limitada por el número de saltos que realice el enlace. Los nodos actúan como repetidores
- El tiempo de transmisión y recepción de un paquete depende de la infraestructura y es aproximadamente 127ms
- Trabaja con la familia de estándares 802.11, por tanto tiene las mismas limitaciones e inconvenientes en cuanto a la seguridad que Wifi, no así en la confiabilidad

⁴ Buttrich, Sebastian.” Mesh.”, pp. 21-23, Julio 2007

1.3 COMPARACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

Tabla I.1. Cuadro Comparativo de las Tecnologías Inalámbricas⁵

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA				
	Wimax fijo	Wifi			Mesh
Estándar	802,16-2004	802,11a	802,11b	802,11g	802,11s
Velocidad (Mbps)	75	54	11	54	54
Ancho banda canal (MHz)	1,25 hasta 20	20	25	20	20
Frecuencia libre (GHz)	2,4 – 5,8	5,15 - 5,825	2,4 - 2,485	2,4-2,485	5,15 hasta 5,825
Frecuencia licenciada (GHz)	3,5	-	-	-	-
Distancia	1 a 9Km NLOS 10 a 50Km LOS	100m	300m	300m	100m
Técnica de radio	OFDM	OFDM	DSSS	OFDM/CCK/DSSS	OFDM/DSSS
Formatos de modulación	QPSK,16QAM,64QAM	BPSK/QPSK/QAM	DBPSK/DQPSK	BPSK/QPSK/QAM	Igual que 802.11a
Encriptación	3DES, AES	Opcional RC4 (AES en 802,11i)	Opcional RC4 (AES en 802,11i)	Opcional - RC4 (AES en 802,11i)	VPN
Ventajas	cobertura, velocidad	Velocidad	Costo/Compatibilidad con 802,11g	Velocidad/Costo/Compatibilidad con 802,11b	No necesita nodos centrales, gran confiabilidad por redundancia
Desventajas	Costos/Incompatibilidad con el móvil	Costo/Incompatibilidad con 802,11b/g. /bajo alcance	Bajo alcance/baja tasa de transmisión	Bajo alcance	Seguridad/Rendimiento/Latencia
QoS	No	Si con 802,11e	No	Si con 802,11e	Si con 802,11e

⁵ LIBERA. “3G vs. Tecnologías Inalámbricas Emergentes”, pp.15-45. 2006

1.4 BANDAS DE OPERACIÓN

El sector de las Telecomunicaciones es muy dinámico sujeto a cambios frecuentes tanto de tecnología y evolución de servicios. Por tanto el plan nacional de frecuencias debe ser revisado periódicamente para adaptarse a estos cambios.

En nuestro país el organismo regulador de la asignación de frecuencias es el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, el cuál a través del Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), es el encargado de la asignación de bandas, subbandas, canales radioeléctricos para los diferentes servicios de radiocomunicaciones.

En el Ecuador al igual que el resto del mundo existen tanto las bandas licenciadas como exentas de licencia; las licenciadas son otorgadas a título primario y también se puede usar a título secundario. De acuerdo a las resoluciones del CONATEL para título secundario; si hubiera alguna interferencia a cualquier otro sistema, éste tendrá la obligación de desinstalar los equipos, aún cuando se cumpla con todos los requerimientos del sistema⁶.

La mayor ventaja de tener el espectro que requiere licencia es que se tiene uso exclusivo del espectro, además de estar protegido de la interferencia externa.

En nuestro país la bandas licenciadas asignadas por el CONATEL para sistemas de banda ancha son: 2.3GHz, 2.5GHz y 3.5GHz, esta última asignada para ANDINATEL, aunque se la puede utilizar a título secundario, mientras que las otras están asignadas a sistemas de seguridad pública, radiolocalización según el plan nacional de frecuencias.

En tanto las bandas exentas de licencia para sistemas de comunicación de banda ancha en nuestro país son las bandas ISM, estas son: 902-928MHz, 2.400-2.483,5MHz y 5.725-5.850MHz (Anexo A.1 Resolución del CONATEL para frecuencias ISM).

El uso de estas bandas tiene muchas ventajas por ejemplo: el costo, compatibilidad con equipos que usan la misma frecuencia; pero también desventajas como interferencias debido al espectro saturado en esta banda.

⁶ Página del Consejo Nacional de Telecomunicaciones. [http:// www.conatel.gov.ec](http://www.conatel.gov.ec).

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE: ENTORNOS GEOGRÁFICOS, CLIMA, TEMPERATURA, PENDIENTES Y PRECIPITACIONES.

2.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PROVINCIAS DE LOJA Y ZAMORA CHINCHIPE EN LA REGIÓN ANDINA

La provincia de Loja está ubicada al sur de la región sierra, limita al norte con la provincia del Azuay, al sur con la República de Perú, al este con la provincia de Zamora Chinchipe y al oeste con la provincia de El Oro.⁷

La provincia de Zamora Chinchipe se ubica al sur de la región oriental, limita al norte con las provincias de Azuay y Morona Santiago, al sur y este con Perú y al oeste con Loja.

En la región andina la temperatura está vinculada estrechamente con la altura. Su altitud promedio está entre los 1500 y 3000 m.s.n.m, los valores medios de temperatura varían entre los 10°C y 16°C. Aquí se observan dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo y de octubre a noviembre, con una primera estación seca muy marcada entre junio y septiembre y con una segunda menos acentuada de diciembre a enero. Las precipitaciones promedio anuales fluctúan entre los 700 y 1500 mm.

Por otra parte, en las regiones situadas sobre los 3500 m.s.n.m, se observan frecuentes neblinas y las lluvias son generalmente de larga duración y débil intensidad.

El clima de Loja es temperado-ecuatorial subhúmedo. Con una temperatura media de 16°C. Los meses de menor temperatura fluctúan entre junio y septiembre, siendo julio el mes más frío⁸. De septiembre a diciembre se presentan las temperaturas medias más altas, sin embargo en éstos mismos meses se han

⁷ Instituto geográfico militar. “Atlas Geográfico Universal y del Ecuador”, agosto 1992

⁸ Gondard, Pierre. “Ritmos pluviométricos y contraste climáticos en la provincia de Loja” pp. 41-47, julio 1985

registrado las temperaturas extremas más bajas. Particularmente en el mes de noviembre se registra el 30% de las temperaturas más bajas del año.

Zamora Chinchipe cuenta con un clima húmedo y semihúmedo modificado por la altura de los terrenos y la presencia de vientos, humedad y lluvia. La temperatura promedio es de 18° C⁹.

2.2 PARÁMETROS PARA DEFINICIÓN DE ENTORNOS GEOGRÁFICOS

Para la definición de entornos geográficos en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe se ha tomado en cuenta factores como: tipo de clima, precipitaciones, pendientes, vegetación y temperatura no siendo muy importante para la zonificación de entornos éste último agente.

Se ha analizado cada parámetro antes mencionado en su totalidad en ambas provincias; para las peores y mejores condiciones de los mismos, de manera que, se pueda obtener entre los entornos la mayor diferencia posible con los datos obtenidos de estaciones meteorológicas y pluviométricas; también se procedió al uso del software Arcview 3.1 para tener una mejor caracterización de los datos para la definición de los entornos geográficos.

A continuación se da una definición de cada uno de los parámetros:

Clima: Condiciones promedio de la atmósfera en largos períodos de tiempo. Tiene que ver con las características de los elementos climáticos en un lugar.

Precipitación: Partículas de agua en cualquier forma que caen de la atmósfera a la superficie. Entre los principales tipos de precipitación se tiene: lluvia, rocío, nieve, granizo, niebla, etc. A las precipitaciones se las mide en milímetros.

Temperatura: Es una magnitud referida a la cantidad de frío o calor, expresada en energía presente en una sustancia, está dada en grados centígrados.

Altura: Elevación de cualquier cuerpo sobre el nivel del mar, expresada en m.s.n.m.

⁹ Pourrut, Pierre -Róvere, Oscar - Romo, Iván - Villacrés, Homero. “Clima del Ecuador”, corporación editora nación, pp 20, 1995.

Pendientes: Se llama pendiente a la inclinación que tiene el terreno con respecto a un plano horizontal, expresada en grados.

Vegetación: Es un conjunto de comunidades de plantas que pueblan un sector determinado, por ejemplo: bosques, matorrales y praderas.

Factor de rugosidad: Caracteriza las irregularidades que presenta el terreno.

La importancia en la definición de entornos, radica al momento de diseñar un sistema de comunicación, puesto que permite dimensionar pérdidas en el espacio libre por condiciones climáticas, potencias de transmisión, margen de desvanecimiento y asegurar que la comunicación sea permanente y confiable, además, que la señal de transmisión y recepción no se vea afectada por ninguno de estos factores.

2.3 DEFINICIÓN DE ENTORNOS PARA LA PROVINCIA DE LOJA

2.3.1 Clima

Los mismos factores del clima que afectan a la región andina inciden sobre el territorio de Loja.

El aspecto más peculiar del clima de la provincia de Loja, que lo hace diferente al resto del país, es que está supeditado al abrupto y caótico relieve.

Tabla II.1 Clasificación del clima según la altura en la provincia de Loja¹⁰

Clima	Altura (m.s.n.m)	Porcentaje que cubre la provincia de Loja	Rango Térmico °C
Tropical	< 1200	Buena parte de los territorios de los cantones Zapotillo, Macará, Pindal y Catamayo, y siguiendo la larga garganta de penetración del río Catamayo, hasta cerca de Chinguilamaca, cubre 35.6 % de todo el territorio de la provincia.	+22
Subtropicales	1200-1900	Estepa seca o sábana y de estepa moderada cubriendo el 26,2% del área provincial	18 - 21.9
Temperados	1900-2800	27,4%	12 - 17.8
Subtemperados y fríos	>2800	Extendida sobre las cúspides de las cordillera más altas, especialmente el cantón Saraguro con un 10.8% del territorio total de la provincia de Loja.	0 - 11.9

¹⁰ INERHI - PREDESUR – CONADE. “Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja”. pp. 62, 1994.

Según el sistema de Koppen¹¹, la zonificación climática para la provincia de Loja, se puede clasificar en 6 tipos:

Tabla II.2 Clasificación climática según Koppen¹²

No	Tipo Climático	Área (Km ²)	%
1	Sábana tropical	1975	18,3
2	Sábana tropical de altura	1544	14,3
3	Tropical semiárido con lluvia en verano	3250	30,1
4	Templado húmedo (mesotérmico) de invierno seco	1457	13,5
5	Templado húmedo (mesotérmico) sin estación seca	1358	12,5
6	Templado frío de invierno seco	1209	11,3

Anexo B.1: Zonificación climática de la provincia de Loja según Koppen

2.3.2 Precipitaciones

Las precipitaciones es uno de los factores causantes del desvanecimiento de la señal limitando las prestaciones de un sistema de banda ancha. La atenuación provocada por la lluvia principalmente a altas frecuencias (microondas), analizada en algunos modelos, permiten predecir las distribuciones estadísticas de atenuación tomando como base parámetros técnicos de un enlace (frecuencia, polarización, distancia, margen de desvanecimiento, entre otros) y datos locales relativo a las precipitaciones.

Si se tomara en consideración únicamente la precipitación media anual que cae sobre la provincia de Loja, la cual es de aproximadamente 950 milímetros (mm), se podría decir que es una provincia semihúmeda. Pero la realidad es diferente debido a la distribución espacial de la lluvia.

¹¹ Koppen fue un meteorólogo, geógrafo, climatólogo y botánico ruso (1846-1940); quién elaboró la clasificación climática de Köppen la cuál es todavía comúnmente usada hoy en día para agrupar los tipos de climas.

¹² INERHI - PREDESUR – CONADE. “Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja”. pp 64, 71. 1994.

Tabla II.3 Precipitaciones mensuales de la provincia de Loja en mm¹³

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Saraguro	73,3	101,6	117	85,8	53,4	43,4	39,1	35,2	37,5	57,5	55,6	70,4	769,8
San Lucas	73,1	103,1	108,5	107,9	84,2	88,7	83,5	69	65,9	80,5	82,2	72,5	1019,1
La Argelia	87,7	109,2	122,9	90,2	54,1	56,8	58,3	49,9	47,8	70,4	58,6	75,7	881,6
Malacatos	67,6	88,1	120	98	40,1	16,7	10	14,3	28	62,1	54,4	87,6	686,9
Yangana	129,7	176	136,3	136,4	85,9	85,2	77,6	56,6	72,3	98,4	94,1	105,3	1253,8
El Cisne	138,5	204,2	193,1	145	50,1	12,8	9,2	10,5	22,3	72,8	71,7	113,5	1043,7
Catamayo	33,4	69,4	71,5	60,2	23	8,1	2,5	6,2	13,5	39,4	23,5	27	377,7
Gonzanamá	146,7	189,8	201,6	184,8	74,8	27,2	19,8	17	42,6	99,4	81,2	111,3	1196,2
Cariamanga	130,9	207,3	261,2	199,1	79,3	22,6	7,9	12,7	26,4	68,8	52,8	87,9	1156,9
Amaluza	103,1	154,5	161,2	136,3	63,8	14,2	10,2	8,8	22,2	55,2	65,4	76,7	871,6
Chaguarpamba	274,7	269,2	269,5	265,9	102,4	28,4	5,2	9,3	13,7	39,1	26,8	97,1	1401,3
Catacocha	107,3	183,3	214,8	144,3	47,6	8,3	3,9	7,4	16,4	31,8	25,4	55,8	846,8
Colaisaca	130,1	193	228,7	195,3	81	22,9	6	15,14	21	55,8	39,4	80,8	1069,1
Celica	197,7	275	340,6	223	62	16,8	3,3	7,3	8,5	18,9	24,5	81,8	1259,4
Macará	66,3	113,1	238,4	138,1	30,5	9,6	0,6	0,6	1,4	7,2	4	20,5	630,3
Alamor	159,6	251,4	372,2	261,5	22,9	21,7	8,5	5,6	9,5	19,2	19,8	76,9	1296,7
Zapotillo	55	117	126,2	112,9	34	6	0,5	0	0,3	3,8	2,9	12,6	591,2

Tabla II.4 Estaciones Meteorológicas¹⁴

Estación	X	Y	Altura
El Almendral	634010	9553238	1088
Celica	616669	9546688	2010
Garza Real	585448	9524640	280
Quilanga	677529	9525622	1980
Nambacola	674166	9542546	1830
El Ingenio	674279	9512228	1280
Cariamanga	660688	9521252	1970
Changaimina	664138	9533958	1990
Saraguro	696420	9600946	2390
Quinara	695448	9523260	1630

¹³ Datos proporcionados por el Ing. Fernando Oñate, área de Hidrología, datos desde 1964 hasta 2003
SIG, UTPL

¹⁴ Datos proporcionados por PREDESUR, Ing. Segundo Marín, departamento de CIGERS. 2005.

Tabla II.5 Estaciones Pluviométricas¹⁵

Estación	X	Y	Altura
El Tambo	687935	9549952	1600
El Cisne	674982	9574410	2340
Catacocha	650753	9551940	1880
Lauro Guerrero	637770	9561856	1945
Mercadillo	613664	9555636	1150
Alamor	608442	9555804	1230
Sabanilla	597526	9536128	710
Sabiango	631936	9518082	760
Sozoranga	634529	9522060	1480
El lucero	670218	9513794	1270
Colaisaca	645208	9522944	2480
Cajanuma	699484	9548956	2420

Anexo B.2: Mapa de precipitaciones anuales en la provincia de Loja.

Para la definición de los entornos geográficos en cuanto a precipitaciones, se ha considerado el mapa de isoyetas del anexo B.2, estableciendo las diferentes zonas de lluvia en la provincia de Loja.

2.3.3 Temperatura

Aunque la temperatura no es factor decisivo en las pérdidas de propagación; se ha considerado para la zonificación, ya que va ligada con el clima y el nivel de pendiente. El mapa de isotermas del anexo B.3 permite diferenciar claramente las zonas más frías y más cálidas de la provincia, ligado principalmente a la altura.

En la provincia de Loja se establecen los valores promedios mensuales de temperatura en grados centígrados (°C) para cada estación pluviométrica y meteorológica.

Anexo B.3: Distribución anual de isotermas en la provincia de Loja.

¹⁵ Datos proporcionados por PREDESUR, Ing. Segundo Marín, departamento de CIGERS. 2005.

Tabla II.6 Temperaturas mensuales en la provincia de Loja (°C)¹⁶

Temperatura	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
Argelia	7,99	8,94	8,58	8,86	8,04	7,76	7,116	6,61	6,88	6,57	5,388	6,54	7,44
Catamayo	23,9	23,6	23,6	23,6	23,7	23,7	23,64	24	24	23,8	23,92	23,8	23,8
Vilcabamba	20,5	20,4	20,6	20,5	20,3	20,1	20,16	20,4	20,7	20,9	20,96	20,9	20,5
Macará	25,8	25,9	25,6	25,4	24,4	23,6	23,51	24	24,7	25	25,18	25,8	24,9
Saraguro	13,5	13,6	13,6	13,7	13,7	13,4	12,91	13	13,4	13,9	13,86	13,8	13,5
Cariamanga	17,4	17,4	17,7	17,7	17,9	17,8	17,84	18	18,1	18	17,72	17,7	17,8
Yangana	19,2	19	19,2	19,2	19,1	19	18,23	18,8	19,3	19,4	19,8	19,5	19,1
Celica	14,9	14,8	15,2	15,3	15,7	15,8	15,78	15,6	15,7	15,5	15,48	15,2	15,4
Gonzanamá	16,3	16,4	16,7	17	17,3	17,1	17,12	17,2	17,4	17,2	17,2	16,9	17
Amaluza	19,9	19,9	20,2	20,2	20,4	20,7	20,81	21	20,8	20,7	20,55	20,5	20,5
Zapotillo	27	27,4	27,1	27	26,5	24,9	24,16	24,4	25,4	25,5	26,15	26,6	26
Quilanga	19,8	19,9	19,7	19,8	20	20	20,28	20,8	21	20,7	20,65	20,4	20,2
Catacocha	17,3	17,5	17,2	17,7	17,8	17,9	18,18	18,3	18,5	18,4	18,19	18	17,9

2.3.4 Pendientes

El aspecto físico natural de la provincia de Loja favorece el desarrollo de una fuerte variación del terreno. La provincia se divide desde el punto de vista geomorfológico en: áreas montañosas, parcialmente llanas y onduladas.

Áreas Montañosas: El rango de pendientes mayores a 17°, alcanza el 60% del área de la provincia; se localiza en la parte central de la provincia con relieve ondulado a montañoso. Una segunda zona abarca desde el límite de la provincia del Azuay hasta la ciudad de Loja, y una última zona se halla al sur y sur-oriente de la ciudad de Loja.

¹⁶ Datos proporcionados por el Ing. Fernando Oñate, área de Hidrología, datos desde 1964 hasta 2003 SIG, UTPL

Áreas parcialmente llanas: Corresponde a pendientes entre 9° a 17°. La zona ocupa aproximadamente un 26%; se localiza principalmente al oeste de la provincia.

Áreas onduladas: Equivale a los rangos de 0° al 8° que representan a pendientes planas e inclinadas. Alcanza a un 14% del área total de la provincia¹⁷.

Anexo B.4: Zonificación de áreas montañosas, colinosas y onduladas en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Para el cálculo de pendientes se utilizó el software Arcview 3.1, el cual trabaja con base de datos de los parámetros: curvas de nivel, alturas, área, entre otros, con extensión .shp, mediante el cual se obtuvo las pendientes expresadas en grados de toda la provincia. Los valores con mayor pendiente son las zonas más irregulares.

El análisis de pendientes identifica varios terrenos al delinear áreas en el mapa con diferentes inclinaciones.

Del análisis del mapa de pendientes se obtuvo como resultado aproximadamente un valor máximo de 65 grados de inclinación para la región que cubre el cantón Saraguro y parte de Loja; y el valor mínimo de 5 grados de inclinación para las zonas llanas de los cantones de Catamayo, Macará y Zapotillo.

En el anexo B.5 detalla el mapa de pendientes de la provincia de Loja.

Para las zonas con alto índice de pendientes, la propagación a frecuencias mayores a 5GHz es aún más afectada por multitrayecto, causando así mayores atenuaciones.

2.3.5 Definición de entornos geográficos para la provincia de Loja

Entorno geográfico: Es el área geográfica que comparte características similares de clima, temperatura, precipitaciones, pendientes.

Para la definición de los entornos geográficos se sobrelapó los distintos mapas digitales de precipitaciones, curvas de nivel y división política, mediante el software Autocad 8.0 en formato dwg, figura II.1, cuyos datos fueron proporcionados por el

¹⁷ Gondard, Pierre. "Ritmos pluviométricos y contraste climáticos en la provincia de Loja" pp 73-74, julio 1985

área de Hidrología, departamento SIG de la Universidad Técnica Particular de Loja y por PREDESUR, área del CIGERS y generados luego mediante el software Arcview 3.1, también se consideró el tipo de clima de acuerdo a la tabla II.1 obteniendo, así, nueve entornos geográficos que se detallan a continuación.

Tabla II.7 Entornos geográficos en la provincia de Loja

Entorno	Ubicación	Clima	Precip. (mm)	Temp. (°C)	Altura. (m.s.n.m)	Pendientes (grados)
1	Norte de Zapotillo, el cantón Pindal, Puyango, el norte del cantón Paltas y Chaguarpamba	Cálido seco y templado	1700 –2200	24	500-1200	18,64 – 27,96
2	Cantón Saraguro, región norte del cantón Loja.	Húmedo subtropical, húmedo templado, subhúmedo templado	900-1000	12	2000-3000	55,93 – 65,25
3	El cantón Loja a excepción de la región norte del mismo y las parroquias de Malacatos y Vilcabamba.	Templado andino y frío	900 a 1300	16	2000 - 2800	37,28 – 46,60
4	Comprende el cantón Catamayo, Macará, parte sur de Celica y región Sur de Zapotillo	Cálido seco y subtropical húmedo semitropical.	500-1000	25	400-1000	0 – 5,00
5	Las zonas geográficas de Malacatos y Vilcabamba	Templado y subtropical húmedo	900	18	1600-2000	4,00 – 9,32
6	Franja de los cantones Espíndola, oeste de Quilanga y Gonzanamá, norte de Catamayo.	Frío, templado y subtropical	1200	18	2000-3000	46,60 – 55,93
7	Cantón Calvas, región sur de Paltas, la zona este de Gonzanamá y Espíndola	Templado seco, subtropical y frío	1000 a 1200	18	1000-2400	9,32 – 18,64
8	Cantón Sozoranga, el este Macará, sur-este del cantón Célica y sur de Paltas	Cálido seco, templado y frío	900-1200	23	500-1600	37,28 – 46,60
9	Cantón Célica, Paltas y Olmedo	frío, templado húmedo y cálido seco	1300-1900	16	1200-2800	27,96 – 37,28

2.4 FACTOR DE RUGOSIDAD POR ENTORNO GEOGRÁFICO

Una vez definidos los entornos geográficos para la provincia de Loja, se consideró el factor de rugosidad de cada uno de ellos.

Para clasificar cada uno de los tipos de terreno a las normas internacionales dadas por la UIT¹⁸, la cual desarrolla un conjunto de categorías de superficie del terreno que se utilizarían de la misma forma en todas las aplicaciones.

Tabla II.8 Factor de rugosidad (η)¹⁹

4	Espejos de agua, ríos muy anchos, etc.
3	Sembrados densos, pastizales, arenales
2	Bosques (la propagación va por encima).
1	Terreno normal.
0.25	Terreno rocoso disparejo.

El valor de $\eta=4$, no aplica a nuestra topografía, por lo que no se consideró para el cálculo. La razón es que este valor solamente se considera cuando la superficie del terreno es muy lisa, o sobre el agua, es decir sin ninguna rugosidad; aunque en esta provincia existe la presencia de ríos, estos no son anchos, teniendo un promedio de 90 metros aproximadamente. Para superficies lisas ($\eta=4$) se produce la reflexión especular (como de espejo), la recomendación UIT-R-PN529²⁰ toma en cuenta esta reflexión.

Por otro lado, el factor de rugosidad es considerado para el cálculo del margen de desvanecimiento y conjuntamente con las condiciones climáticas son factores que influyen en la determinación de la confiabilidad de un sistema.

Para aproximar el valor del factor de rugosidad a la topografía de la provincia, se consideró la tabla II.8, conjuntamente con las pendientes de cada entorno

¹⁸La UIT es la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Esta agencia especializada de las Naciones Unidas fue creada para facilitar cualquier tipo de Telecomunicaciones y se divide en 3 secciones: Radiocomunicaciones (UIT-R), Sistemas de Telecomunicación (UIT-T) y Desarrollo de Telecomunicaciones (UIT-D).

¹⁹Morocho, Marco; Ludeña, Patricia. "Planificación de radioenlaces con base en topografía digital", pp. 1-6, UTPL, 2005.

²⁰Romero Velasco, Mónica "Sistema de detección perimetral por fibra óptica y radiofrecuencia"; pp. 102. Septiembre 2005

geográfico (tabla II.7); se hizo una relación mediante el siguiente criterio: para $\eta=0,25$ corresponde la pendiente de mayor inclinación, es decir 65° , mientras que para la pendiente de menor inclinación, es decir 5° , el valor de $\eta=3$ según tabla II.8, luego se aplicó la fórmula de la pendiente que pasa por dos puntos $y-y_1=m(x-x_1)$, sustituyendo luego y por η obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\eta=3,23-0,04583*z. \quad \text{Ec. II.1}$$

Donde z es la pendiente de cada entorno.

Mientras η sea menor ($\eta=0.25$), mayor será la irregularidad del terreno y si η es mayor ($\eta=4$), menor es la irregularidad, aunque también depende de la frecuencia

Tabla II.9 Clasificación de alturas, pendientes y factor de rugosidad para cada entorno geográfico de la provincia de Loja.

Entorno geográfico	Rango de alturas (m.s.n.m)	Pendientes (grados)	Factor rugosidad (η)
1	500 a 1200	18,64 – 27,96	1,94
2	2000 a 3000	55,93 – 65,25	0,25
3	2000 a 2800	37,28 – 46,60	1,07
4	200 – 1600	0 – 5,00	3,00
5	1600 a 2000	4,00 – 9,32	2,77
6	2000 a 3000	46,60 – 55,93	0,66
7	1000 a 2400	9,32 – 18,64	2,35
8	500 a 1600	37,28 – 46,60	1,07
9	1200 a 2800	27,96 – 37,28	1,53

2.5 DEFINICIÓN DE ENTORNOS PARA LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

Para la definición de los entornos geográficos se ha considerado los parámetros tales como: temperatura, precipitaciones, pendientes y nivel de vegetación

2.5.1 Precipitaciones

El nivel de las precipitaciones en esta provincia es alto, en gran parte de su territorio, es decir, la distribución espacial de la lluvia es homogénea. Presentando los valores máximos de 3000 mm en el cantón Centinela del Condor y niveles mínimos cercanos a los 1200mm para el cantón Chinchipe.

Anexo B.6: Mapa de precipitaciones anuales de la provincia de Zamora Chinchipe.

2.5.2 Temperaturas

La temperatura tiene una estrecha relación con las alturas, a mayor altura son más bajas y viceversa. Al igual que para la provincia de Loja se tomó en cuenta el mapa de isotermas presentando una temperatura mínima de 8°C y una máxima de 26°C.

Anexo B.7: Mapa de distribución anual de isotermas de la provincia de Zamora Chinchipe.

2.5.3 Pendientes

Para esta provincia se presenta una superficie bastante irregular, en el que son escasas las zonas llanas; existe gran presencia de bosques y poca densidad poblacional, siendo la mayor parte de su territorio selva con una pendiente máxima de 70 grados y mínima de 30 grados.

El anexo B.8 muestra los relieves de alturas de ambas provincias, en donde se muestra la diferencia de cotas en Loja y Zamora Chinchipe; esto según la tabla II.1.

2.5.4 Definición de entornos geográficos de Zamora Chinchipe

Esta provincia se caracteriza por un alto índice de lluvias a lo largo de casi todo el año, además el clima y las pendientes no difieren en gran cantidad en toda la provincia, y de la misma forma se procedió a la definición de los entornos geográficos al igual que en la provincia de Loja, dando como resultado 4 entornos.

En la siguiente tabla se muestran un resumen de los entornos geográficos con los parámetros más relevantes

Tabla II.10 Entornos geográficos en la provincia de Zamora Chinchipe

Entorno	Ubicación	Pendientes (Grados)	Precipitación (mm)	Temp. (°C)	Alt. (m.s.n.m)
1	La región más alta de la provincia ubicada al oeste de la misma (cordillera Andina). Cantones como Yacuambi, Zamora, Palanda y Chinchipe	60-70	876 –1650	18-24	2000-3800
2	Comprende la región sur de esta provincia. Cantones Chinchipe y Palanda	50-60	1250 - 2000	24-26	900-2400
3	Conformado por los cantones Yacuambi, Zamora, Palanda, Nangaritza, Yantzaza y Centinela del Condor	30-40	1750 - 3000	14-20	1000-2600
4	Este entorno está ubicado al nor-este de la provincia. Cantones el Panguí, Nangaritza, Yantzaza y Centinela del Cóndor	40-50	1750-2000	20-24	800-1800

2.6 CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR DE RUGOSIDAD POR CADA ENTORNO PARA LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE

La orografía de esta provincia es muy accidentada por la presencia de la Cordillera Oriental de los Andes con varias estribaciones que caracterizan en mayor parte el territorio de la provincia, y al occidente se levanta la Cordillera del Cóndor que delinea el contorno en esta importante área.

El procedimiento para definir este factor es el mismo al que se aplicó para la provincia de Loja, además en ésta provincia se debe considerar la recomendación UIT-R P.833 (atenuación debida a la vegetación en las señales de onda radioeléctricas), por ser una provincia con alta vegetación.

Por otro lado el valor $\eta=4$ no se aplicó en esta provincia, esto por el ancho de los ríos, siendo el río Zamora el que presenta el mayor ancho promedio de 150 metros.

Tabla II.11 Clasificación de alturas, pendiente y factor de rugosidad de Zamora Chinchipe.

Entorno geográfico	Rango de alturas (m.s.n.m).	Pendientes (grados)	Factor rugosidad (η)
1	2000 - 3800	60 – 70	0,25
2	1000 - 2600	50 – 60	0,48
3	800 - 2000	30 – 40	1,39
4	900 - 2400	40 – 50	0,94

CAPÍTULO III

PRUEBAS DE RADIOENLACES

Para determinar el comportamiento de las tecnologías inalámbricas en cada entorno geográfico de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe se procedió a un análisis, mediante las pruebas de radioenlace, para esto se desarrolló una base de datos para el cálculo del balance de un sistema en Excel, el mismo que calcula las pérdidas totales del enlace, potencia de recepción, margen de desvanecimiento, atenuación por gases atmosféricos, atenuación por vapor de agua, zonas de Fresnel; ingresando previamente las características del equipo, como el umbral de recepción, frecuencia, ganancias de las antenas de transmisión como de recepción y la distancia del enlace. Las fórmulas utilizadas para calcular estos parámetros se detallan en el anexo C.

El objetivo de las simulaciones es comprobar cómo se comporta cada entorno geográfico a la frecuencia de 2.4GHz y 5.8GHz y cuáles son las pérdidas obtenidas en cada frecuencia para cada uno de los entornos y así escoger la tecnología más conveniente para cada uno de los mismos, ya que las pérdidas por propagación en el espacio libre representan la principal fuente de pérdidas en un sistema de transmisión punto a punto con respecto a la distancia

Para comprobar los cálculos obtenidos, se ha hecho uso de software libre Radio Mobile Deluxe Versión 7.7.2.

3.1 EQUIPOS

En el mercado existen diversos fabricantes de equipos con sus diferentes modelos, los cuales trabajan en varias bandas de frecuencia; cada fabricante oferta sus equipos de acuerdo a cada banda.

Para la selección de los equipos para las pruebas de enlaces se consideró distintos fabricantes. Muchos fabricantes tales como: APERTO, TELSIMA, ZYXE, WAVESAT, NAVINI fueron descartados por el hecho de que solo son útiles para 802.16-2005, no trabajan en las bandas que se requieren para nuestras simulaciones.

Luego del análisis entre los diferentes equipos tomando en cuenta sus características técnicas; especialmente potencia de transmisión, ganancia de las

antenas, sensibilidad del receptor, frecuencia de operación, alcance; se consideraron principalmente cinco fabricantes:

- Alvarion
- Airspan
- Proxim
- Motorola
- Netkrom

Cada uno de estos fabricantes posee especificaciones diferentes en sus equipos, de acuerdo a la tecnología y frecuencias.

Proxim tiene como objetivo acelerar la introducción de servicios de acceso inalámbrico de banda ancha, de manera eficiente y a bajo costo. Proxim introduce los modelos Tsunami MP.11 Modelo 2454 – R, 5054 – R y Tsusami MP. 16 3500 sistema Wireless punto – multipunto.

Airspan, enfocado en proporcionar acceso inalámbrico que iguale y supere el desempeño y la funcionalidad de las redes de acceso de banda ancha (cableablas) con una solución adecuada para el mercado: residencial, de la pequeña y mediana empresa (PyME) y con aplicaciones para redes de acceso troncal de banda ancha. Esto significa sistemas de acceso basados en estándares (IEEE, Wimax, ETSI, FCC) como soporte para instalaciones celulares densas, alta escalabilidad de redes, operaciones con línea de vista o sin línea de vista y gestión de calidad de servicio (QoS) de extremo a extremo en topologías punto multipunto.

Alvarion ha sido un líder en el mercado de acceso inalámbrico de banda ancha (BWA), siendo el vendedor más grande del mundo en equipos para diseñar redes inalámbricas.

Por tal motivo Alvarion introduce las familias BreezeMAX y BreezeNET, las cuales poseen una avanzada tecnología OFDM para soportar operaciones sin línea de vista (NLOS), modulación adaptable y eficiencia espectral.

Motorola con su línea de productos Canopy, está teniendo gran aceptación en el mercado, gracias a las ventajas que ofrece esta tecnología inalámbrica como:

- Diversidad de frecuencias : 900 MHz, 2400 MHz, 5,4 GHz y 5,8 GHz
- Flexibilidad y extensibilidad: Debido a su aplicación como sistema punto a punto o punto-multipunto, además se puede extender para adecuarse a las necesidades cambiantes.
- Ancho de banda confiable y mayor distancia: Canopy ofrece equipos con muy buenas prestaciones en términos de distancia y tasa de transmisión, alcanzando los 300Mbps y 200 km,

NETKROM TECHNOLOGIES, es diseñador, desarrollador y fabricante de equipos de telecomunicaciones con tecnología Wi-Fi, Mesh y WiMAX de bajo costo. Sus equipos ofrecen muy buenas prestaciones con respecto a frecuencia y tasa de transmisión, trabajando en modo multibanda y a velocidades de 200Mbps

A continuación se resume las especificaciones y características técnicas de los fabricantes Alvarion, Airspan, Proxim, Motorola y Netkrom.

Tabla III.1 Equipos de estación base

Características	Alvarion	Airspan		Motorola	Netkrom
Serie	BreezeNET B 100	Hipermax	Micromax	Canopy Serie PTP 500	ISPAIR Multi-band Serie 500
Frecuencia (GHz)	5,4 - 5,8	3,5 2,4 5	3,5 5,8	5.470 5,875	2.3-2.5/4.9/5GHz
Estándar	802.16, 802.11	802.16 802.11	802.16 802.11	802.16 802.11	802.16, 802.11
Modulación	BPSK QPSK 16QAM 64QAM OFDM	64QAM 16QAM QPSK BPSK	64QAM 16QAM QPSK BPSK	BPSK 64 QAM	Banda 2.4GHz: OFDM (BPSK,QPSK, 16-QAM, 64-QAM) Banda 4.9/5 GHz: OFDM (BPSK,QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
Potencia de transmisión	21dBm dependiendo de la regulación	Hasta 40dBm	25dBm	27dBm	Banda 2.4GHz: 27dBm @6-24Mbps 23dBm @54Mbps Banda 4.9/5GHz: 26dBm @6-24Mbps 22dBm @54Mbps
Sensibilidad del receptor	-89dBm (Canal 20 MHz) -92dBm (Canal 10 MHz)	-103dBm	-103dBm	-94dBm	Banda 2.4GHz: -95dBm @ 1Mbps -92dBm @6Mbps -74dBm @54Mbps

Tabla III.1 Equipos de estación base

Características	Alvarion		Airspan		Proxim			Netkrom	Canopy Motorola
	ODU	IDU	EasyST	ProST	Tsunami MP.11 2454-R	Tsunami MP.11 2454-R	Tsunami MP.16 3500	CPE 500 Series	CSM 57100
Frecuencia (GHz)	3,5	3,5	3,5; 5,8	3,5; 5,8	2,4	5.25-5.35; 5.47- 5.725; 5.725-5.850	3,4-3.6	2,4; 5,1-5,8	5.725 - 5.850
Estándar	802.16-2004,802.11	802.16-2004	802.16; 802.11b/g con Wifi - on.	802.16	802.16-2004	802.16-2004	802.16-2004	802.11; 802.16	802,16; 802,11
Ganancia de Transmisión (dBi)	hasta 17	hasta 12	hasta 23	hasta 23	-	-	-	-	-
Potencia de transmisión (dBm)	-	-	23	23	21	21	21	26	30
Sensibilidad del Receptor (dBm)	-80	-80	-103	-103	-	-	-	-90@6Mbps -70@54Mbps	-86
Ganancia de la Antena (dBi)	-	-	6dBi 4*90 omnidireccional	15, 18	18	23	18	15, 19, 24	7
Modulación	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM,QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	OFDM,BPS K,QPSK, 64QAM	OFDM, BPSK, QPSK, 64QAM	OFDM, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM (BPSK,QPSK, 16-QAM, 64- QAM)	High Index 2-level and 4-level Frequency Shift Keying (FSK)

Para las pruebas de radioenlaces se han definido tres tipos de subsistemas para tener una mejor eficiencia en el consumo de potencia con las siguientes características de los equipos:

Tabla III.3 Especificaciones técnicas utilizadas en las simulaciones

Alcance	Distancia(Km.)	Potencia de Transmisión (dBm)	Ganancia de las antenas (dBi)	Sensibilidad del receptor (dBm)
Corto	10	20	17	-103
Medio	10 a 30	25	23	-103
Largo	30 a 40	30	30	-103

Los equipos de Airspan son los que mejor se adaptan a estas características.

A continuación se presenta los perfiles de los enlaces obtenidos en la simulación tanto en Radio Mobile Deluxe Versión 7.7.2, como en Excel, respectivamente, para los entornos de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe con las mejores y peores condiciones para la propagación.

3.2 ENLACES CON MAYOR PÉRDIDA



Fig. III.1. Huachichambo – Puglla, perfil extraído de Radio Mobile Deluxe

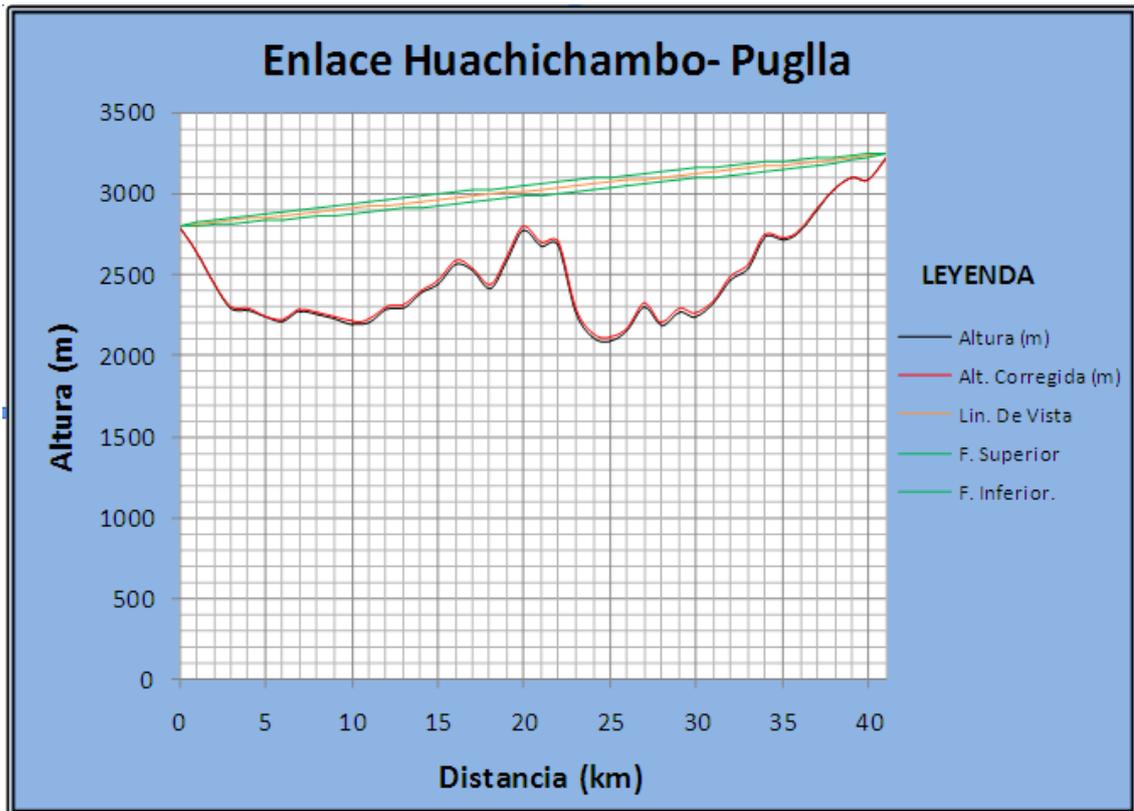


Fig. III.2. Huachichambo - Puglla, perfil extraído de Excel

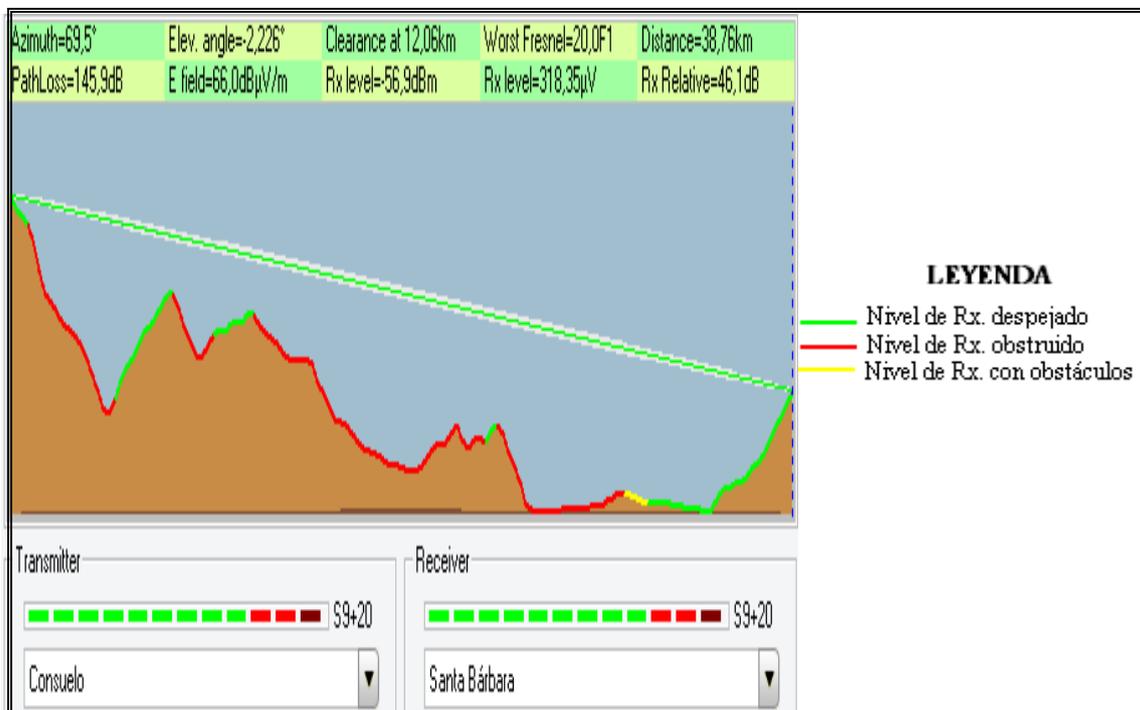


Fig. III.3. Consuelo – Santa Bárbara, perfil extraído de Radio Mobile Deluxe

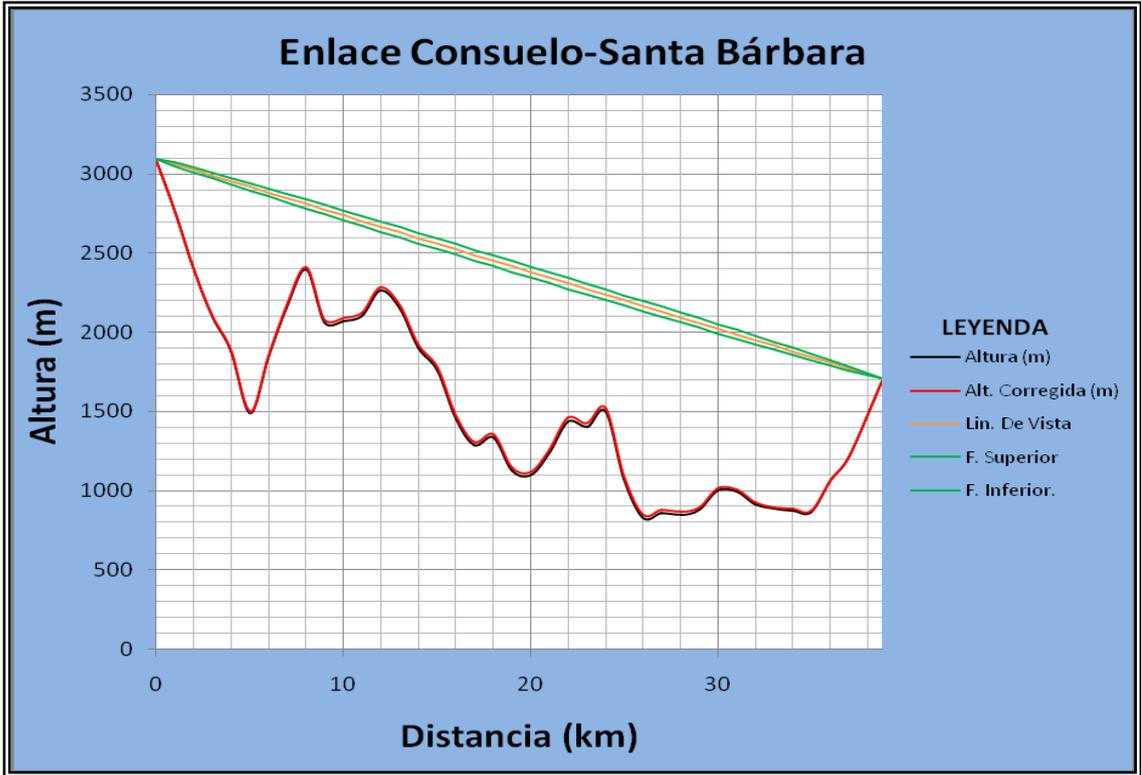


Fig. III.4. Perfil Consuelo - Santa Bárbara, perfil extraído de Excel

3.3 ENLACES CON MENOR PÉRDIDA

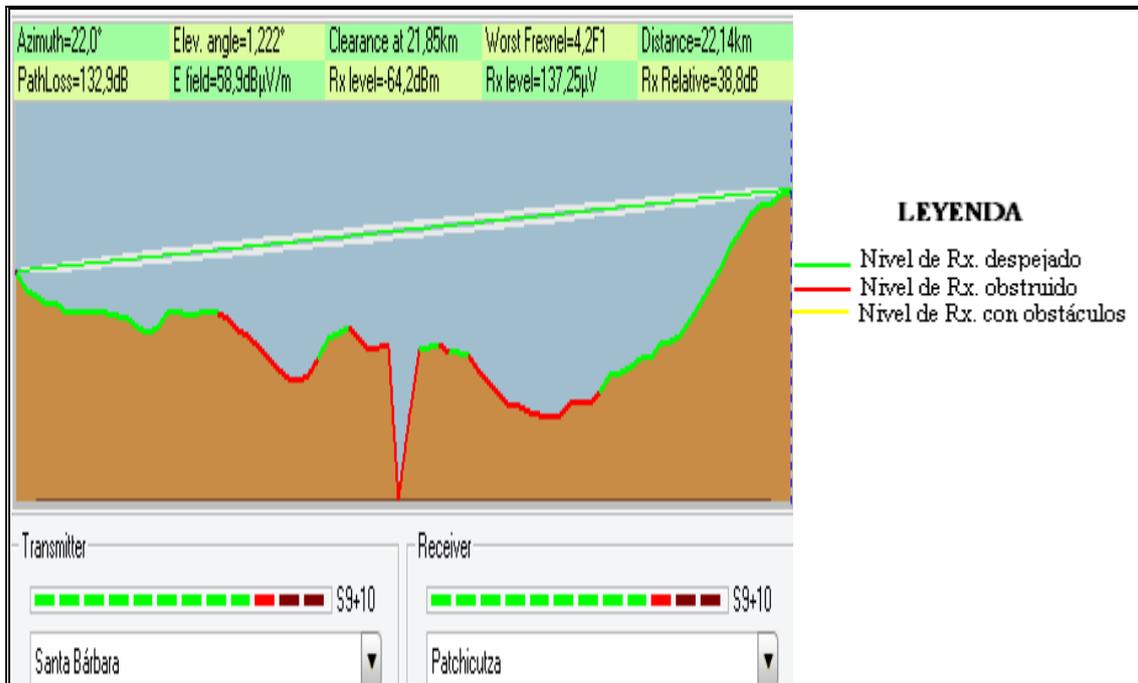


Fig. III.5. Santa Bárbara – Pachicutza, perfil extraído de Radio Mobile Deluxe

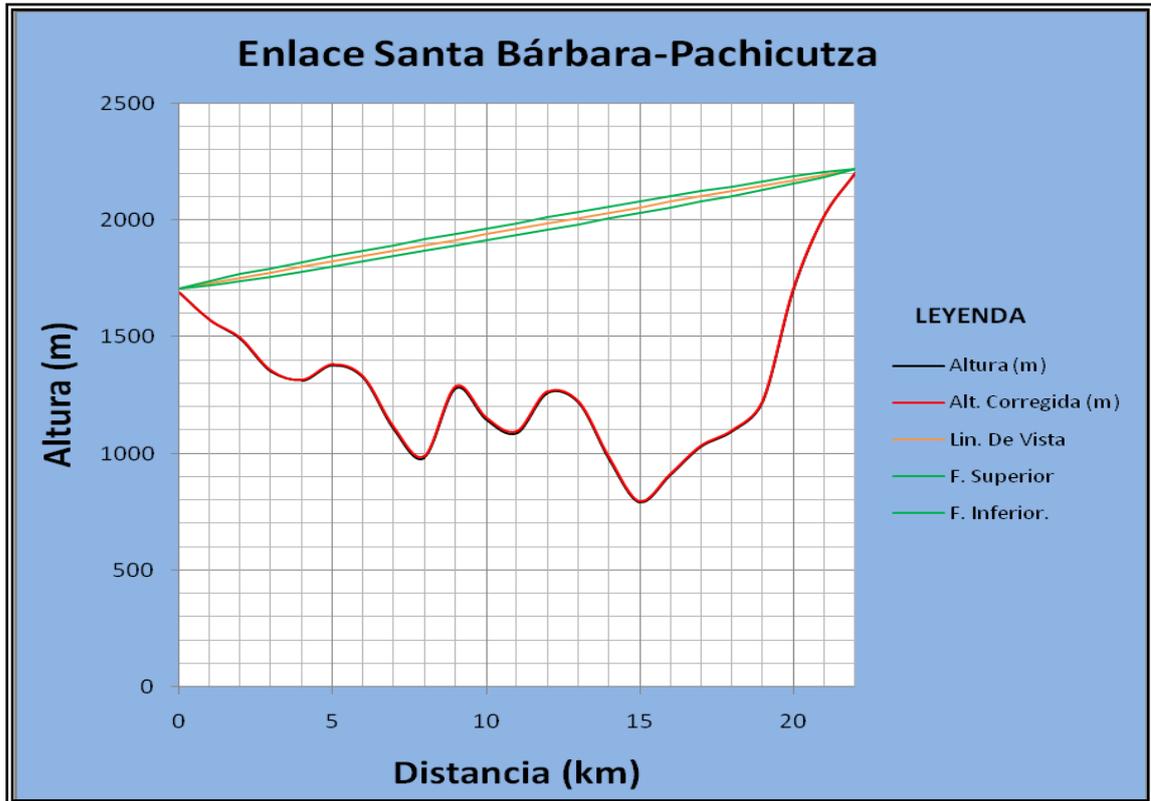


Fig.III.6 Santa Bárbara – Pachicutza, perfil extraído de Excel

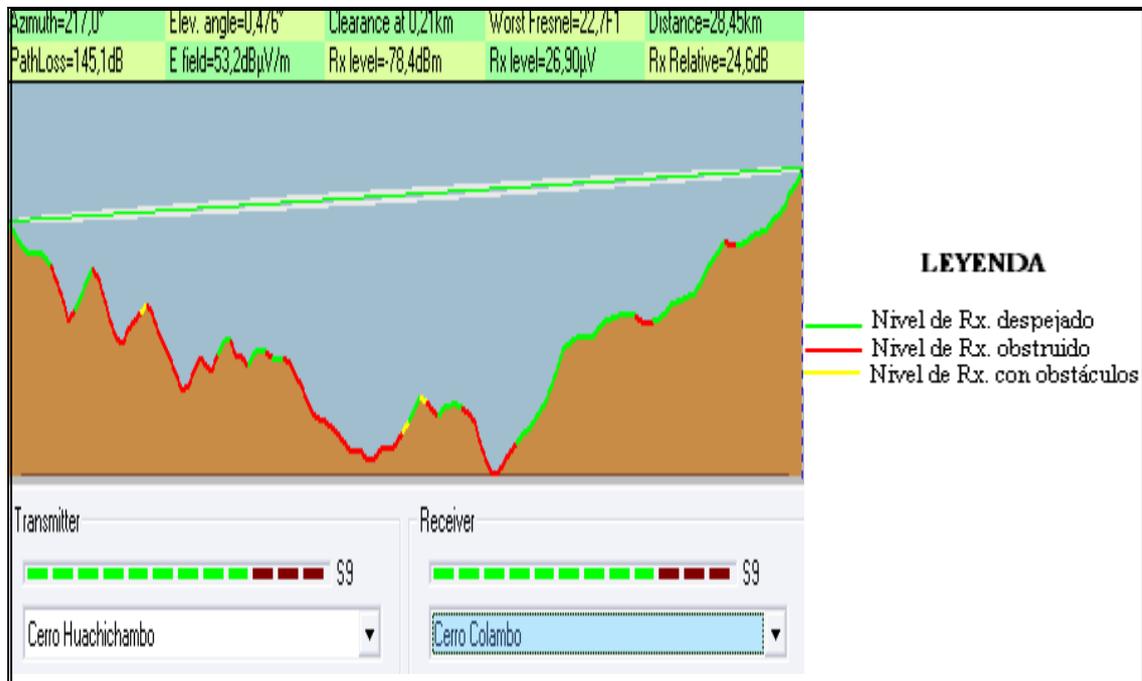


Fig.III.7 Huachichambo – Colombo, perfil extraído de Radio Mobile Deluxe

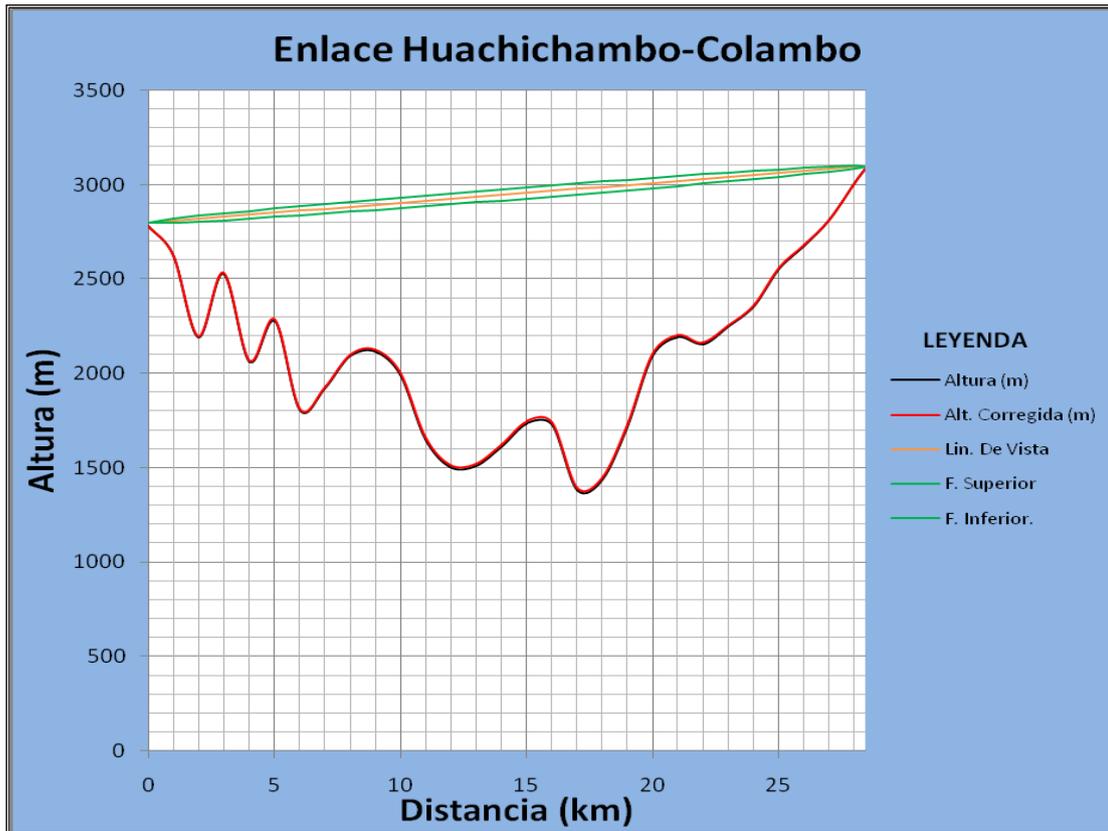


Fig.III.8 Perfil Huachichambo – Colambo, perfil extraído de Excel

En las tablas III.4 y III.5 se muestran las pérdidas totales de los enlaces de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe para la mayoría de entornos de ambas provincias.

Tabla III.4 Pérdidas de enlaces punto-punto en la provincia de Loja

PÉRDIDAS PARA ENLACES ENTRE ENTORNOS							
Enlace	Distancia (Km.)	Potencia Tx. (dBm)	Ganancia de antena Tx./Rx (dBi)	Potencia Rx (dBm) a 5,875GHz	Potencia Rx (dBm) a 2,442GHz	Pérdida (dB)	
						5,875 GHz	2,442 GHz
Huachichambo – Puglla	41,07	30	30	-54,878	-47,296478	144,8777	137,2964
Huachichambo – Colambo	28,45	25	23	-70,582	-63,028363	141,5818	134,0283
Colambo – Guanchuro	30,63	30	30	-52,240	-44,683135	142,2403	134,6831
Asanuma – Guachahurco	38,48	30	30	-54,286	-46,713736	144,2860	136,7137
Colambo – Ahuaca	18,24	25	23	-66,635	-59,103317	137,6353	130,1033
Loja (UTPL) – Huachichambo	6,62	20	17	-74,736	-67,227478	128,7362	121,2274
Colambo – Catamayo	28,54	25	23	-70,606	-63,055749	141,6064	134,0557
Guachahurco – Alamor	16,29	25	23	-65,636	-58,108833	136,6357	129,1088
Colambo – Utuana	34,37	30	30	-53,272	-45,707142	143,2719	135,7071
Morupe – Macará	25,17	25	23	-69,487	-61,943345	140,4874	132,9433
Colambo – Asanuma	33,90	30	30	-53,147	-45,584288	143,1466	135,5842
Utuana – Morupe	5,92	20	17	-73,759	-66,252261	127,7589	120,2522

Tabla III.5 Pérdidas de enlaces punto-punto en la provincia de Zamora Chinchipe

PÉRDIDAS PARA ENLACES ENTRE ENTORNOS							
Enlace	Distancia (Km.)	Potencia Tx (dBm)	Ganancia antena Tx/Rx (dBi)	Potencia Rx (dBm) 5,875GHz	Potencia Rx (dBm) a 2,442GHz	Pérdida (dB)	
						5,875 GHz	2,442 GHz
Consuelo-Santa Bárbara	38,77	30	30	-54,353	-44,777	144,35305	134,777092
Santa Bárbara – Pachicutza	22,02	25	23	-66,302	-58,7591	137,3214	129,7591
Santa Bárbara – Chivato	31,65	25	23	-71,534	-61,9705	142,5337	132,97054

A continuación se hace un análisis de cada entorno, a la frecuencia de 2.4GHz y a la frecuencia de 5.8GHz, a una distancia fija de 10Km, para hacer una comparación entre entornos. Además, los valores son analizados en conjunto con los parámetros de cada entorno, como: temperatura promedio, atenuación debido al vapor de agua y atenuación debido a gases atmosféricos, con el objetivo de verificar que entorno es el que presenta las mejores o peores condiciones de propagación y por ende escoger la tecnología más conveniente para el entorno.

Tabla III.6 Análisis de pérdidas con los parámetros de cada entorno a 2.4GHz de la provincia de Loja

Entorno	Dist. (Km.)	Frec. (GHz)	Temp. (°C)	Precip. máxima (mm)	At. gases (dB)	At. vapor agua dB/Km.	Pérdidas totales (dB)	PRx(dBm)
1	10	2,442	24	2200	0,06231	0,0003115	124,8313	-58,8313
2	10	2,442	12	1000	0,06264	0,0003401	124,9554	-58,9554
3	10	2,442	16	1300	0,06254	0,0003305	124,8312	-58,8312
4	10	2,442	25	1000	0,06228	0,0003091	124,7810	-58,7810
5	10	2,442	18	900	0,06244	0,0003257	124,8877	-58,8877
6	10	2,442	18	1200	0,06244	0,0003257	124,8764	-58,8764
7	10	2,442	18	1200	0,06247	0,0003281	124,8345	-58,8345
8	10	2,442	23	1200	0,06233	0,0003138	124,8351	-58,8351
9	10	2,442	16	1900	0,06249	0,0003305	124,8794	-58,8794

Tabla III.7 Análisis de pérdidas con parámetros de cada entorno a 5.8 GHz

Entorno	Dist. (Km.)	Frec. (GHz)	Temp. (°C)	Precip. máxima (mm)	At. gases (dB)	At vapor agua dB/Km.	Pérdidas totales (dB)	PRx(dBm)
1	10	5,7875	24	2200	0,08194	0,00184	132,3466	-66.3466
2	10	5,7875	12	1000	0,08363	0,00201	132,4783	-66.4783
3	10	5,7875	16	1300	0,08306	0,00195	132,3211	-66.3211
4	10	5,7875	25	1000	0,08180	0,00182	132,2876	-66.2876
5	10	5,7875	18	900	0,08278	0,00192	132,3791	-66.3791
6	10	5,7875	18	1200	0,08278	0,00192	132,3321	-66.3321
7	10	5,7875	18	1200	0,08278	0,00192	132,3445	-66.3445
8	10	5,7875	23	1200	0,08220	0,00185	132,3461	-66.3461
9	10	5,7875	16	1900	0,08306	0,00195	132,8897	-66.8897

Tabla III.8 Análisis de pérdidas con los parámetros de cada entorno a 2.4GHz de la provincia de Zamora Chinchipe

Entorno	Dist. (Km.)	Frec. (GHz)	Temp. (°C)	Precip. máxima (mm)	At. gases (dB)	At vapor agua dB/Km.	Pérdidas totales (dB)	PRx (dBm)
1	10	2,442	24	1650	0.062306	0.0003115	122.82794	-56.82794
2	10	2,442	26	2000	0.062259	0.0003068	122.82572	-56.82572
3	10	2,442	20	3000	0.062401	0.0003209	122.83741	-56.83741
4	10	2,442	24	2000	0.062306	0.0003115	122.81325	-56.81325

Tabla III.9 Análisis de Pérdidas con los parámetros de cada entorno a 5.8GHz de la provincia de Zamora Chinchipe

Entorno	Dist. (Km.)	Frec. (GHz)	Temp. (°C)	Precip. máxima (mm)	At. gases (dB)	At vapor agua dB/Km.	Pérdidas totales (dB)	PRx (dBm)
1	10	5,7875	24	1650	0.081946	0.0018434	132.34604	-66.34604
2	10	5,7875	26	2000	0.081670	0.0018158	130.34517	-66.34517
3	10	5,7875	20	3000	0.082501	0.0018989	130.35603	-66.35603
4	10	5,7875	24	2000	0.081946	0.0018434	130.33512	-66.33512

El análisis descrito en las tablas demuestra:

La atenuación debida a gases atmosféricos a la frecuencia de 2,4 y 5,8 GHz, es relativamente baja con respecto a frecuencias superiores (anexo C). En la tabla III.7, el entorno 2, posee un valor de atenuación por gases es 0,08363 dB, su atenuación por vapor de agua correspondiente es 0,00201dB/Km. Analizando la figura C.1 *Atenuación por gases atmosféricos* del Anexo C, se puede observar que a una frecuencia de 15 GHz la atenuación por vapor de agua es 0,015 dB/Km y para una frecuencia de 100 GHz su atenuación es 0,5 dB/Km. Por consiguiente las pérdidas por gases atmosféricos consideradas en la simulación de radioenlaces, influyen muy poco en las pérdidas totales del mismo.

El nivel de potencia recibida en un enlace no podrá ser inferior al umbral de recepción del equipo, valores inferiores producen indisponibilidad en el sistema. En consecuencia los valores expuestos en las tablas mencionadas están dentro de los márgenes establecidos para una buena recepción.

3.4 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA CADA ENTORNO

De los resultados obtenidos en las cuatro tablas anteriores se observa que la distancia y frecuencia son los factores más influyentes en un sistema de comunicación ya que son los que más contribuyen en las pérdidas totales; también las precipitaciones constituyen en gran parte a las pérdidas, mientras que por el contrario la temperatura y el clima no influyen en gran medida, para ambas provincias, la vegetación constituye un factor de atenuación de señal en la provincia de Zamora Chinchipe.

Para la elección de la tecnología en cada entorno se ha tomado en consideración principalmente:

- Alcance
- Frecuencia
- NLOS
- LOS
- Número de usuarios
- Costo

Las características de los entornos geográficos en la provincia de Loja con mayor índice de precipitaciones y pendientes, Wimax es la tecnología que más se adapta a estos entornos por las características propias de la tecnología especificadas en la tabla I.1. y por el trayecto a cubrir; es decir, la distancia.

Wifi es la tecnología que mejor se adapta para los entornos geográficos que presentan bajo nivel de precipitaciones y pendientes, debido a que, para estas condiciones se introduce un más bajo nivel de pérdidas especialmente a la frecuencia de 2.4GHz. En estos entornos no existen demasiadas condiciones adversas de propagación (multitrayecto, lluvia, distancia), por todo lo señalado Wifi se adapta mejor a estas condiciones.

Una de las principales características de elección de la tecnología Wimax en la mayor parte de entornos geográficos de Zamora Chinchipe, es debido a la distancia que existe entre las diferentes ciudades, por la vegetación, precipitaciones elevadas y constantes.

Mesh es una topología que se adapta mejor a cortas distancias, con altas densidades de tráfico sin necesidad de conectarse a un punto de distribución, haciéndola altamente costosa, por lo tanto Mesh no se adapta a medios rurales siendo más factible para entornos urbanos;

Mesh no es considerado una buena opción en ninguno de los 13 entornos de ambas provincias principalmente por:

- Costos
- Wifi o Wimax pueden suplir eficientemente a Mesh
- La distancia

Mesh no presenta condiciones adecuadas en cuanto a seguridad y además está limitada por el número de saltos que realice el enlace lo que hace demasiado costosa su implementación.

Tabla III.10 Tecnología inalámbrica para cada entorno en la provincia de Loja

Entorno	Tecnología		Frecuencia (GHz)	Observaciones
1	Wifi		5.8	Principalmente por tener un clima cálido-seco con bajas elevaciones.
2		Wimax	5.8	Un entorno muy variable con temperaturas bajas, precipitaciones y pendientes elevadas y distancia considerable.
3		Wimax	5.8	Gran número de usuarios, pendientes irregulares con precipitaciones elevadas.
4	Wifi		5.8	Entorno en su mayor parte llano presentando menores pérdidas por multitrayecto y con precipitaciones relativamente bajas.
5	Wifi		2.4	Bajo nivel de precipitación, pendientes moderadas, bajo número de usuarios.
6		Wimax	5,8	Un entorno irregular en cuanto a su relieve y con un nivel de precipitaciones variable.
7		Wimax	5,8	Preferible el uso de la tecnología Wimax por ser un entorno geográfico accidentado.
8	Wifi		2.4	Por ser un entorno con elevaciones bajas y pocos usuarios se recomienda Wifi.
9		Wimax	5,8	Por ser un entorno accidentado, en su mayor parte nublado se recomienda la utilización de la tecnología Wimax

Tabla III.11 Tecnología inalámbrica para cada entorno en la provincia de Zamora Chinchipe

Entorno	Tecnología		Frecuencia (GHz)	Observaciones
1		Wimax	5.8	Alto índice de precipitación, terreno irregular, excesiva vegetación.
2	Wifi		2.4	Precipitaciones variables, bajo número de usuarios
3		Wimax	5,8	Wimax posee las mejores características para ser utilizada, ya que en estos entornos existe un alto nivel de vegetación, un nivel de precipitaciones elevado y constante.
4		Wimax	5.8	

3.6 COBERTURAS

Para la distribución se consideró el cerro más significativo de cada entorno y se hizo la distribución a un rango de 10 km. del cerro cada 30°, para la provincia de Loja; mientras que para Zamora Chinchipe se hizo la distribución a un rango de 15Km. Además, para ver el alcance máximo de la señal se consideró cada kilómetro para ver si no existe la presencia de algún obstáculo.

Las coberturas de los enlaces tiene una distancia promedio de 10 Km. a 15 Km. de acuerdo a la tecnología implementada, para la simulación de coberturas se toma en cuenta el cerro, como nodo de distribución y se realiza las iteraciones respectivas, a un ángulo de 30° 0 45° respectivamente, las mediciones se realizan a cada kilómetro verificando si existe línea de vista entre el nodo y el punto de medición, analizando de tal manera la topografía del terreno, las pérdidas por multitrayecto y la distancia máxima que llega la señal sin obstrucción.

A continuación se muestran las tablas de coberturas de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe.

Tabla III.12 Coberturas en la provincia de Zamora Chinchipe

Entorno I												
Consuelo(03°52'53"S 78°43'53"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	13,69	13,35	12,78	13,08	15	11,75	11,5	15	10,67	9,9	11,38	12,18
Entorno II												
Santa Bárbara(03°52'53"S 78°43'53"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	14,45	15	0,69	0,64	0,67	1,26	14,77	9,21	8,47	13,4	12,43	14,47
Entorno III												
Pachicutza(03°41'54"S 78°39'20"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	3,54	15	15	15	15	15	12,62	15	14,2	15	12,21	2,15

Anexo D.2: Distribución de propagación en los principales entornos de la provincia de Zamora Chinchipe

Tabla III.13 Coberturas en la provincia de Loja

Entorno I												
Guachahurco (04°02'06"S 79°52'25"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	8,57	4,88	10	10	10	0,89	10	5,33	10	7,97	10	0,5
Entorno II												
Puglla (03°39'45"S 79°15'36"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	2,55	10	10	10	3,38	2,57	1,88	10	8,8	7,89	10	3,41
Entorno III												
Huachichambo (04°01'48"S 79°14'39"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	9,21	10	10	10	9,19	4,5	2,81	8,14	8,8	0,48	6,58	5,56
Entorno IV												
San José (04°00'39"S 79°21'19"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	9,65	5,08	8,11	6,24	8,1	3,24	5,14	10	9,02	8,57	7,54	10
Entorno V												
Cararango (04°15'49"S 79°14'18"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	10	9	10	10	7,29	4,77	10	9,39	10	9,58	10	9,4
Entorno VI												
Colambo (04°14'14"S 79°23'49"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	10	7,34	4,58	4,11	10	10	3,66	1,11	10	9,48	9,83	7,39
Entorno VII												
Ahuaca (04°18'29,4"S 79°32'47,2"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	9,65	9,89	10	2,63	2,21	2,44	3,68	7,08	7,76	8,73	9,9	10
Entorno VIII												
Asanuma (04°19'39"S 79°41'21"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	1,53	4,78	3,25	10	1,79	1,51	1,15	1,37	3,24	8,73	7,5	9,24
Entorno IX												
Guanchuro (04°03'35"S 79°36'42"W)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Cobertura (Km.)	7,07	10	10	10	10	10	10	8,23	4,88	8,99	4,79	10

Anexo D.1: Distribución de propagación en los principales entornos de la provincia de Loja

CONCLUSIONES

1. Se han definido 9 entornos para la provincia de Loja, debido a la gran diversidad topográfica, climática y meteorológica.

Justificación: Para la definición de los entornos geográficos, se sobrelapó los mapas digitales de cada uno de los parámetros, tal como se muestra en la figura II.1

2. En la provincia de Zamora Chinchipe se ha definido 4 entornos, de los cuales todos presentan condiciones adversas para ofrecer una buena comunicación.

Justificación: El sobrelapamiento de los mapas digitales se muestra en la figura II.3 definiendo 4 entornos geográficos para esta provincia.

3. El entorno 2 de la provincia de Loja es un entorno poco favorable para la implementación de un sistema de comunicación.

Justificación: Por el alto índice pluviométrico y su considerable factor de rugosidad, el cual está expuesto a mayores pérdidas por multitrayecto, pérdidas debido al alto índice precipitaciones, causando dispersión de la energía. En este entorno se tiene los valores más elevados de pérdida de acuerdo a las simulaciones (144 dB), a una frecuencia de 5.8GHz (enlace Huachichambo -Puglla), (tabla III.4 y el anexo E se muestra los cálculos manuales realizados en Excel), con respecto a los demás entornos de la provincia, que poseen las mismas características de distancia y frecuencia.

4. El entorno 4 de la provincia de Loja presenta buenas condiciones de propagación.

Justificación: Debido al bajo nivel de precipitaciones especialmente en los meses de junio a septiembre llegando casi hasta 0mm, mientras que para los meses de febrero a abril se presenta el mayor índice de lluvias llegando hasta los 70mm en Catamayo y a los 120mm en Zapotillo, pero esto no es significativo puesto que el índice anual para este entorno promedia los 500mm. Además, este entorno cuenta con un bajo índice de rugosidad y

buenas condiciones climáticas que lo hace uno de los entornos más favorables para una comunicación confiable.

Con los cálculos manuales y las simulaciones realizadas en el software usado para este proyecto en 2.4GHz y en 5.8GHz se obtuvo como resultado que este entorno presenta buenas condiciones como se muestra en la tabla III.4.

5. Para los enlaces se han definido tres tipos de subsistemas para tener una mejor eficiencia en el consumo de potencia:

- Sistema de corto alcance: definido para menores a 10 Km, con una potencia de transmisión de 20dBm a una frecuencia de 5,875GHz y antenas de 17dBi.
- Sistema de alcance medio: Para cubrir distancias de 10Km a 30 Km., con una potencia de transmisión de 25dBm, y antenas parabólicas direccionales de 23dBi, a la frecuencia de 5.785GHz.
- Sistema de Largo alcance: Para enlaces cuyas distancias sean superiores a 40Km, con potencia de transmisión de 30dBm y antenas parabólicas direccionales 30dBi a la frecuencia de 2.4GHz.

6. La temperatura promedio de cada entorno geográfico de ambas provincias no es un factor preponderante a la hora de la definición de los mismos; pero si lo son al momento de la simulación de los enlaces para cada entorno.

Justificación: La temperatura contribuye a las pérdidas de un radio enlace, esto, como se muestra en el anexo E, en el que, las pérdidas dependen de la temperatura, aunque no en gran medida; mientras que para la definición de los entornos uno de los parámetros que se consideró es la zonificación climática de Koppen (anexo B.1).

7. Para las simulaciones no se utilizó las precipitaciones (tabla II.3), puesto que no afectan directamente a las pérdidas de los enlaces; pero sirve para dimensionar el margen de desvanecimiento y definición en cada entorno.

Justificación: La recomendación de la UIT-R 838 establece que a frecuencias inferiores a los 6GHz las lluvias no afectan considerablemente en las pérdidas de un enlace, pero si lo hacen a frecuencias mayores, y como en nuestro caso sólo se ha usado hasta la frecuencia de 5.8GHz, por tanto no se la ha considerado; mientras que, las precipitaciones junto al resto de parámetros ayudan a definir mejor los entornos.

8. Mesh no se ha considerado una buena opción en ninguno de los 13 entornos.

Justificación: Mesh es una topología costosa que está limitada por el número de saltos que realice el enlace lo que hace demasiado costosa su implementación. En los trece entornos de ambas provincias las tecnologías Wifi y Wimax suplen tranquilamente a Mesh.

9. El entorno 2 en la provincia de Loja, la tecnología inalámbrica que mejor se adapta es Wimax

Justificación: Este entorno posee un relieve bastante irregular (65° de inclinación), además, en este entorno se encuentran las mayores elevaciones (2000-3000 m.s.n.m) debido a la cordillera andina y Wimax es la tecnología adecuada para trabajar tanto en NLOS y LOS.

10. Para la selección de la tecnología inalámbrica en cada entorno geográfico en los que existe demasiada vegetación, alto índice de precipitaciones, largas distancias, demasiadas irregularidades en el terreno, principalmente para Zamora Chinchipe ($\eta=0,25$), se ha elegido Wimax por su buen performance en entornos de vegetación densa en los que no existe línea de vista, esto por su esquema de modulación OFDMA.

RECOMENDACIONES

1. Hacer un estudio de energías alternativas, para zonas geográficas estratégicas para la instalación de radio bases, principalmente para el entorno geográfico 3 de la provincia de Zamora Chinchipe, en el que el acceso es difícil y en ciertos sectores no llega la energía eléctrica
2. Diseñar un software especializado con los valores de los parámetros que se utilizaron para la definición de los entornos geográficos; esta información será lo suficientemente útil para el diseño de un enlace.
3. El cerro Loma de la Conga ubicado en las coordenadas $4^{\circ} 2' 3.3''$ S $78^{\circ}56'50.3''$ W a 1726 m de altura en la provincia de Zamora Chinchipe, presenta condiciones ventajosas una de ellas es por existir línea de vista para cubrir todo el cantón Zamora, vía de acceso y energía eléctrica; por lo que es un buen punto para el diseño de un enlace en Zamora.
4. El espectro radioeléctrico está ocupado en su mayor parte; así que se buscan espacios; la gestión del espacio radioeléctrico es distinta en cada país. En Ecuador se presentan dificultades en la estandarización del espacio radioeléctrico a utilizar en una determinada tecnología. Se recomienda gestionar el espectro radioeléctrico en la que se defina claramente las frecuencias que se puedan utilizar para tecnologías inalámbricas especialmente para Wimax en la que aún no se ha definido claramente.
5. Desarrollar un documento que sugiera un cambio en la regulación de telecomunicaciones en el Ecuador el cual posibilite conceder a los servicios proporcionando por 802.16e un título primario lo cual permitiría su funcionamiento en 2.3GHz.
6. Utilizar los equipos Airspan en el entorno 3 en la provincia de Zamora Chinchipe debido a que estos tienen un gran margen de umbral de recepción (-103dBm).
7. Para la mayor parte de los entornos geográficos de Loja y Zamora Chinchipe no se recomienda la topología Mesh, por su considerable costo y principalmente porque puede ser reemplazada con otras tecnologías inalámbricas o de 3G con mejores beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ✓ Allaby, Michael. "Encyclopedia of Weather and Climate", 2002
- ✓ Buttrich, Sebastián. "Mesh". pp 21-23, julio 2007
- ✓ Córdova, Francisco. "Tecnologías de acceso" pp. 60-63
- ✓ Gondard, Pierre. Ritmos pluviométricos y contraste climáticos en la provincia de Loja. pp 41-47, 73, 74 , vol. 5, julio 1985
- ✓ INERHI - PREDESUR – CONADE. "Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja". pp. 62, 64, 71. 1994.
- ✓ Intel. "De que manera entender Wifi y Wimax como soluciones de acceso para áreas metropolitanas" pp. 10-14, 2003
- ✓ Instituto geográfico militar. "Atlas Geográfico Universal y del Ecuador", agosto 1992
- ✓ LIBERA. "3G vs. Tecnologías Inalámbricas Emergentes" pp 15-45
- ✓ Morocho, Marco; Ludeña, Patricia. "Planificación de radio enlaces con base en topografía digital", pp. 1-6, 2005, UTPL
- ✓ Pourrut, Pierre; Róvere, Oscar, Romo, Iván, Villacrés ,Homero "Clima del Ecuador" pp. 20
- ✓ Romero Velasco, Mónica "sistema de detección perimetral por fibra óptica y radiofrecuencia". Sept. 2005; pp. 102
- ✓ Página Web del consejo nacional de telecomunicaciones
[http:// www.conatel.gov.ec](http://www.conatel.gov.ec)
- ✓ Página Web de fabricante Proxim:
<http://www.proxim.com>
- ✓ Página Web de fabricante Airspan:
<http://www.airspan.com>
- ✓ Página Web de fabricante Alvarion:
<http://www.alvarion.com>

Libros:

- Briceño, José E. "Transmisión de Datos". Universidad de los Andes. Mérida. **Capítulo 9**. pp. 525-526. Abril 2005.
- Leal M, Allan André. "Estudio de radioenlaces para red celular Ericsson", pp. 17-18 agosto 2005
- Seybold, John s.(Ph.d). "Introduction to Rf propagation". John wiley & sons.inc, 2005

ANEXOS

ANEXO A

Anexo A.1: RESOLUCIONES DE LA CONATEL:

El artículo 5 de la Resolución 417-15-CONATEL-2005, "NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA" dice lo siguiente:

NORMA TÉCNICA

"Art.5.-Características de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.-Los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha son aquellos que se caracterizan por:

1. Una distribución de la energía media de la señal transmitida, dentro de una anchura de banda mucho mayor que la convencional, y con un nivel bajo de potencia;
2. La utilización de técnicas de modulación que proporcionan una señal resistente a las interferencias;
3. Permitir a diferentes usuarios utilizar simultáneamente la misma banda de frecuencias;
4. Coexistir con sistemas de banda angosta, lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del espectro radioeléctrico; y,
5. Operar en bandas de frecuencias inscritas en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias"

Por lo tanto se puede definir a Wimax fijo o móvil como un "SISTEMA DE MODULACION DIGITAL DE BANDA ANCHA".

En el artículo 6 de la "NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA" (Resolución 417- 15- CONATEL-2005) tenemos definido lo siguiente:

"Art.6.-Bandas de Frecuencias.-Se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha en las siguientes bandas de frecuencias conocidas como ISM:

Tabla A.1. Bandas de frecuencia ISM (CONATEL)

BANDA (MHz)
902 - 928
2400 – 2483,5
5150 - 5250
5250 - 5350
5470 - 5725
5725 - 5850

El CONATEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de sistemas de modulación digital de banda ancha en bandas distintas a las indicadas en la presente norma, previo estudio sustentado y emitido por la SNT.”

Tabla A.2. Bandas de frecuencia para espectro ensanchado (CONATEL)

Banda (Mhz)	Notas
2300-2450 Fijo Móvil Radiolocalización Aficionados	EQA.190, EQA.195
2450-2483,5 Fijo Móvil Radiolocalización	EQA.195
5725-5830 Radiolocalización Aficionados	EQA,215
5830-5850 Radiolocalización Aficionados Aficionados por satélite(espacio tierra)	EQA,215

Las notas que se encuentran en la columna de la derecha son “NOTAS NACIONALES RELACIONADAS AL CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS” del Plan Nacional de Frecuencias y dicen lo siguiente:

“EQA.190.- En la banda 2.300 – 2.400 MHz, atribuida a los servicios fijo, móvil y radiolocalización, operan exclusivamente sistemas de seguridad pública.

EQA.195.- El uso de la banda 2.400 – 2.483,5 MHz, atribuida a los servicios fijo, móvil y radiolocalización, operan sistemas de seguridad pública compartido con sistemas de espectro ensanchado (Spread Spectrum).

EQA.215.- El uso de la banda 5.725 – 5.850 MHz, atribuida al servicio de radiolocalización, se comparte con los servicios Fijo Y Móvil que operan con Sistemas de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum).”

Además la Resolución 430-15 CONATEL 2005 dice:

EQA.150.- “El uso de la banda 902-928Mhz atribuida al servicio fijo, Aficionados, móvil salvo el móvil aeronáutico, radiolocalización, se comparte con sistemas de modulación de banda ancha”

ANEXO A.2: DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DISPONIBLES PARA WIMAX SEGÚN LA UIT

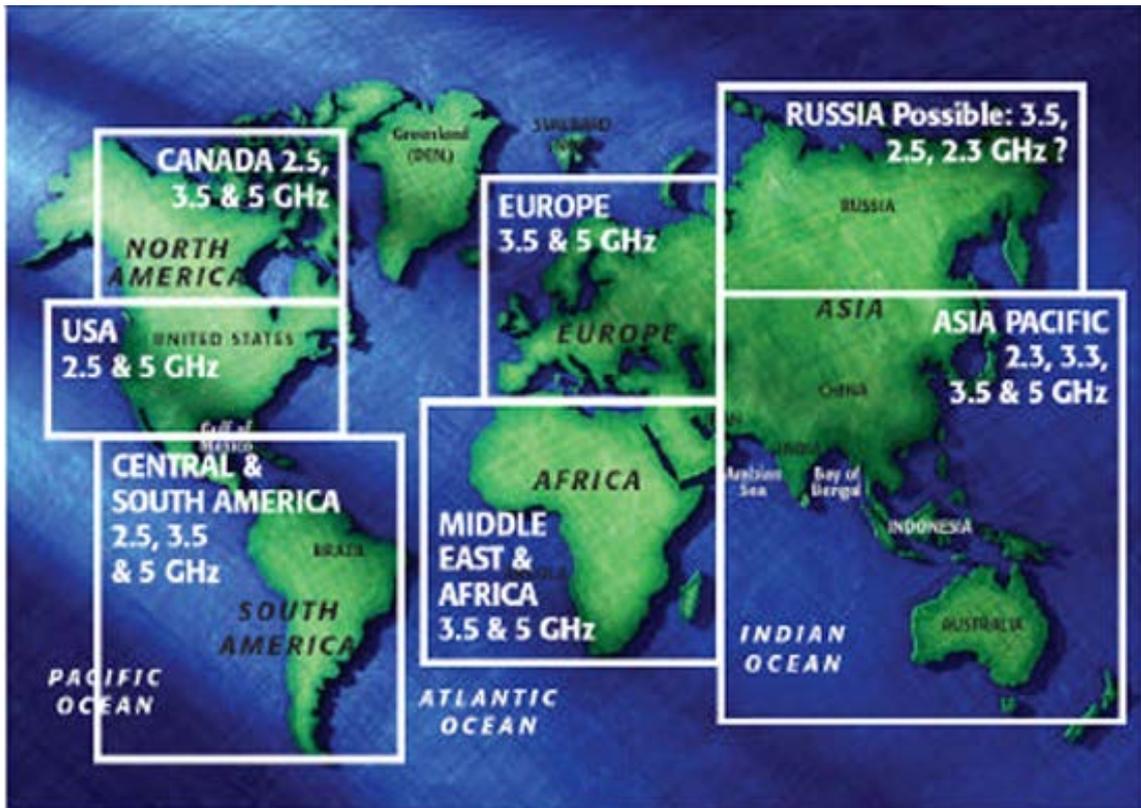


Fig. 1. Distribución de Frecuencias disponibles para Wimax a nivel mundial¹

¹ Jerome Louis, paper: "Spectrum Allocation for BroadBand Wireless Access Services in Mauritius", pp.4, septiembre 2005

ANEXO C FÓRMULAS DE RADIOPROPAGACIÓN

Fórmula para encontrar la frecuencia promedio:

$$F_i = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$$

Fórmula para la corrección de alturas

$$\text{Alt. Corregida} = \text{Altura} + \left[\frac{d_1 \times d_2}{12,74k} \right]$$

Donde:

d1, d2 = Distancias desde el punto transmisor y receptor, en Km

k = factor de radio equivalente de la tierra

Fórmula para la primera zona de fresnel²

$$RF1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{D}}$$

Donde:

$\lambda = 0.517m$

d1, d2 = distancias desde el punto donde se quiere determinar el radio de RF1 hacia los 2 puntos del enlace.

D = distancia total entre los 2 puntos del radio enlace.

Fórmula para el margen F:

$$F = \frac{H_1 d_2 + H_2 d_1}{D} - H_o - 0.0784 \frac{d_1 d_2}{k}$$

Donde:

$\Delta h_1 + h_1 = H_1$

$\Delta h_2 + h_2 = H_2$

² Ludeña Patricia, paper: "Planificación de radio enlaces con base en topografía digital", pp. 2, mayo 2006

$\Delta h1$ *= altura torre 1

$\Delta h2$ *= altura torre 2

H1 = altura total 1 (altura repetidor 1 + altura de torre 1).

H2 = altura total 2 (altura repetidor 2 + altura de torre 2).

Ho = altura del mayor punto posible de interferencia.

d1, d2 = distancias del punto en Ho hacia los 2 puntos del enlace respectivamente.

Altura de ubicación de las antenas. Si el margen M (mostrado más adelante) cumple con la condición la altura considera es aceptable

Fórmula para determinar el margen M:

$$M = F - RF1$$

Si el margen M es positivo la 1ª zona de Fresnel está despejada

Si el margen M es negativo la 1ª zona de Fresnel no está despejada.

Pérdidas en trayectoria en espacio libre³

$$L_{e[dB]} = 92,44 + 20 \log D_{[km]} + 20 \log f_{[GHz]}$$

Donde:

L_e = Pérdidas de espacio libre.

D = Distancia de separación en kilómetros

F = Frecuencia en Giga hertzios.

³ “Estudio y diseño de las alternativas técnicas”. Capítulo III. pp 40

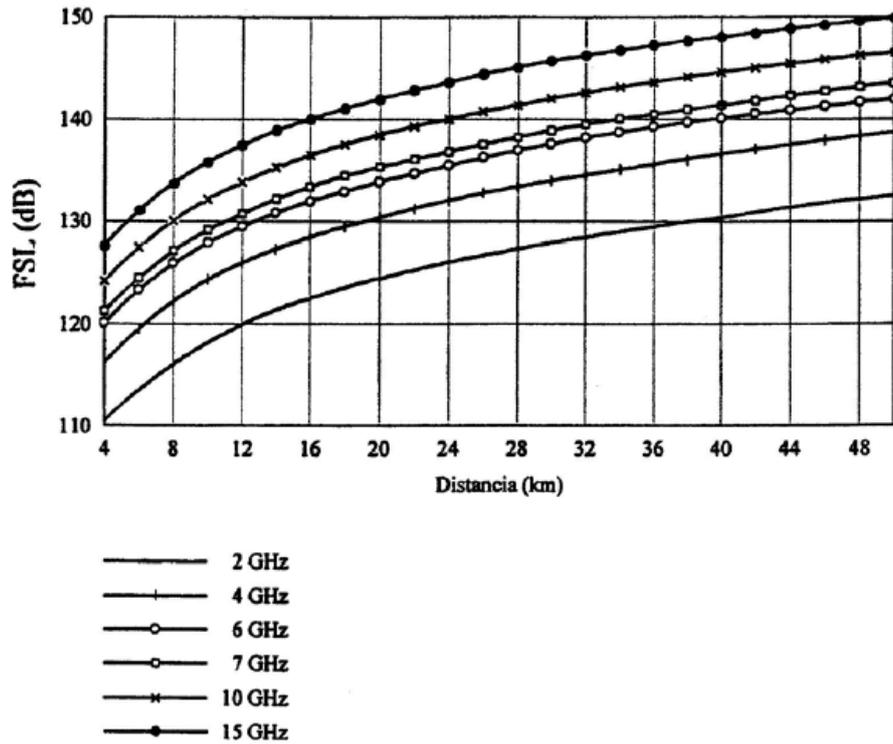


Fig. C.1 Pérdidas en el espacio libre en función de la distancia para varias frecuencias⁴

Pérdidas en alimentadores

Las pérdidas en alimentadores se dan por el fabricante en un valor numérico con unidades dB/100m, y se expresa de la siguiente manera

$$L_a = \frac{long_a \times at}{100}$$

Donde:

L_a = Pérdidas en el alimentador

$Long_a$ = longitud del metro guiado

at = valor de atenuación cada 100m dado por las especificaciones de los fabricantes

⁴ Sánchez Rosa, "Capítulo 2: Modelos de análisis de propagación directa", pp. 3, abril 2004

Tabla C.1. Pérdidas en alimentadores

Aliment.	Banda de operación (GHz)	Atenuación específica (dB/100m)	Pérdida por diversidad (dB)	Pérdida por par de acoples (dB)
Coaxial	Hasta 0,9	3,00	2	1,2
	0,9 - 1,5	4,80		
	1,5 - 1,9	5,00		
	1,9 - 2,2	5,40		
	2,2 - 2,4	5,80		
Guía de onda	2,4 - 3,1	1,40	4	0,6
	3,1 - 4,4	2,10		
	4,4 - 6,2	3,60		

Atenuación por gases atmosféricos (dB)⁵

$$\gamma_a = (\gamma_o + \gamma_w)D$$

Donde:

γ_a = Atenuación debida a gases atmosféricos

γ_o = Atenuación por oxígeno

γ_w = Atenuación por vapor de agua

Atenuación por oxígeno (dB/Km)

$$\gamma_o = \left[7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,5} \right] \times f \times 0,001$$

Donde:

f = Frecuencia (GHz)

⁵ Leal M, Allan André. "Estudio de radioenlaces para red celular Ericsson", pp 17-18 agosto 2005, formulas

Atenuación por vapor de agua (dB/Km)

$$Y_w = \left[0,05 + (0,015 \times F) + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} + \frac{10,6}{(f - 183,3)^2 + 9} + \frac{8,9}{(f - 325,4)^2 + 26,3} \right] \times f^2 \times 0,00075 \times F$$

Donde:

$$F = 1 - 0,006(t - 15)$$

f = frecuencia (GHz)

t = temperatura (°C)

Atenuación por lluvia⁶

Para el cálculo de los radio enlaces es necesario la evaluación de la atenuación causada por la lluvia, que puede despreciarse para frecuencias por debajo de 7 GHz, a frecuencias superiores produce atenuación, absorción y dispersión de onda. La atenuación por lluvia A (dB) se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = a \times l_{ef}$$

Donde:

a = (dB/km): Atenuación específica.

l_{ef} = Longitud efectiva del trayecto.

La atenuación específica a (dB/km) se obtiene a partir de la intensidad de lluvia R (mm/h) mediante la ley exponencial:

$$a = K \times R^\alpha$$

Donde:

K, α = Constantes que dependen de la frecuencia y de la polarización de la onda electromagnética.

Se presentan algunos valores de k y α para distintas frecuencias y polarizaciones lineales (horizontal y vertical).

⁶ Leal M, Allan André. "Estudio de radioenlaces para red celular Ericsson", pp. 20,21 agosto 2005

Tabla C.2. Coeficientes para la atenuación específica⁷

Frecuencia (GHz)	Polarización horizontal		Polarización vertical	
	K	α	K	α
6	0,00175	1,308	0,00155	1,265
8	0,00454	1,327	0,00395	1,310
10	0,0101	1,276	0,00887	1,264
15	0,0367	1,154	0,0335	1,128
20	0,0751	1,099	0,0691	1,065
30	0,187	1,021	0,167	1,000
40	0,350	0,939	0,310	0,929
60	0,707	0,826	0,642	0,824
100	1,12	0,743	1,06	0,744

Según la CCIR-1976 divide al planeta en 5 zonas hidrometeorológicas La zona 1 corresponde a la costa del Océano Atlántico y Centro América (75 mm/h para el 0,01 %) mientras que la zona 5 correspondía a la costa del Océano Pacífico hasta Ecuador y la Patagonia (15 mm/h).

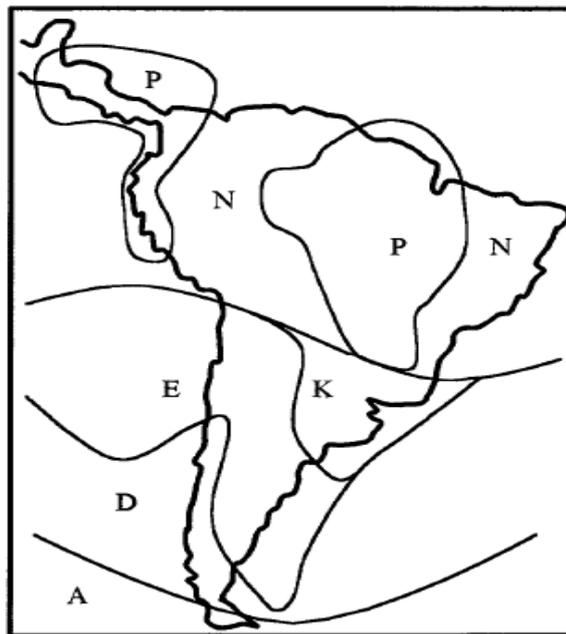


Fig. C.2. Zonas hidrometeorológicas en América del Sur⁷

Los valores para las zonas hidrometeorológicas en América del Sur, que presentan las condiciones de intensidades de lluvia (mm/h) que se supera un porcentaje de tiempo determinado. Se dan a conocer en la siguiente tabla

⁷ Paper: "Disponibilidad de sistemas digitales", pp.6 marzo 2000

Tabla C.3. Lluvia por zonas y porcentajes de tiempo⁷

Porcentaje	A(mm/h)	C(mm/h)	D(mm/h)	E(mm/h)	K(mm/h)	N(mm/h)	P(mm/h)
1 %	0,5	2	3	1	2	5	12
0,3 %	1	3	5	3	64	15	34
0,1 %	2	5	8	6	12	35	65
0,03 %	5	9	13	12	23	65	105
0,01 %	8	15	19	22	42	95	145
0,003 %	14	26	29	41	70	140	200
0,001 %	22	42	42	70	100	180	250

El índice de precipitación R0.01 superado el 0.01% del tiempo, para la zona de Ecuador según la recomendación UIT-RP.837 es igual a 95 mm/h.

La longitud efectiva se calcula con la siguiente ecuación⁸:

$$l_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}}$$

Donde:

d = Distancia del enlace (Km)

$$d_0 = 5 \times e^{-0,015R_{0,001}}$$

⁸ Leal M, Allan André. “Estudio de radioenlaces para red celular Ericsson”, pp. 22 agosto 2005

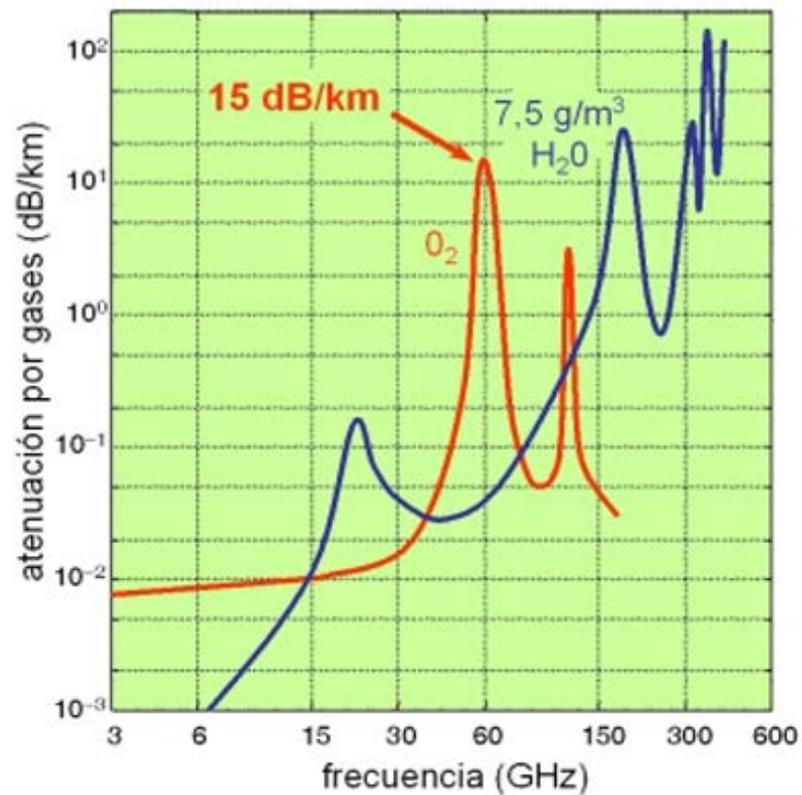


Fig. C.2. Atenuación por gases atmosféricos⁹

Potencia de Recepción¹⁰

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{antTx} + G_{antRx} - L_e - L_a - \gamma_a - a - At_s$$

Donde:

P_{Rx} = Potencia de recepción (dBm)

P_{Tx} = Potencia de transmisión (dBm)

G_{antTx} = Ganancia de antena transmisora (dBi)

G_{antRx} = Ganancia de antena receptora (dBi)

L_e = Pérdidas en trayectoria en espacio libre (dB)

L_a = Pérdidas del alimentador de la guía de onda (dB)

γ_a = Atenuación debida a gases atmosféricos (dB).

a = Atenuación por lluvia

At_s = Atenuaciones adicionales

⁹ Radioptica.com. Tecnologías inalámbricas, redes ópticas y sistemas radio-fibra, “Diseño de radioenlaces”, 1998-2009

¹⁰ “Estudio y diseño de las alternativas técnicas”. Capítulo III pp. 31

Margen de Desvanecimiento¹¹

$$M_p = 30 \log(D) + 10 \text{LOG}(6 \times A \times B \times f) - 10 \text{LOG}(1 - R) - 70$$

Donde:

f = Frecuencia (GHz)

D = Distancia (Km)

M_p = Margen de desvanecimiento (dB)

R = Confiabilidad del sistema

A = Factor de rugosidad

- 4 Sobre agua o un terreno muy liso.
- 3 Sembrados densos; pastizales, arenales
- 2 Bosques (la propagación va por encima)
- 1 Sobre terreno promedio.
- 0.25** Sobre un terreno muy áspero o montañoso.

B = Factor para convertir una probabilidad de peor mes a peor año.

1 Para convertir una disponibilidad anual a la base del peor de los meses.

0.5 Para áreas cálidas o húmedas.

0.25 Para áreas continentales promedio.

0.125 Para áreas muy secas o montañosas.

$$M_p = P_{Rx} - U_{Rx}$$

Para obtener la confiabilidad del sistema despejamos R y nos queda

$$R = 1 - 10^{\left[10 \log(D) - \left(\frac{M_p}{10}\right) + \log(ABf) - 7\right]}$$

¹¹ Briceño, José E. "Transmisión de Datos". Universidad de los Andes Merida. Capítulo 9. pp. 525-526. Abril 2005

ANEXO D

**COBERTURAS EN LOS ENTORNOS DE LA PROVINCIA DE LOJA Y ZAMORA
CHINCHIPE**

ANEXO E

CÁLCULOS DE RADIOPROPAGACIÓN DEL ENLACE MÁS REPRESENTATIVO EN LAS PROVINCIAS DE LOJA Y ZAMORA CHINCHIPE

Tabla E.1 Enlace Huachichambo – Puglla

Lugar	d1 (km)	Altura (m)	d2 (km)	f (Ghz)	k	Alt. Corregida (m)	RF1 (m)	Margen F	Margen M	Lin. De Vista	F. Superior	F. Inferior.
HUACHICHAMBO-PUGLLA	0	2783	41,07	2,442	1,333	2783,000	0,000	16,000	16,000	2799	2799	2799
	1	2639	40,07	2,442	1,333	2641,359	10,948	168,455	157,507	2809,810811	2820,758819	2798,8628
	2	2431	39,07	2,442	1,333	2435,600	15,288	385,027	369,739	2820,621622	2835,910026	2805,33322
	3	2289	38,07	2,442	1,333	2295,724	18,483	535,717	517,234	2831,432432	2849,915647	2812,94922
	4	2276	37,07	2,442	1,333	2284,729	21,060	557,524	536,464	2842,243243	2863,303649	2821,18284
	5	2232	36,07	2,442	1,333	2242,617	23,226	610,449	587,223	2853,054054	2876,280541	2829,82757
	6	2211	35,07	2,442	1,333	2223,387	25,088	640,492	615,404	2863,864865	2888,953033	2838,7767
	7	2271	34,07	2,442	1,333	2285,040	26,709	589,652	562,943	2874,675676	2901,384854	2847,9665
	8	2252	33,07	2,442	1,333	2267,575	28,131	617,930	589,799	2885,486486	2913,61764	2857,35533
	9	2223	32,07	2,442	1,333	2239,992	29,383	656,326	626,943	2896,297297	2925,6803	2866,91429
	10	2193	31,07	2,442	1,333	2211,291	30,486	695,839	665,353	2907,108108	2937,593801	2876,62242
	11	2202	30,07	2,442	1,333	2221,472	31,455	696,470	665,015	2917,918919	2949,373833	2886,464
	12	2282	29,07	2,442	1,333	2302,536	32,303	626,218	593,915	2928,72973	2961,032412	2896,42705
	13	2292	28,07	2,442	1,333	2313,482	33,038	626,084	593,045	2939,540541	2972,578889	2906,50219
	14	2383	27,07	2,442	1,333	2405,310	33,669	545,067	511,398	2950,351351	2984,020613	2916,68209
15	2443	26,07	2,442	1,333	2466,021	34,201	495,168	460,967	2961,162162	2995,363382	2926,96094	

16	2563	25,07	2,442	1,333	2586,614	34,639	385,387	350,748	2971,972973	3006,611754	2937,33419
17	2519	24,07	2,442	1,333	2543,089	34,985	439,723	404,738	2982,783784	3017,769273	2947,79829
18	2415	23,07	2,442	1,333	2439,446	35,244	554,177	518,933	2993,594595	3028,838619	2958,35057
19	2584	22,07	2,442	1,333	2608,686	35,416	395,749	360,332	3004,405405	3039,821724	2968,98909
20	2770	21,07	2,442	1,333	2794,808	35,504	220,438	184,934	3015,216216	3050,719842	2979,71259
21	2675	20,07	2,442	1,333	2699,812	35,507	326,245	290,738	3026,027027	3061,533602	2990,52045
22	2683	19,07	2,442	1,333	2707,698	35,425	329,169	293,744	3036,837838	3072,263023	3001,41265
23	2263	18,07	2,442	1,333	2287,467	35,259	760,211	724,952	3047,648649	3082,907523	3012,38977
24	2110	17,07	2,442	1,333	2134,118	35,006	924,370	889,364	3058,459459	3093,46589	3023,45303
25	2088	16,07	2,442	1,333	2111,651	34,666	957,647	922,981	3069,27027	3103,936243	3034,6043
26	2146	15,07	2,442	1,333	2169,066	34,235	911,042	876,807	3080,081081	3114,315956	3045,84621
27	2298	14,07	2,442	1,333	2320,364	33,710	770,554	736,845	3090,891892	3124,601552	3057,18223
28	2185	13,07	2,442	1,333	2206,544	33,086	895,184	862,098	3101,702703	3134,78855	3068,61686
29	2268	12,07	2,442	1,333	2288,606	32,358	823,932	791,574	3112,513514	3144,871246	3080,15578
30	2238	11,07	2,442	1,333	2257,551	31,518	865,797	834,279	3123,324324	3154,842414	3091,80623
31	2322	10,07	2,442	1,333	2340,377	30,558	793,780	763,222	3134,135135	3164,692861	3103,57741
32	2465	9,07	2,442	1,333	2482,086	29,465	662,880	633,415	3144,945946	3174,410785	3115,48111
33	2543	8,07	2,442	1,333	2558,678	28,224	597,098	568,874	3155,756757	3183,980797	3127,53272
34	2730	7,07	2,442	1,333	2744,151	26,815	422,433	395,618	3166,567568	3193,382371	3139,75276
35	2717	6,07	2,442	1,333	2729,507	25,209	447,886	422,677	3177,378378	3202,587274	3152,16948
36	2760	5,07	2,442	1,333	2770,745	23,366	417,457	394,091	3188,189189	3211,55499	3164,82339
37	2900	4,07	2,442	1,333	2908,865	21,224	290,145	268,921	3199	3220,223818	3177,77618
38	3022	3,07	2,442	1,333	3028,868	18,680	180,951	162,271	3209,810811	3228,491222	3191,1304
39	3094	2,07	2,442	1,333	3098,753	15,540	121,875	106,335	3220,621622	3236,161332	3205,08191
40	3083	1,07	2,442	1,333	3085,520	11,315	145,916	134,601	3231,432432	3242,747244	3220,11762

	41	3227	0,00	2,442	1,333	3227,000	0,000	16,000	16,000	3243	3243	3243
Alt. Torre Tx (m)	Alt. Torre Rx (m)	H1 (m)	H2 (m)	Ptx (dBm)	Urx (dBm)	G ant. tx. (dBi)	G ant. rx. (dBi)	Distancia t.(km)	G ants.	Prx		
16	16	2799	3243	30	-103	30	30	41,07	60	-47,2965		

Le (dB)	L. conect. (dB)	L. Coax. Fab. (dB)	I. coax. tx	I. coax. rx	La tx.	La rx	At. Ox. (dB/Km)	Temp. Prom. °C	At. Vap. Agua (dB/Km)	At. gases atmosf. (dB)	L totales
132,4754	0,244	10,8	20	20	2,16	2,16	0,005919	12	0,000340132	0,2570703	137,2965

M	A	B	R	R%	Objetivo
55,704	0,23	0,25	1	99,9999984	APROBADO

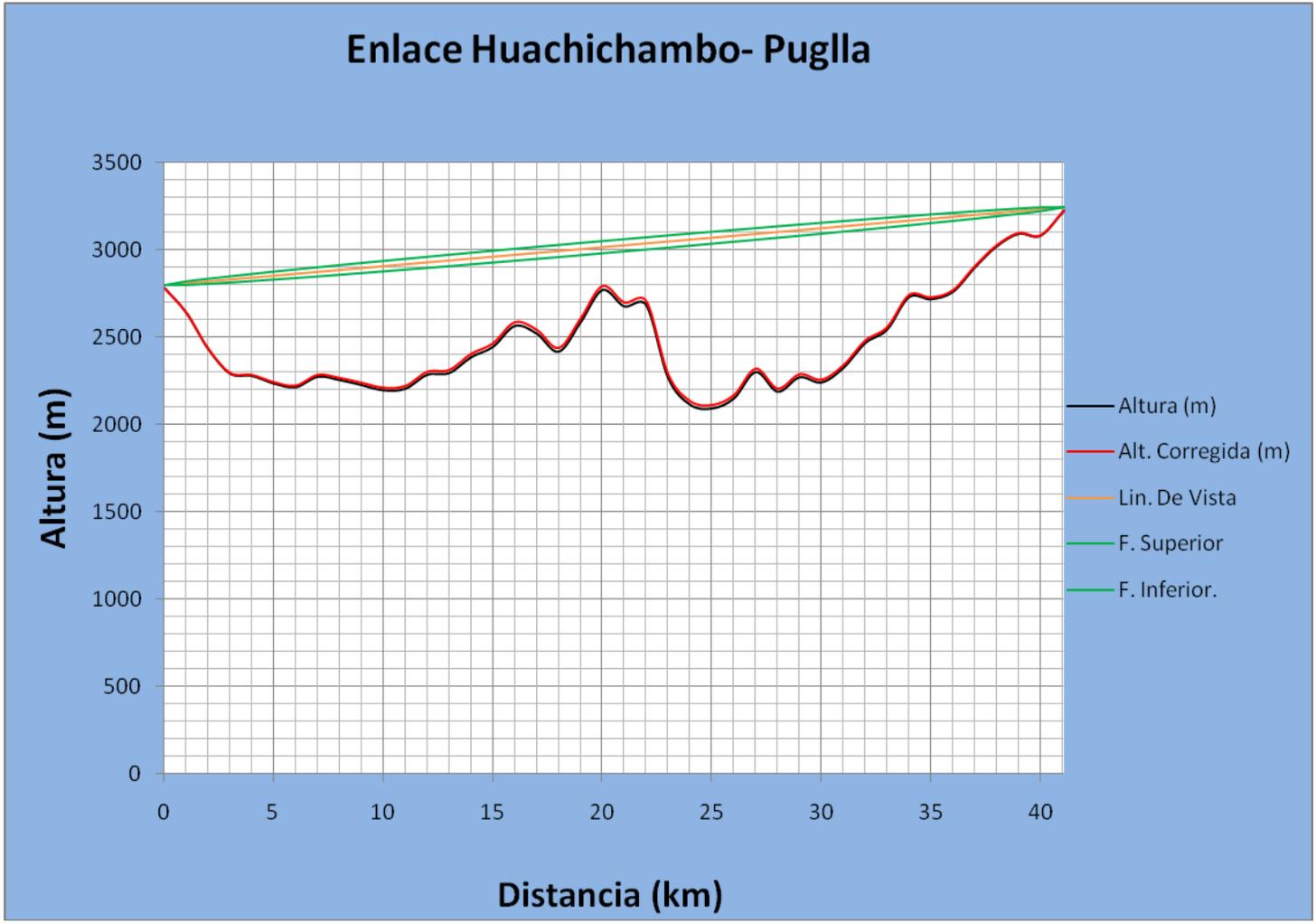


Fig. E.1 Perfil extraído en Excel del enlace Huachichambo -Puglla

Tabla E.2 Enlace Consuelo – Santa Bárbara

Lugar	d1 (km)	Altura (m)	d2 (km)	f (Ghz)	k	Alt. Corregida (m)	RF1 (m)	H1 (m)	Margen F	Margen M	F. Superior	F. Inferior.
CONSUELO-SANTA BÁRBARA	0	3080	38,77	5,7875	1,3333	3080	0	3096	16	16	3096	3096
	1	2764	37,77	5,7875	1,3333	2766,22351	7,10625385	3096	293,952454	286,8462	3067,27958	3053,06708
	2	2389	36,77	5,7875	1,3333	2393,32928	9,9158292	3096	631,022508	621,106679	3034,26249	3014,43083
	3	2095	35,77	5,7875	1,3333	2101,31731	11,9780831	3096	887,210162	875,232079	3000,49807	2976,54191
	4	1884	34,77	5,7875	1,3333	1892,1876	13,6363948	3096	1060,51542	1046,87902	2966,32971	2939,05692
	5	1488	33,77	5,7875	1,3333	1497,94015	15,0251134	3096	1418,93827	1403,91316	2931,89176	2901,84154
	6	1839	32,77	5,7875	1,3333	1850,57496	16,2136603	3096	1030,47872	1014,26506	2897,25364	2864,82632
	7	2156	31,77	5,7875	1,3333	2169,09203	17,2434774	3096	676,136777	658,8933	2862,45679	2827,96983
	8	2395	30,77	5,7875	1,3333	2409,49137	18,1416158	3096	399,912431	381,770815	2827,52826	2791,24502
	9	2061	29,77	5,7875	1,3333	2076,77296	18,9268307	3096	696,805685	677,878854	2792,4868	2754,63314
	10	2070	28,77	5,7875	1,3333	2086,93681	19,6126896	3096	650,816539	631,203849	2757,34599	2718,12061
	11	2106	27,77	5,7875	1,3333	2123,98293	20,209311	3096	577,944993	557,735682	2722,11594	2681,69732
	12	2265	26,77	5,7875	1,3333	2283,91113	20,7244032	3096	382,191047	361,466644	2686,80436	2645,35556
	13	2151	25,77	5,7875	1,3333	2170,72194	21,16392	3096	459,554701	438,390781	2651,41721	2609,08937
	14	1902	24,77	5,7875	1,3333	1922,41484	21,5324896	3096	672,035955	650,503465	2615,95911	2572,89413
	15	1757	23,77	5,7875	1,3333	1777,98999	21,8337054	3096	780,634808	758,801103	2580,43365	2536,76624
	16	1453	22,77	5,7875	1,3333	1474,44741	22,0703252	3096	1048,35126	1026,28094	2544,8436	2500,70295
	17	1284	21,77	5,7875	1,3333	1305,78709	22,2444105	3096	1181,18532	1158,94091	2509,19102	2464,7022
	18	1335	20,77	5,7875	1,3333	1357,00903	22,3574221	3096	1094,13697	1071,77955	2473,47736	2428,76252
	19	1126	19,77	5,7875	1,3333	1148,11323	22,410284	3096	1267,20622	1244,79594	2437,70355	2392,88298
	20	1100	18,77	5,7875	1,3333	1122,09969	22,403422	3096	1257,39308	1234,98966	2401,87002	2357,06318
21	1241	17,77	5,7875	1,3333	1262,96841	22,336781	3096	1080,69753	1058,36075	2365,97671	2321,30315	

22	1437	16,77	5,7875	1,3333	1458,71939	22,209823	3096	849,119586	826,909763	2330,02308	2285,60343
23	1403	15,77	5,7875	1,3333	1424,35263	22,0215047	3096	847,65924	825,637735	2294,00809	2249,96508
24	1501	14,77	5,7875	1,3333	1521,86813	21,7702338	3096	714,316493	692,54626	2257,93015	2214,38968
25	1070	13,77	5,7875	1,3333	1090,26589	21,4537986	3096	1110,09135	1088,63755	2221,78705	2178,87945
26	826	12,77	5,7875	1,3333	845,545918	21,0692632	3096	1318,9838	1297,91454	2185,57584	2143,43731
27	858	11,77	5,7875	1,3333	876,708203	20,6128166	3096	1251,99386	1231,38104	2149,29272	2108,06709
28	848	10,77	5,7875	1,3333	865,752747	20,0795554	3096	1227,12151	1207,04195	2112,93279	2072,77368
29	878	9,77	5,7875	1,3333	894,679553	19,4631668	3096	1162,36676	1142,9036	2076,48973	2037,5634
30	998	8,77	5,7875	1,3333	1013,48862	18,7554569	3096	1007,72962	988,97416	2039,95535	2002,44444
31	990	7,77	5,7875	1,3333	1004,17995	17,9456247	3096	981,210071	963,264446	2003,31885	1967,4276
32	913	6,77	5,7875	1,3333	925,753532	17,0190984	3096	1023,80812	1006,78903	1966,56565	1932,52746
33	884	5,77	5,7875	1,3333	895,20938	15,9555618	3096	1018,52378	1002,56822	1929,67545	1897,76432
34	873	4,77	5,7875	1,3333	882,547488	14,7253584	3096	995,357032	980,631674	1892,61857	1863,16786
35	865	3,77	5,7875	1,3333	872,767857	13,2822583	3096	969,307886	956,025628	1855,3488	1828,78429
36	1063	2,77	5,7875	1,3333	1068,87049	11,5467127	3096	737,37634	725,829628	1817,78659	1794,69316
37	1212	1,77	5,7875	1,3333	1215,85538	9,35738977	3096	554,562394	545,205004	1779,7706	1761,05582
38,77	1691	0	5,7875	1,3333	1691	0	3096	16	16	1707	1707

Alt. Torre Tx (m)	Alt. Torre Rx (m)	H1 (m)	H2 (m)	Ptx (dBm)	Urx (dBm)	G ant. tx. (dBi)	G ant. rx. (dBi)	Distancia t.(km)	G ants.	Prx	
16	16	3096	1707	30	-103	30	30	38.77	60	-54.3530	
Le (dB)	L. conect. (dB)	L. Coax. Fab. (dB)	l. coax. tx	l. coax. rx	La tx.	La rx	At. Ox. (dB/Km)	Temp. Prom. °C	At. Vap. Agua (dB/Km)	At. gases atmosf. (dB)	L totales
139,47	0,244	10,8	20	20	2,16	2,16	0,005919	12	0,00635123	0,31931975	144,3530
M	A	B	R	R%	Objetivo						
8,6469	0,25	0,5	0,9999	99,9999655	APROBADO						

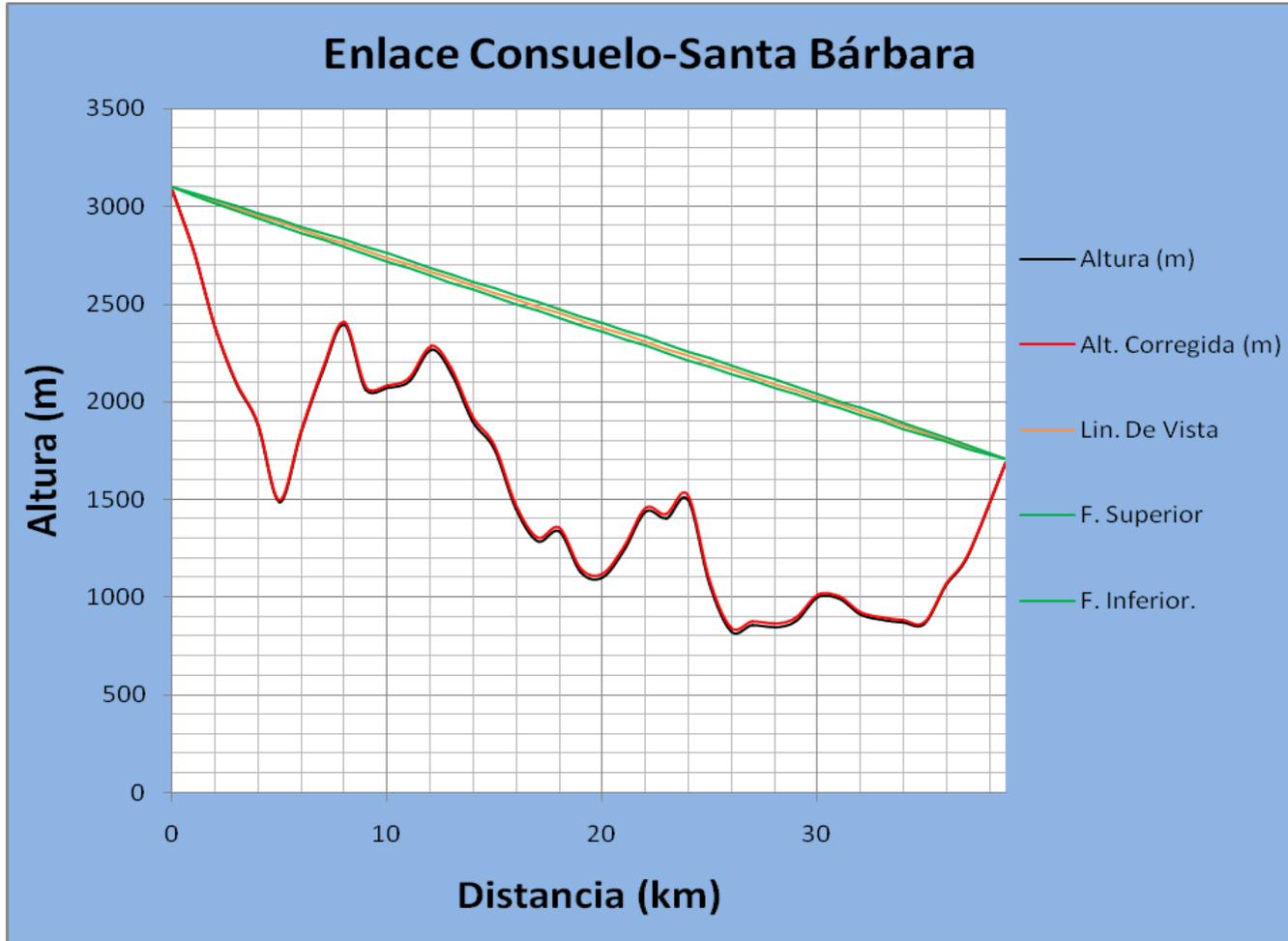
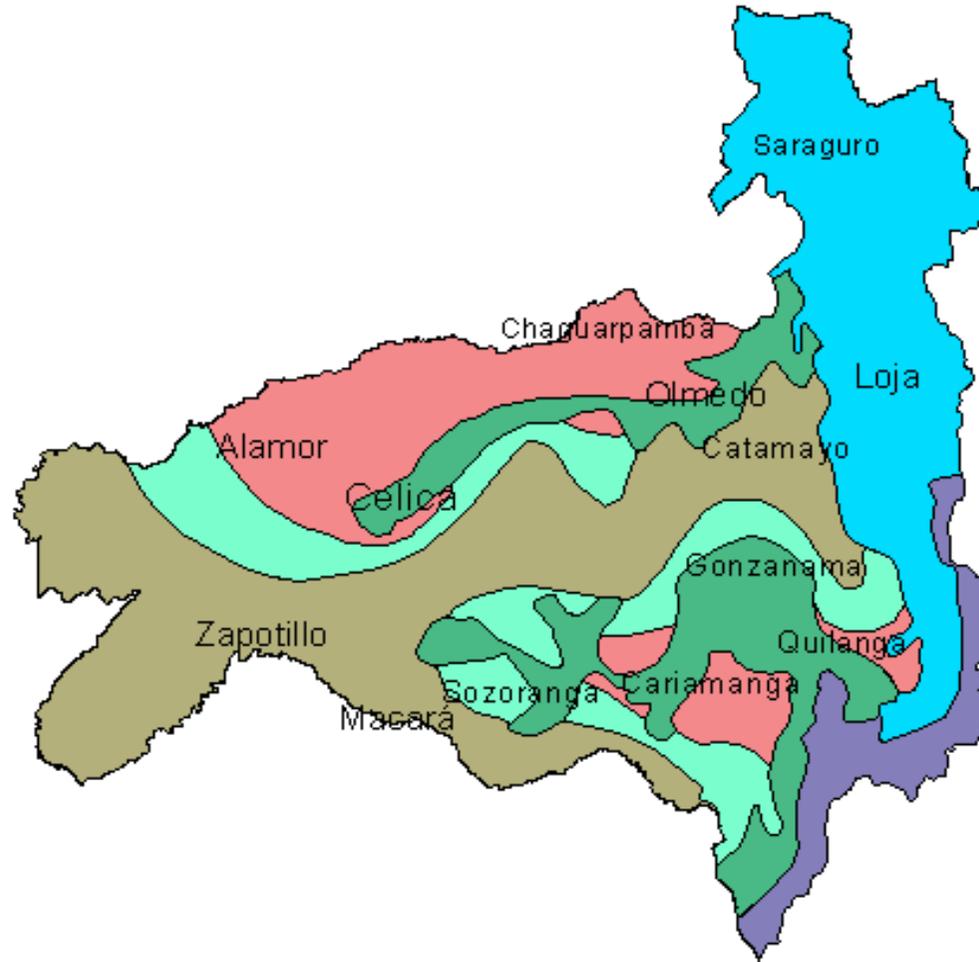


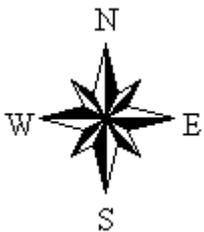
Fig. E.2 Perfil extraído en Excel del enlace Consuelo – Santa Bárbara

ANEXO B.1



ZONIFICACIÓN KOPPEN

	Tropical
	Tropical de altura
	Tropical con lluvias en verano muy caliente
	Templado con invierno seco
	Templado húmedo sin estación seca
	Invierno seco



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Zonificación de climas de la provincia de Loja según Koppen

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Área de Hidrología SIG-UTPL

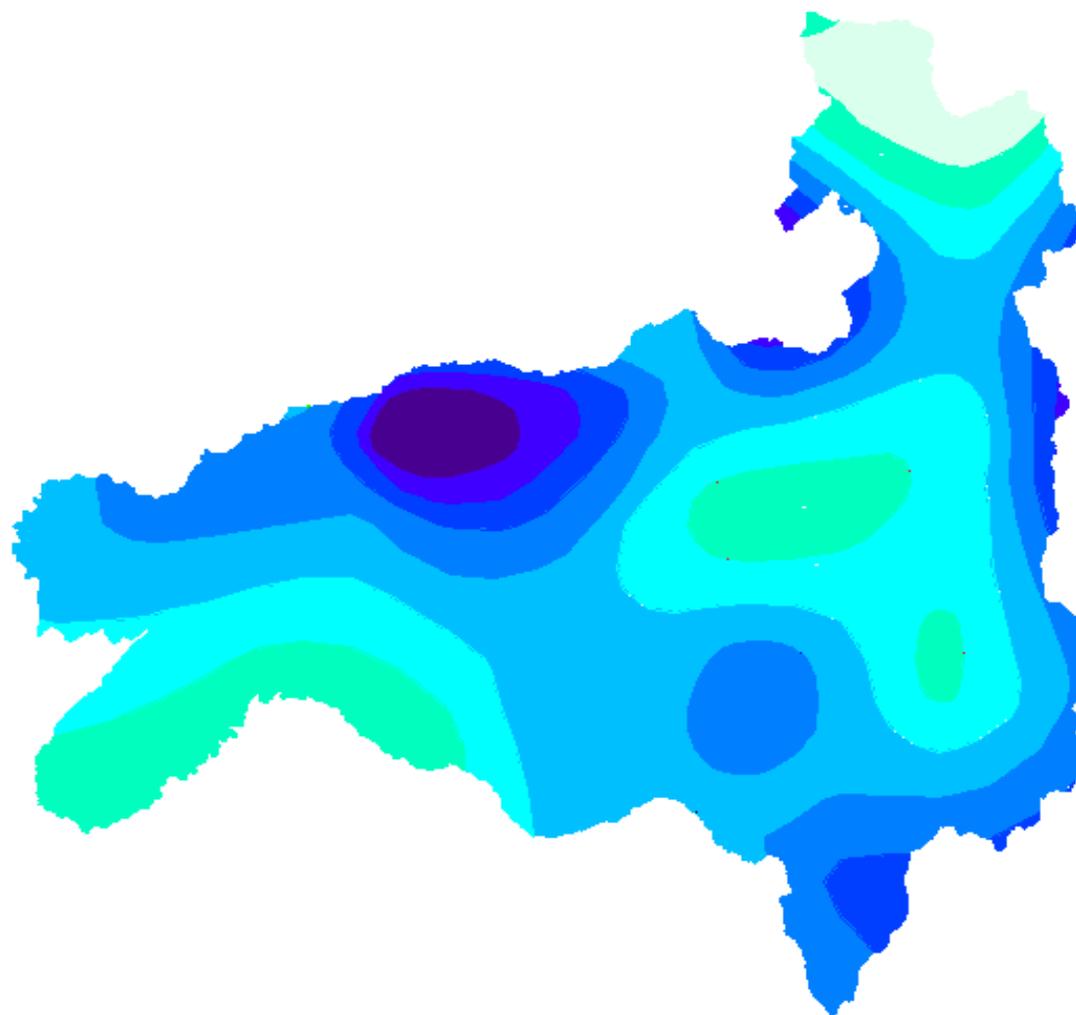
FECHA: 04/10/2003

NUMERO: 1/11

ESCALA: SI () NO (x)

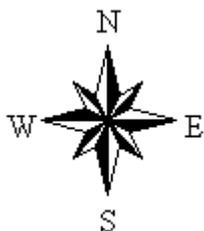


ANEXO B.2



PRECIPITACIONES ANUALES

	0-500mm
	500-750mm
	750-1000mm
	1000-1250mm
	1250-1500mm
	1500-1750mm
	1750-2000mm
	2000-2500mm
	2500-3000mm
	3000-4000mm



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Precipitaciones anuales de la provincia de Loja

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Dept. CIGERS-PREDESUR

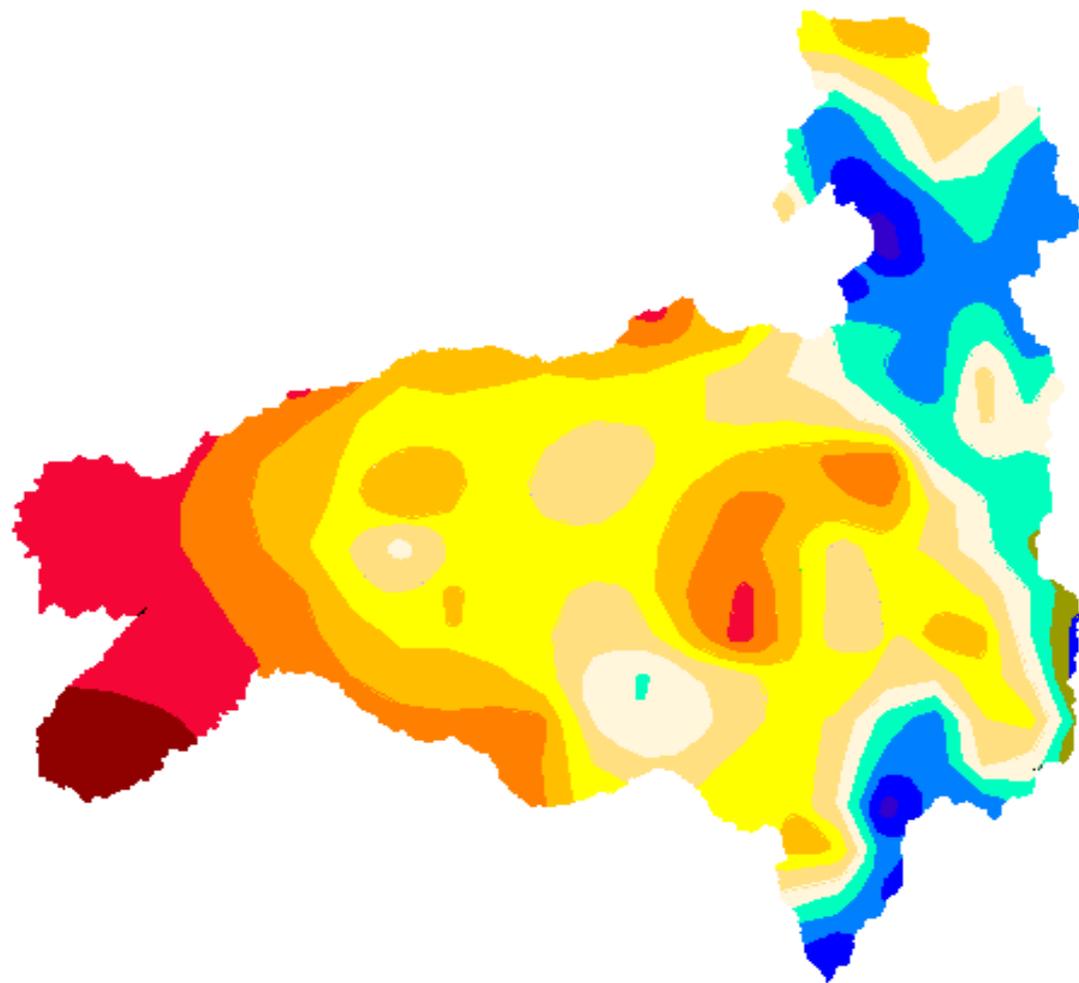
FECHA: 16/05/2001

NUMERO: 2/11

ESCALA: SI () NO (x)

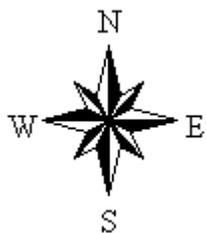


ANEXO B.3



TEMPERATURAS PROMEDIO

	26-28°C
	24-26°C
	22-24°C
	20-22°C
	18-20°C
	16-18°C
	14-16°C
	12-14°C
	10-12°C
	8-10°C
	6-8°C



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Distribución anual de isotermas en la provincia de Loja

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Dept. CIGERS-PREDESUR

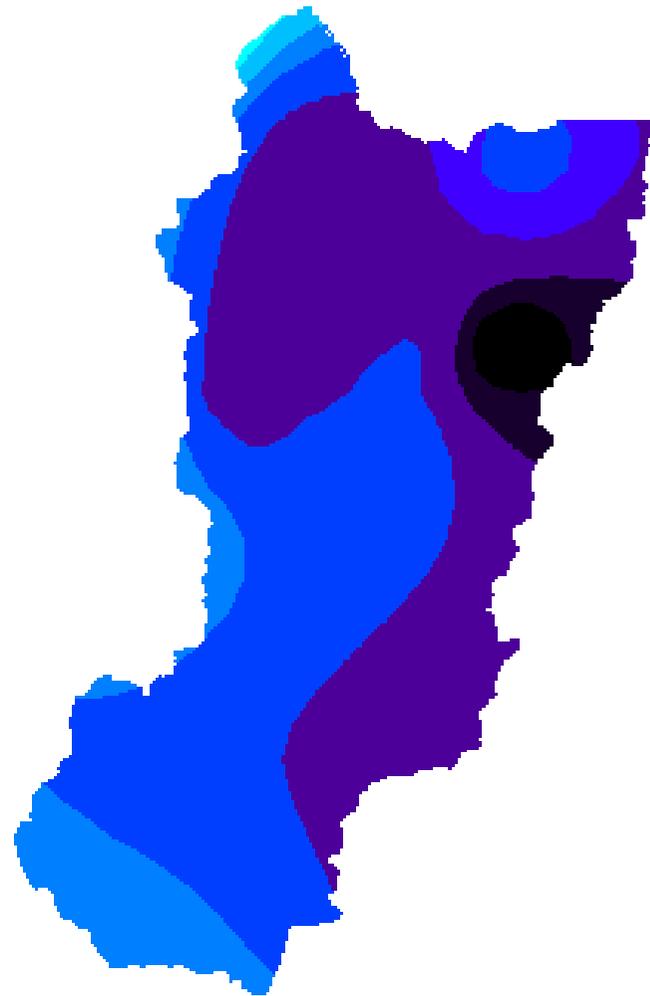
FECHA: 16/05/2001

NUMERO: 3/11

ESCALA: SI () NO (x)



ANEXO B.6



PRECIPITACIONES ANUALES

	0-500mm
	500-750mm
	750-1000mm
	1000-1250mm
	1250-1500mm
	1500-1750mm
	1750-2000mm
	2000-2500mm
	2500-3000mm
	3000-4000mm



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Precipitaciones anuales de la provincia de Zamora Chinchipe

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Dept. CIGERS-PREDESUR

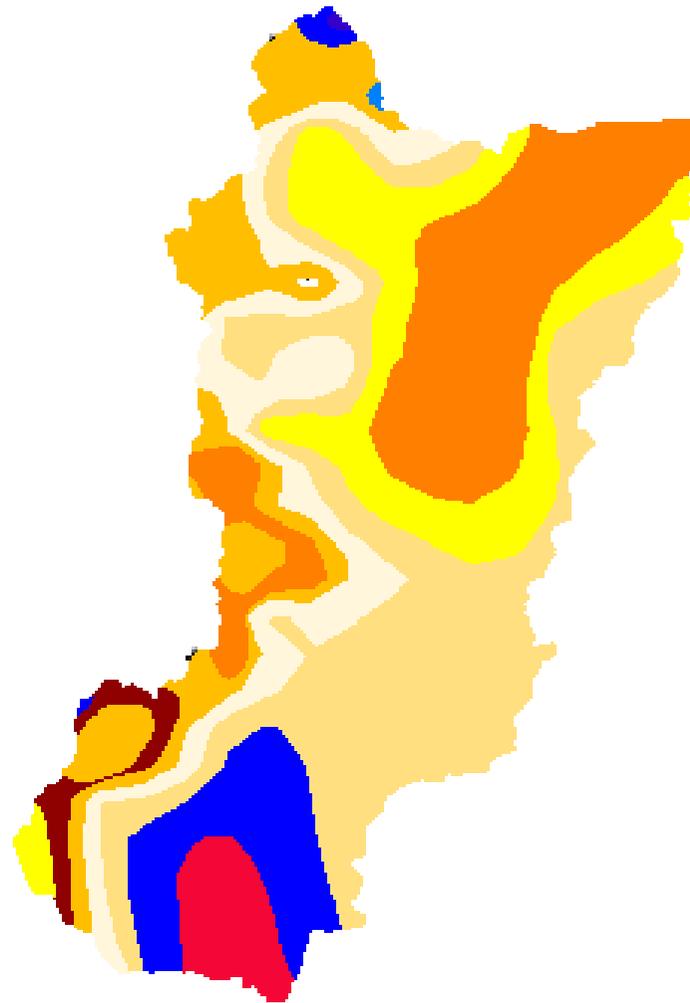
FECHA: 12/08/2002

NUMERO: 6/11

ESCALA: SI () NO (x)

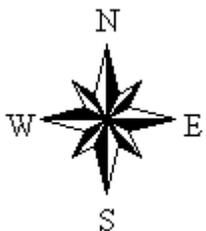


ANEXO B.7



TEMPERATURA PROMEDIO

	26-28°C
	24-26°C
	22-24°C
	20-22°C
	18-20°C
	16-18°C
	14-16°C
	12-14°C
	10-12°C
	8-10°C
	6-8°C



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Distribución anual de isotermas de la provincia de Zamora Chinchipe

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Dept. CIGERS-PREDESUR

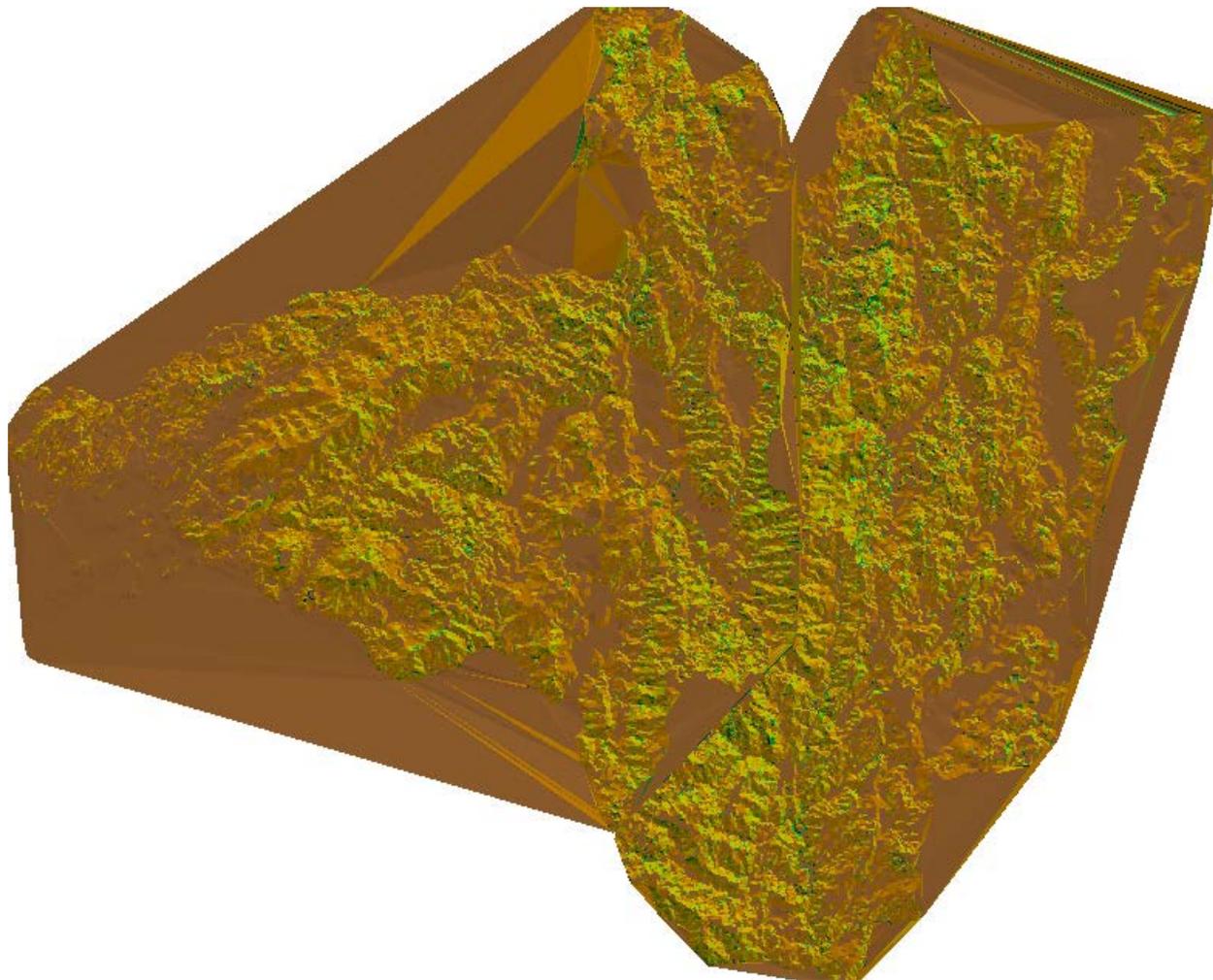
FECHA: 12/08/2002

NUMERO: 7/11

ESCALA: SI () NO (x)

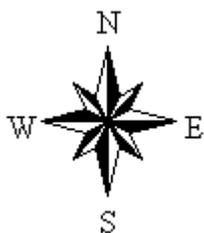


ANEXO B.5



NIVEL DE PENDIENTES

	0-10°
	10-20°
	20-30°
	30-40°
	40-50°
	50-60°
	60-70°
	70-80°
	80-90°



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Mapa de pendientes de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Dorian Pardo

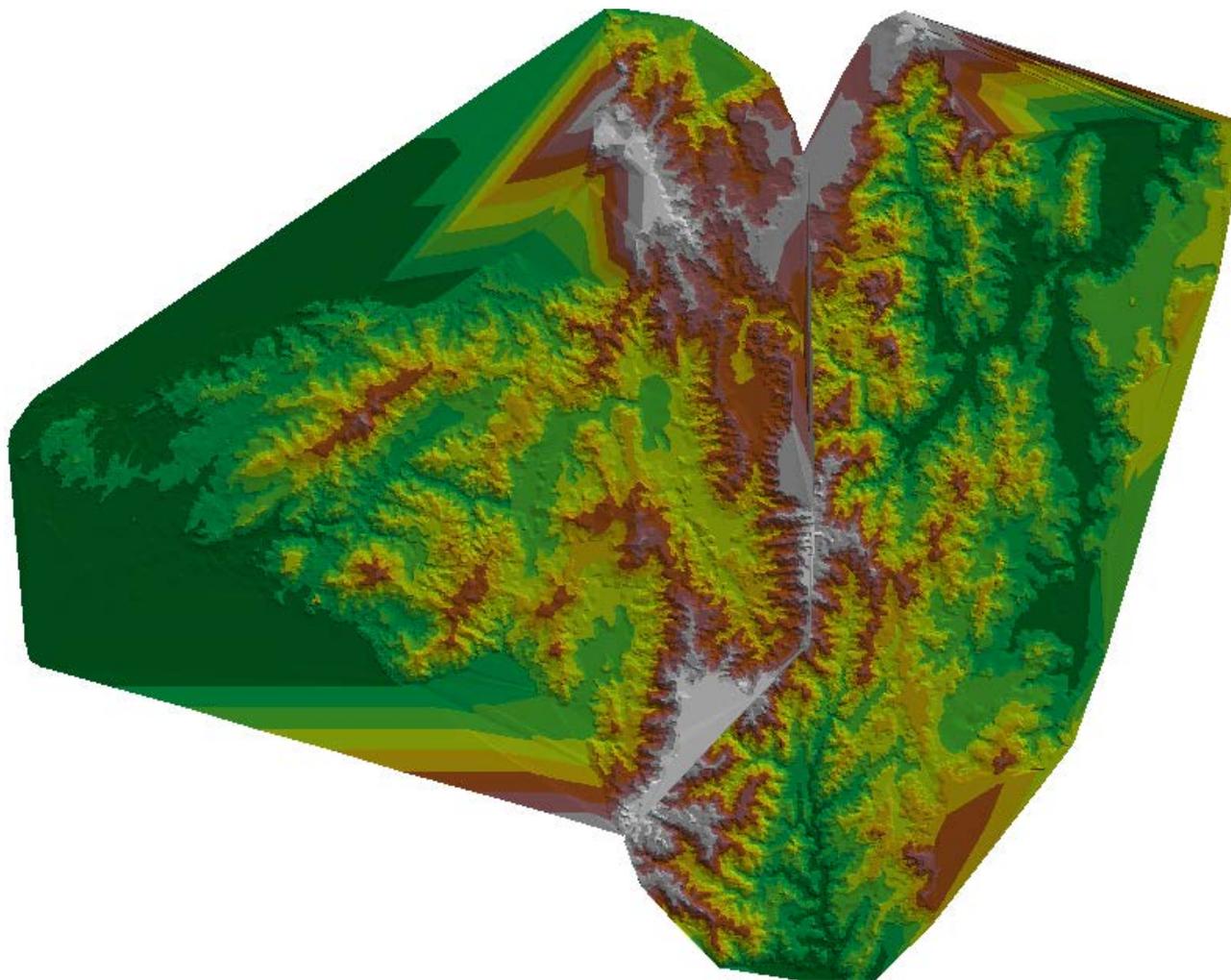
FECHA: 19/05/2009

NUMERO: 5/11

ESCALA: SI () NO (x)



ANEXO B.8



RANGO DE ELEVACIÓN

	3400-3800m
	3000-3400m
	2600-3000m
	2200-2600m
	1800-2200m
	1400-1800m
	1000-1400m
	600-1000m
	200-600m



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Mapa de relieve de alturas de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Dorian Pardo

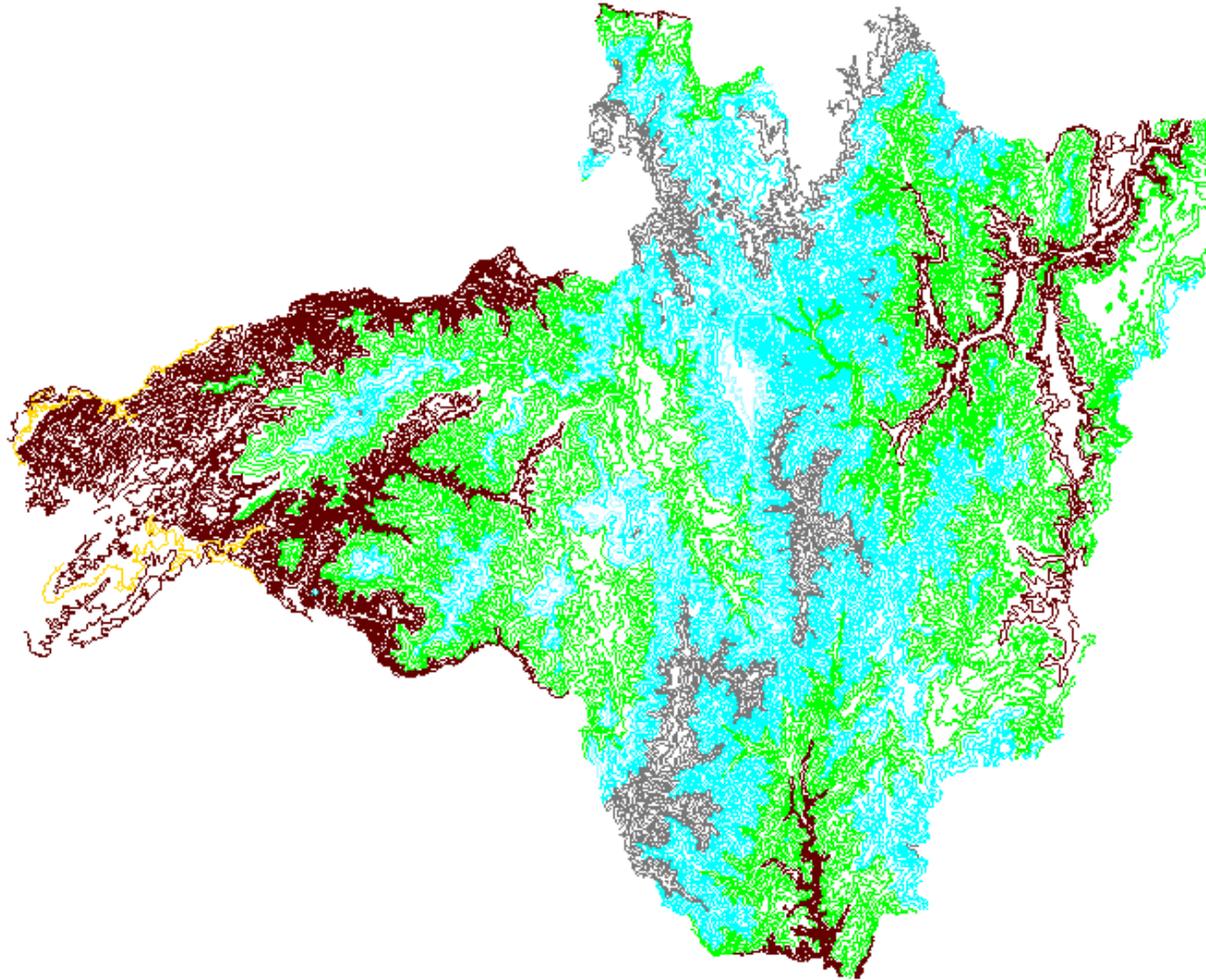
FECHA: 19/05/2009

NUMERO: 8/11

ESCALA: SI () NO (x)

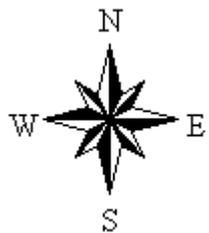


ANEXO B.4



COTAS

	400-1200 msnm.
	1200-1900 msnm.
	1900-2800 msnm.
	> 2800 msnm.



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Zonificación de áreas montañosas, colinosas y onduladas de Loja y Zamora Chinchipe

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Dorian Pardo

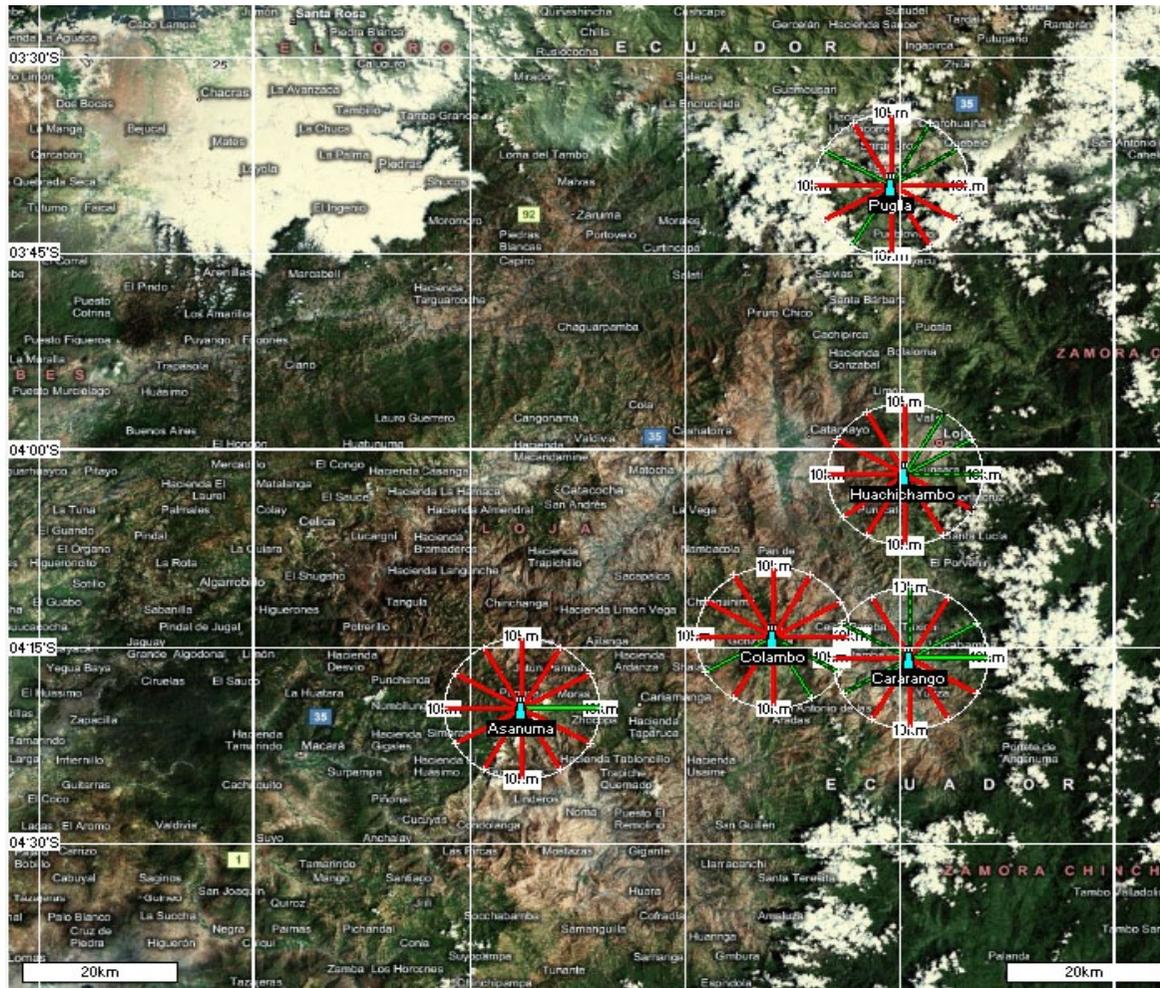
FECHA: 21/05/2009

NUMERO: 4/11

ESCALA: SI () NO (x)

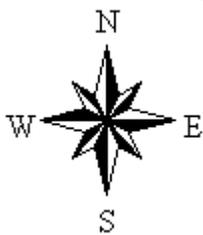


ANEXO D.1



LEYENDA

	Estación base
	Señal de Tx. despejada a 10 km
	Señal de Tx. obstruida 10 km



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Distrib. de propagación en los principales entornos de la prov. de Loja

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Fernando Loján

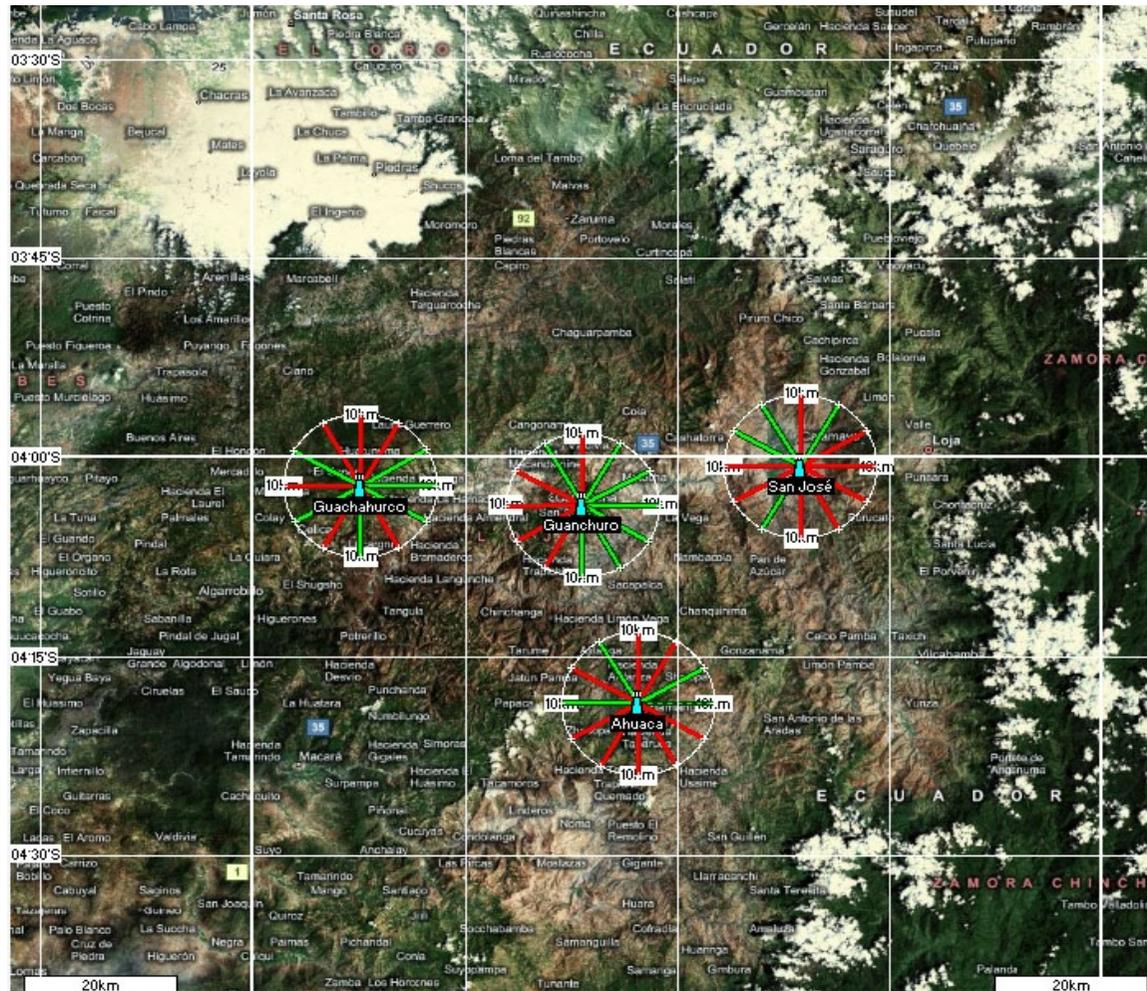
FECHA: 15/06/2009

NUMERO: 9/11

ESCALA: SI () NO (x)

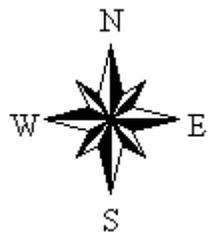


ANEXO D.1



LEYENDA

	Estación base
	Señal de Tx. despejada a 10 km
	Señal de Tx. obstruida 10 km



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Distrib. de propagación en los principales entornos de la prov. de Loja

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Fernando Loján

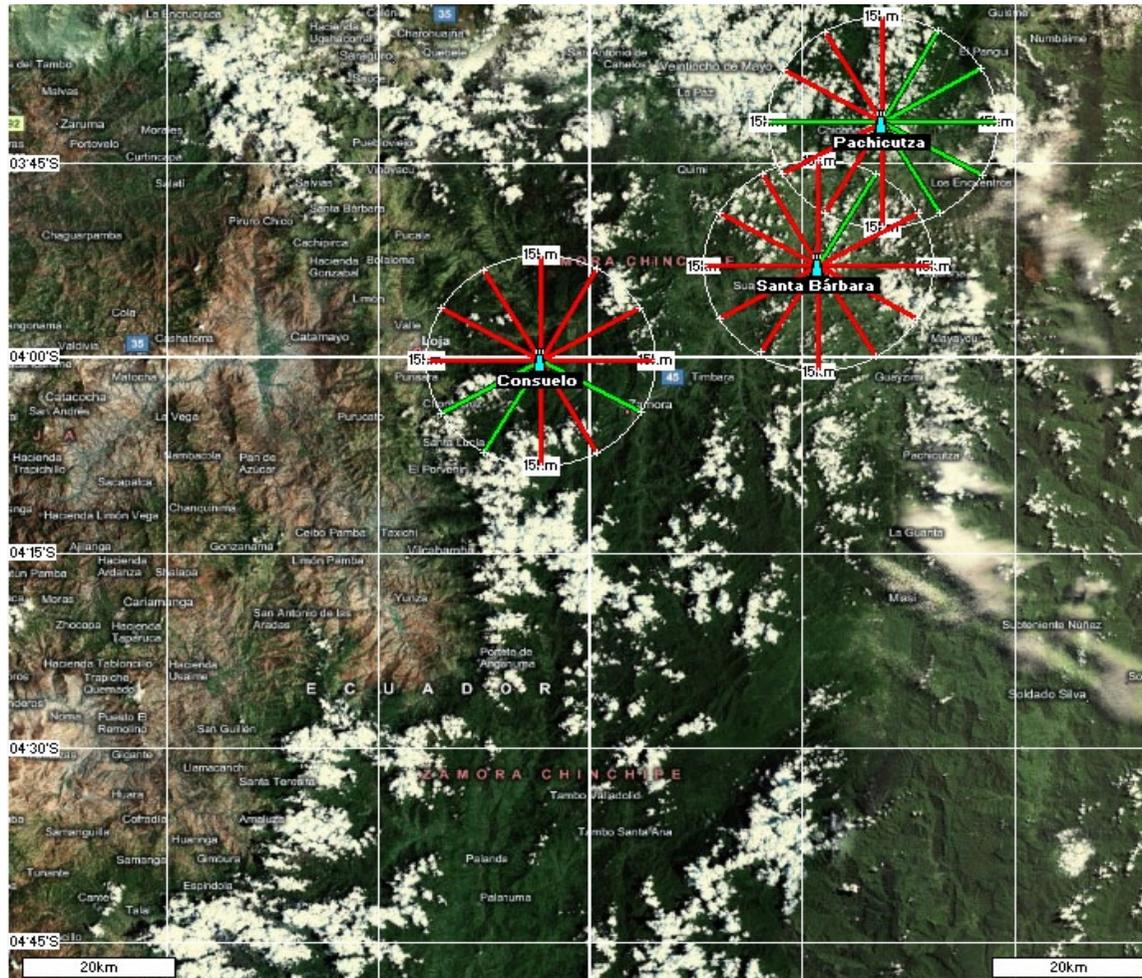
FECHA: 15/06/2009

NUMERO: 10/11

ESCALA: SI () NO (x)

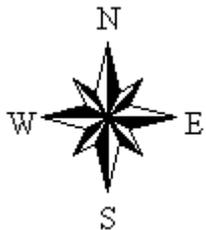


ANEXO D.2



LEYENDA

	Estación base
	Señal de Tx. despejada a 15 km
	Señal de Tx. obstruida 15 km



TÍTULO: ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

CONTENIDO: Distrib. de propagación en los principales entornos de la prov. de Zamora

REVISADO: Ing. Patricia Ludeña

DIBUJO: Fernando Loján

FECHA: 24/06/2009

NUMERO: 11/11

ESCALA: SI () NO (x)



ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

<Fernando Loján, Bolívar Ochoa, Dórian Pardo.>

e-mail: fmlojanx@utpl.edu.ec ; bfochoax@utpl.edu.ec ; dipardox@utpl.edu.ec

Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones

Av. Marcelino Champagnat, Sector: San Cayetano Alto, Loja, Ecuador.

Resumen – *El presente artículo muestra la definición de entornos geográficos para las provincias de Loja y Zamora Chinchipe con la tecnología inalámbrica más conveniente para cada entorno. Para este propósito se sobrelapó mapas de precipitaciones, curvas de nivel; considerando además las condiciones climáticas de ambas provincias; definiendo así entornos geográficos, los mismos que comparten similares características de los parámetros antes mencionados. Además se indican aspectos relevantes y diferencias entre las tecnologías inalámbricas de Wifi, Wimax y Mesh. Luego de las simulaciones de los enlaces se recomienda la tecnología adecuada para cada entorno, definiendo una estructura óptima para la implementación, inclusión y conectividad de zonas rurales.*

Abstract – *The present article show an excerpts about geography place for Loja and Zamora Chinchipe provinces, with wireless technology more advantage. For these reasons, we have surrounded precipitation, temperature and height maps; besides climate conditions both provinces; defined thus geography places, these places share the same characteristics of parameters before mentioned. After wireless link simulations are recommending the most convenient technology.*

Palabras clave – *Entorno geográfico, pendientes, precipitaciones, radio enlace, Wifi, Wimax, Mesh.*

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en la inclusión tecnológica en las zonas urbano – rurales de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, con las tecnologías inalámbricas Wifi, Wimax y Mesh. El objetivo principal es definir diferentes entornos geográficos que posean algunas características en común, para luego recomendar el uso de una tecnología inalámbrica que se adapte mejor al entorno.

Hoy en día la limitación de distancia, topografía de la zona, costos de instalación e implementación, entre otras, impuestas por las soluciones cableadas imposibilita a muchos usuarios el acceso a los distintos servicios, principalmente el Internet, especialmente en zonas rurales que prestan dichas tecnologías.

Desde este punto de vista sólo pueden cobrar un sentido de real utilidad las tecnologías inalámbricas en la medida que permiten acceder a los canales de comunicación e integración, cuyo mayor exponente es el Internet.

I. CORRELACIÓN DE PARÁMETROS Y DEFINICIÓN DE ENTORNOS

1.-“Precipitaciones.- Partículas de agua en cualquier forma que caen de la atmósfera a la superficie, los principales tipos de precipitación: lluvia, rocío, nieve, granizo, niebla, expresada en milímetros.

2.-Temperatura.- Magnitud referida a la cantidad de frío o calor, expresada en energía presente en una sustancia expresada en Grados centígrados (°C).

3.-Altura: Elevación de cualquier cuerpo sobre el nivel del mar, expresada en m.s.n.m.

4.-Pendientes: Inclinación que tiene el terreno con respecto a un plano, expresada en grados o porcentajes.” [1]

“El clima de la provincia de Loja es temperado-ecuatorial subhúmedo. Con una temperatura media del aire de 16°C”. [2]

Las precipitaciones promedio anuales para esta provincia oscilan alrededor de 1000mm y con elevaciones mínimas de 400msnm y máximas de 3600msnm [3]

En la provincia de Zamora Chinchipe el clima es húmedo y semihúmedo modificado por la altura de los terrenos y la presencia de vientos, humedad y

lluvia. La temperatura promedio es de 18°C casi uniforme en toda su extensión. Elevaciones mínimas de 700msnm y máximas de 3600msnm y precipitaciones promedio anuales de 2500 a 3000 mm; siendo en la mayor parte del año uniformes. [4]

Correlación de parámetros de la provincia de Loja

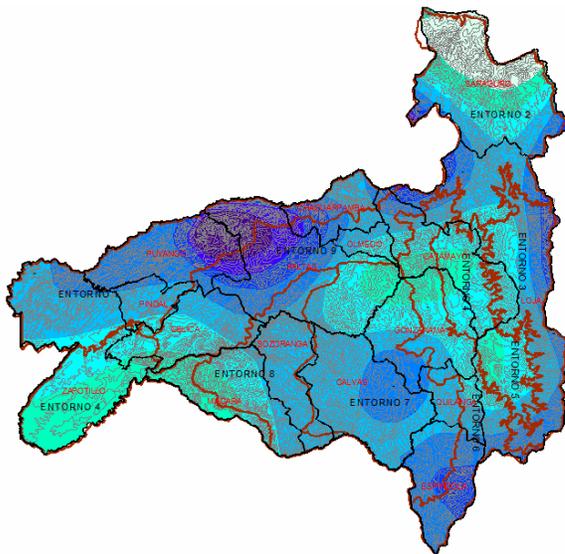


Fig .1 Mapa de la provincia de Loja, isoyetas, curvas de nivel, poblados y división política. [3]

Correlación de parámetros de la provincia de Zamora Chinchipe

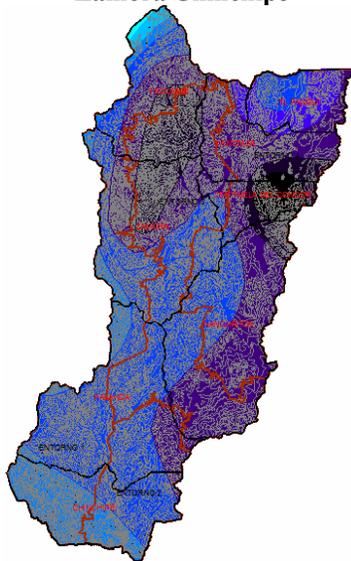


Fig.2 Mapa de la provincia de Zamora Chinchipe, isoyetas, curvas de nivel, poblados y división política.

SIMBOLOGÍA	NOMBRE
	ENTORNOS GEOGRAFICOS
	DIVISION POLITICA
	CURVAS DE NIVEL
PRECIPITACIONES	
	0-500 mm
	500-750 mm
	750-1000 mm
	1000-1250 mm
	1250-1500 mm
	1500-1750 mm
	1750-2000 mm
	2000-2500 mm
	2500-3000 mm
	3000-4000 mm

Mapa de entornos geográficos. Provincia de Loja

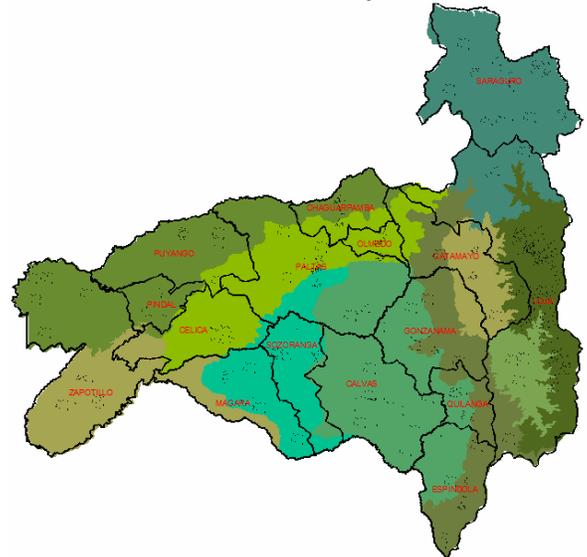


Fig.3 Entornos geográficos, poblados y división política

SIMBOLOGÍA	NOMBRE
	ENTORNOS GEOGRAFICOS
	DIVISION POLITICA
	ENTORNO 1
	ENTORNO 2
	ENTORNO 3
	ENTORNO 4
	ENTORNO 6
	ENTORNO 6
	ENTORNO 7
	ENTORNO 8
	ENTORNO 9
	POBLACION

Provincia de Zamora Chinchipe



Fig.4 Entornos geográficos, poblados y división política

SIMBOLOGÍA	NOMBRE
	ENTORNOS GEOGRAFICOS
	DIVISION POLITICA
	ENTORNO 1
	ENTORNO 2
	ENTORNO 3
	ENTORNO 4
	POBLACION

II. DIFERENCIAS TECNOLÓGICA

Tabla 1. Diferencias entre tecnologías [5],[6],[7]

Tecnología	AB de Canal (MHz)	Distancia (Km.)	Velocidad (Mbps)	Frecuencia (GHz)
802,11	20	hasta 0,3	.11a 54 .11b 11 .11g 54	.11a 5.8 .11b 2.4 .11g 2.4
802,16-2004	1,5-20	Hasta 9 NLOS Hasta 50 LOS	75	5.8, 3.5
802,11s	20	0,1	54	2,4
Tecnología	Usuarios	Entornos	Encriptación	Costo
802,11	cientos	WLAN interiores	AES en 802.11i, RC4 opcional	Bajo

802,16-2004	miles	WMAN	3DES, AES	Medio alto
802,11s	Depende del # de nodos y capacidad de equipos	Urbanos	VPN	Elevado

II

III. SELECCIÓN DE NODOS

Tabla 2. Estaciones de radio enlace provincia de Loja

Cerro	Coordenada	Altura (msnm)	Cantón
Huachichambo	04°1' 54,2"S 79°14'38,6"W	2823	Loja
Colambo	04° 14' 10"S 79° 23' 55"W	3083	Gonzanamá
Puglla	03°39'45"S 79°15'36"W	3227	Saraguro
Guanchuro	04°03'38"S 79°36'42"W	2366	Paltas
Asanuma	4° 19' 44"S 79° 41' 24"W	2623	Sosoranga
Huachahurco	4° 02' 06"S 79° 52' 25"W	3066	Celica

Tabla 3. Estaciones de radio enlace provincia de Zamora Chinchipe

Cerro	Coordenada	Altura (msnm)	Cantón
Consuelo	03°52'53"S 78°43'53"W	3078	Zamora
Santa Bárbara	03°52'53"S 78°43'53"W	1665	Centinela del Cóndor
Pachicutza	03°41'54"S 78°39'20"W	2213	Yantzaza
Chivato	3° 42' 34.9" S 78° 57' 25.5" W	2272	Yacuambi

IV. PARÁMETROS DE ENTORNO

Los parámetros del entorno describen estadísticamente las características del lugar en donde operará el sistema. Estos parámetros son independientes del sistema de radio, pero son tomados en cuenta al momento de realizar el presupuesto del enlace.

Tabla. 4 Factor de rugosidad, pendientes y alturas en la provincia de Loja

Entorno geográfico	Alturas (m.s.n.m)	Pendiente (grados)	(η)
1	500 - 1200	18,64 - 7,960	1,94
2	2000 -3000	55,93 - 5,250	0,25
3	2000- 2800	37,28 - 46,60	1,07
4	200 – 1600	0,000 - 5,000	3,00
5	1600- 2000	4,000 - 9,320	2,77
6	2000-3000	46,60 - 5,930	0,66
7	1000- 2400	9,320 - 18,64	2,35
8	500 - 1600	37,28 - 46,60	1,07
9	600 - 2800	27,96 - 37,28	1,53

Tabla. 5 Factor de rugosidad, pendientes y alturas en la provincia de Zamora Chinchipe

Entorno geográfico	Alturas (m.s.n.m)	Pendiente (grados)	(η)
1	200-3800	60-70	0,25
2	1000-2600	50-60	0,48
3	800-2000	30-40	1,39
4	900-2400	40-50	0,94

V. PRUEBAS DE RADIOENLACE

Para determinar el comportamiento de las tecnologías inalámbricas en cada entorno geográfico de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe se procedió a las pruebas de radioenlace, para esto se desarrolló una base de datos para el cálculo de balance de un sistema en Excel, el mismo que calcula las pérdidas totales del enlace, potencia de recepción, margen de desvanecimiento, atenuación por gases atmosféricos, atenuación por vapor de agua, zonas de Fresnel; ingresando previamente las características del equipo, como el umbral de recepción, frecuencia, ganancias de la antenas de transmisión como de recepción y la distancia del enlace.

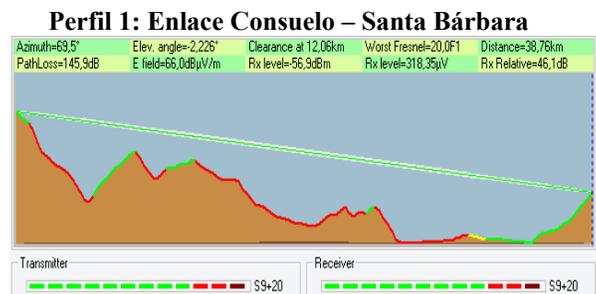
El objetivo de las simulaciones es comprobar cómo se comporta cada entorno geográfico a la frecuencia de 2.4GHz y 5.8GHz y cuáles son las pérdidas obtenidas en cada frecuencia para cada uno de los entornos y así escoger la tecnología más conveniente para cada uno de los mismos.

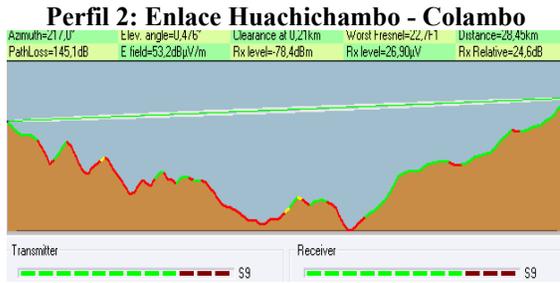
Para comprobar los cálculos obtenidos, se ha hecho uso de software libre Radio Mobile Deluxe Versión 7.7.2, el cual emplea el modelo de Longley-Rice ó ITS Irregular Terrain Model, realizando estimaciones geométricas sobre el camino de propagación, este programa es compatible con las bases de datos de elevación de terreno SRTM, DTED, GTOPO30, GLOBE y BIL.

Para la selección de las especificaciones técnicas de los equipos para las pruebas de enlaces se consideró distintos fabricantes. Muchos fabricantes tales como APERTO, TELSIMA, ZYXE, WAVESAT, NAVINI fueron descartados por el hecho de que solo son útiles para 802.16-2005, no trabajan en las bandas que se requieren para nuestras simulaciones. Luego del análisis entre los diferentes equipos tomando en cuenta sus características técnicas; especialmente potencia de transmisión, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, frecuencia de operación, alcance; se consideraron principalmente tres fabricantes:

- Alvarion
- Airspan
- Proxim
- Motorola
- Netkrom

A continuación se muestra alguno de los perfiles realizados en las simulaciones:





VI. ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA ENTORNOS

Tabla 6. RESUMEN – Selección de tecnología para cada entorno geográfico en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe

Provincia de Loja			
Entorno	Tecnología Inalámbrica		Frec.(GHz)
1	Wifi		5,8
2	Wimax		5,8
3	Wimax		5,8
4	Wifi		5,8
5	Wifi		2,4
6	Wimax		5,8
7	Wimax		5,8
8	Wifi		2,4
9	Wimax		5,8
Provincia de Zamora Chinchipe			
1	Wimax		5,8
2	Wifi		2,4
3	Wimax		5,8
4	Wimax		5,8

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se han definido 9 entornos para la provincia de Loja, debido a la gran diversidad topográfica, climática y meteorológica.
- En la provincia de Zamora Chinchipe se ha definido cuatro entornos, de los cuales todos presentan condiciones adversas para ofrecer una buena comunicación.

- El entorno 2 de la provincia de Loja es un entorno poco favorable para la implementación de un sistema de comunicación.
- El entorno 4 de la provincia de Loja presenta buenas condiciones de propagación. Debido al bajo nivel de precipitaciones especialmente en los meses de junio a septiembre llegando casi hasta 0mm, mientras que para los meses de febrero a abril se presenta el mayor índice de lluvias llegando hasta los 70mm en Catamayo y a los 120mm en Zapotillo, pero esto no es significativo puesto que el índice anual para este entorno promedia los 500mm. Además, este entorno cuenta con un bajo índice de rugosidad y buenas condiciones climáticas que lo hace uno de los entornos más favorables para una comunicación confiable.

- Para los enlaces se han definido tres tipos de subsistemas para tener una mejor eficiencia en el consumo de potencia:

Sistema de corto alcance: definido para menores a 10 Km, con una potencia de transmisión de 20dBm a una frecuencia de 5,875GHz y antenas de 17dBi.

Sistema de alcance medio: Para cubrir distancias de 10Km a 30 Km., con una potencia de transmisión de 25dBm, y antenas parabólicas direccionales de 23dBi, a la frecuencia de 5.785GHz.

Sistema de Largo alcance: Para enlaces cuyas distancias sean superiores a 40Km, con potencia de transmisión de 30dBm y antenas parabólicas direccionales 30dBi a la frecuencia de 2.4GHz.

- La temperatura promedio de cada entorno geográfico de ambas provincias no es un factor preponderante a la hora de la definición de los mismos; pero si lo son al momento de la simulación de los enlaces para cada entorno.

Justificación: La temperatura contribuye a las pérdidas de un radio enlace, esto, como se muestra en el anexo E, en el que las pérdidas dependen de la temperatura, aunque no en gran medida; mientras que para la definición de los entornos uno de los parámetros que se consideró es la zonificación climática de Koppen.

- Para las simulaciones no se utilizó las precipitaciones como tal para el balance del sistema, estas sirven para dimensionar el margen de desvanecimiento y definición en cada entorno.

- Mesh no se ha considerado una buena opción en ninguno de los 13 entornos.

- El entorno 2 en la provincia de Loja, la tecnología inalámbrica que mejor se adapta es Wimax
- Este entorno posee un relieve bastante irregular (65° de inclinación), además en este entorno se encuentran las mayores elevaciones (2000-3000 m.s.n.m) debido a la cordillera andina.
- Para la selección de la tecnología inalámbrica en cada entorno geográfico en los que existe demasiada vegetación, alto índice de precipitaciones, largas distancias, demasiadas irregularidades en el terreno, principalmente para Zamora Chinchipe ($\eta=0,25$), se ha elegido Wimax por su buen performance en entornos de vegetación densa en los que no existe línea de vista, esto por su esquema de modulación OFDMA.
- Hacer un estudio de energías alternativas, para zonas geográficas estratégicas para la instalación de radio bases, principalmente para el entorno geográfico 3 de la provincia de Zamora Chinchipe, en el que el acceso es difícil y en ciertos sectores no llega la energía eléctrica
- Diseñar un software especializado con los valores de los parámetros que se utilizaron para la definición de los entornos geográficos; esta información será lo suficientemente útil para el diseño de un enlace.
- El cerro Loma de la Conga ubicado en las coordenadas 4° 2' 3.3" S 78°56'50.3" W a 1726 m de altura en la provincia de Zamora Chinchipe presenta condiciones ventajosas; por existir línea de vista para cubrir todo el cantón Zamora, vía de acceso y energía eléctrica; por lo que es un buen punto para el diseño de un enlace en Zamora.
- En Ecuador se presentan dificultades en la estandarización del espacio radioeléctrico, que frecuentemente está cambiando. Se recomienda gestionar el espectro radioeléctrico en la que se defina claramente las frecuencias que se puedan utilizar para tecnologías inalámbricas especialmente para Wimax en la que aún no se ha definido claramente.
- Utilizar los equipos Airspan en el entorno 3 en la provincia de Zamora Chinchipe debido a que estos tiene un gran margen de umbral de recepción (-103dBm).

- Para la mayor parte de los entornos geográficos de Loja y Zamora Chinchipe no se recomienda la topología Mesh, por su considerable costo y principalmente porque puede ser reemplazada con otras tecnologías inalámbricas o de 3G con mejores beneficios.

VII. REFERENCIAS

- [1]. Gondard, Pierre. Ritmos pluviométricos y contraste climáticos en la provincia de Loja. pp 41-47, 73, 74 , vol 5, julio 1985.
- [2] INERHI - PREDESUR – CONADE. “Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja”. pp 62, 64, 71. 1994.
- [3] Área de hidrología, departamento SIG, UTPL.
- [4] Predesur. Departamento del Sigers.
- [5] Intel. “De que manera entender Wifi y Wimax como soluciones de acceso para áreas metropolitanas” pp 10-14, 2003.
- [6] Buttrich, Sebastian.” Mesh.”, pp 21-23, Julio 2007.
- [7] LIBERA. “3G vs. Tecnologías Inalámbricas Emergentes “, pp 15-45. 2006

ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES

<Fernando Loján, Bolívar Ochoa, Dórian Pardo.>

e-mail: fmlojanx@utpl.edu.ec ; bfochoax@utpl.edu.ec ; dipardox@utpl.edu.ec

Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones

Av. Marcelino Champagnat, Sector: San Cayetano Alto, Loja, Ecuador.

Resumen – *El presente artículo muestra la definición de entornos geográficos para las provincias de Loja y Zamora Chinchipe con la tecnología inalámbrica más conveniente para cada entorno. Para este propósito se sobrelapó mapas de precipitaciones, curvas de nivel; considerando además las condiciones climáticas de ambas provincias; definiendo así entornos geográficos, los mismos que comparten similares características de los parámetros antes mencionados. Además se indican aspectos relevantes y diferencias entre las tecnologías inalámbricas de Wifi, Wimax y Mesh. Luego de las simulaciones de los enlaces se recomienda la tecnología adecuada para cada entorno, definiendo una estructura óptima para la implementación, inclusión y conectividad de zonas rurales.*

Abstract – *The present article show an excerpts about geography place for Loja and Zamora Chinchipe provinces, with wireless technology more advantage. For these reasons, we have surrounded precipitation, temperature and height maps; besides climate conditions both provinces; defined thus geography places, these places share the same characteristics of parameters before mentioned. After wireless link simulations are recommending the most convenient technology.*

Palabras clave – *Entorno geográfico, pendientes, precipitaciones, radio enlace, Wifi, Wimax, Mesh.*

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en la inclusión tecnológica en las zonas urbano – rurales de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, con las tecnologías inalámbricas Wifi, Wimax y Mesh. El objetivo principal es definir diferentes entornos geográficos que posean algunas características en común, para luego recomendar el uso de una tecnología inalámbrica que se adapte mejor al entorno.

Hoy en día la limitación de distancia, topografía de la zona, costos de instalación e implementación, entre otras, impuestas por las soluciones cableadas imposibilita a muchos usuarios el acceso a los distintos servicios, principalmente el Internet, especialmente en zonas rurales que prestan dichas tecnologías.

Desde este punto de vista sólo pueden cobrar un sentido de real utilidad las tecnologías inalámbricas en la medida que permiten acceder a los canales de comunicación e integración, cuyo mayor exponente es el Internet.

I. CORRELACIÓN DE PARÁMETROS Y DEFINICIÓN DE ENTORNOS

1.-“Precipitaciones.- Partículas de agua en cualquier forma que caen de la atmósfera a la superficie, los principales tipos de precipitación: lluvia, rocío, nieve, granizo, niebla, expresada en milímetros.

2.-Temperatura.- Magnitud referida a la cantidad de frío o calor, expresada en energía presente en una sustancia expresada en Grados centígrados (°C).

3.-Altura: Elevación de cualquier cuerpo sobre el nivel del mar, expresada en m.s.n.m.

4.-Pendientes: Inclinación que tiene el terreno con respecto a un plano, expresada en grados o porcentajes.” [1]

“El clima de la provincia de Loja es temperado-ecuatorial subhúmedo. Con una temperatura media del aire de 16°C”. [2]

Las precipitaciones promedio anuales para esta provincia oscilan alrededor de 1000mm y con elevaciones mínimas de 400msnm y máximas de 3600msnm [3]

En la provincia de Zamora Chinchipe el clima es húmedo y semihúmedo modificado por la altura de los terrenos y la presencia de vientos, humedad y

lluvia. La temperatura promedio es de 18°C casi uniforme en toda su extensión. Elevaciones mínimas de 700msnm y máximas de 3600msnm y precipitaciones promedio anuales de 2500 a 3000 mm; siendo en la mayor parte del año uniformes. [4]

Correlación de parámetros de la provincia de Loja

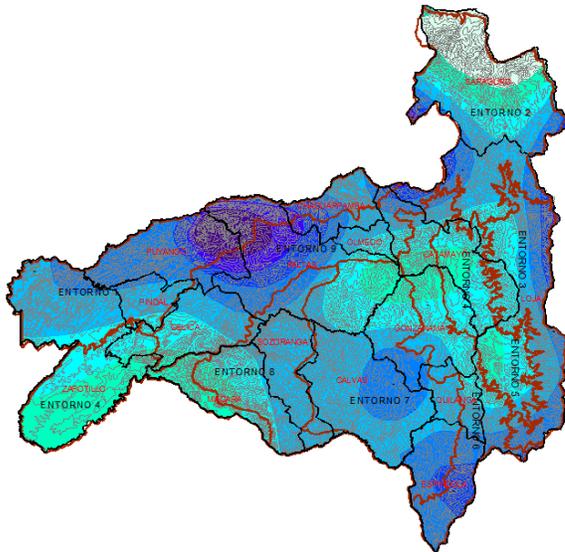


Fig .1 Mapa de la provincia de Loja, isoyetas, curvas de nivel, poblados y división política. [3]

Correlación de parámetros de la provincia de Zamora Chinchipe

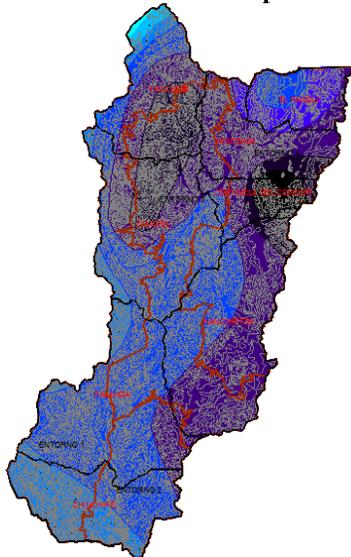


Fig.2 Mapa de la provincia de Zamora Chinchipe, isoyetas, curvas de nivel, poblados y división política.

SIMBOLOGÍA	NOMBRE
	ENTORNOS GEOGRAFICOS
	DIVISION POLITICA
	CURVAS DE NIVEL
PRECIPITACIONES	
	0-500 mm
	500-750 mm
	750-1000 mm
	1000-1250 mm
	1250-1500 mm
	1500-1750 mm
	1750-2000 mm
	2000-2500 mm
	2500-3000 mm
	3000-4000 mm

Mapa de entornos geográficos. Provincia de Loja

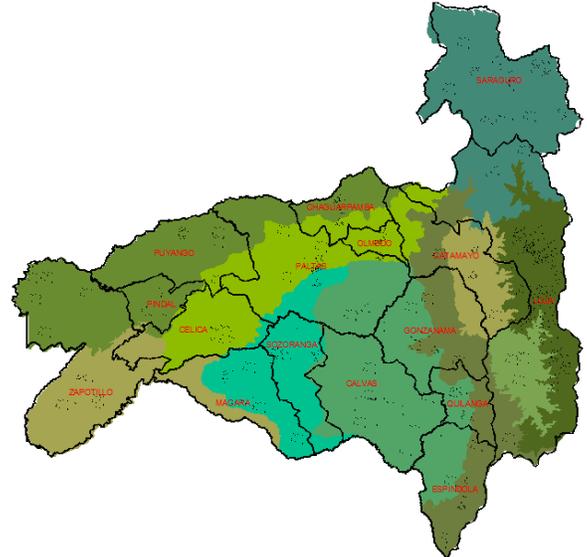


Fig.3 Entornos geográficos, poblados y división política

SIMBOLOGÍA	NOMBRE
	ENTORNOS GEOGRAFICOS
	DIVISION POLITICA
	ENTORNO 1
	ENTORNO 2
	ENTORNO 3
	ENTORNO 4
	ENTORNO 5
	ENTORNO 6
	ENTORNO 7
	ENTORNO 8
	ENTORNO 9
	POBLACION

Provincia de Zamora Chinchipe



Fig.4 Entornos geográficos, poblados y división política

SIMBOLOGIA	NOMBRE
	ENTORNOS GEOGRAFICOS
	DIVISION POLITICA
	ENTORNO 1
	ENTORNO 2
	ENTORNO 3
	ENTORNO 4
	POBLACION

II. DIFERENCIAS TECNOLÓGICA

Tabla 1. Diferencias entre tecnologías [5],[6],[7]

Tecnología	AB de Canal (MHz)	Distancia (Km.)	Velocidad (Mbps)	Frecuencia (GHz)
802,11	20	hasta 0,3	.11a 54 .11b 11 .11g 54	.11a 5.8 .11b 2.4 .11g 2.4
802,16-2004	1,5-20	Hasta 9 NLOS Hasta 50 LOS	75	5.8, 3.5
802,11s	20	0,1	54	2,4
Tecnología	Usuarios	Entornos	Encriptación	Costo
802,11	cientos	WLAN interiores	AES en 802.11i, RC4 opcional	Bajo

802,16-2004	miles	WMAN	3DES, AES	Medio alto
802,11s	Depende del # de nodos y capacidad de equipos	Urbanos	VPN	Elevado

II

III. SELECCIÓN DE NODOS

Tabla 2. Estaciones de radio enlace provincia de Loja

Cerro	Coordenada	Altura (msnm)	Cantón
Huachichambo	04°1' 54,2"S 79°14'38,6"W	2823	Loja
Colambo	04° 14' 10"S 79° 23' 55"W	3083	Gonzanamá
Puglla	03°39'45"S 79°15'36"W	3227	Saraguro
Guanchuro	04°03'38"S 79°36'42"W	2366	Paltas
Asanuma	4° 19' 44"S 79° 41' 24"W	2623	Sosoranga
Huachahurco	4° 02' 06"S 79° 52' 25"W	3066	Celica

Tabla 3. Estaciones de radio enlace provincia de Zamora Chinchipe

Cerro	Coordenada	Altura (msnm)	Cantón
Consuelo	03°52'53"S 78°43'53"W	3078	Zamora
Santa Bárbara	03°52'53"S 78°43'53"W	1665	Centinela del Cóndor
Pachicutza	03°41'54"S 78°39'20"W	2213	Yantzaza
Chivato	3° 42' 34.9" S 78° 57' 25.5" W	2272	Yacuambi

IV. PARÁMETROS DE ENTORNO

Los parámetros del entorno describen estadísticamente las características del lugar en donde operará el sistema. Estos parámetros son independientes del sistema de radio, pero son tomados en cuenta al momento del realizar el presupuesto del enlace.

Tabla. 4 Factor de rugosidad, pendientes y alturas en la provincia de Loja

Entorno geográfico	Alturas (m.s.n.m)	Pendiente (grados)	(η)
1	500 - 1200	18,64 - 7,960	1,94
2	2000 -3000	55,93 - 5,250	0,25
3	2000- 2800	37,28 - 46,60	1,07
4	200 – 1600	0,000 - 5,000	3,00
5	1600- 2000	4,000 - 9,320	2,77
6	2000-3000	46,60 - 5,930	0,66
7	1000- 2400	9,320 - 18,64	2,35
8	500 - 1600	37,28 - 46,60	1,07
9	600 - 2800	27,96 - 37,28	1,53

Tabla. 5 Factor de rugosidad, pendientes y alturas en la provincia de Zamora Chinchipe

Entorno geográfico	Alturas (m.s.n.m)	Pendiente (grados)	(η)
1	200-3800	60-70	0,25
2	1000-2600	50-60	0,48
3	800-2000	30-40	1,39
4	900-2400	40-50	0,94

V. PRUEBAS DE RADIOENLACE

Para determinar el comportamiento de las tecnologías inalámbricas en cada entorno geográfico de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe se procedió a las pruebas de radioenlace, para esto se desarrolló una base de datos para el cálculo de balance de un sistema en Excel, el mismo que calcula las pérdidas totales del enlace, potencia de recepción, margen de desvanecimiento, atenuación por gases atmosféricos, atenuación por vapor de agua, zonas de Fresnel; ingresando previamente las características del equipo, como el umbral de recepción, frecuencia, ganancias de la antenas de transmisión como de recepción y la distancia del enlace.

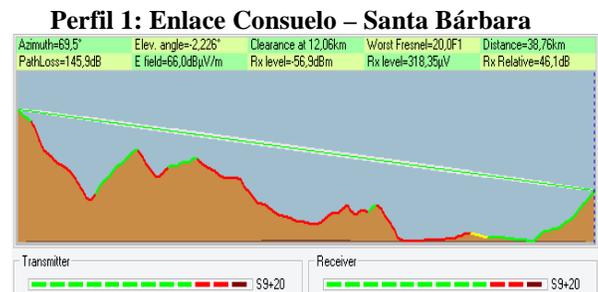
El objetivo de las simulaciones es comprobar cómo se comporta cada entorno geográfico a la frecuencia de 2.4GHz y 5.8GHz y cuáles son las pérdidas obtenidas en cada frecuencia para cada uno de los entornos y así escoger la tecnología más conveniente para cada uno de los mismos.

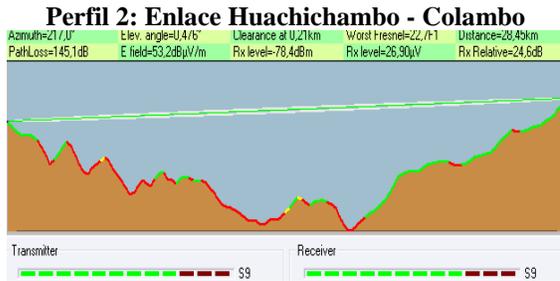
Para comprobar los cálculos obtenidos, se ha hecho uso de software libre Radio Mobile Deluxe Versión 7.7.2, el cual emplea el modelo de Longley-Rice ó ITS Irregular Terrain Model, realizando estimaciones geométricas sobre el camino de propagación, este programa es compatible con las bases de datos de elevación de terreno SRTM, DTED, GTOPO30, GLOBE y BIL.

Para la selección de las especificaciones técnicas de los equipos para las pruebas de enlaces se consideró distintos fabricantes. Muchos fabricantes tales como APERTO, TELSIMA, ZYXE, WAVESAT, NAVINI fueron descartados por el hecho de que solo son útiles para 802.16-2005, no trabajan en las bandas que se requieren para nuestras simulaciones. Luego del análisis entre los diferentes equipos tomando en cuenta sus características técnicas; especialmente potencia de transmisión, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, frecuencia de operación, alcance; se consideraron principalmente tres fabricantes:

- Alvarion
- Airspan
- Proxim
- Motorola
- Netkrom

A continuación se muestra alguno de los perfiles realizados en las simulaciones:





VI.ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA ENTORNOS

Tabla 6. RESUMEN – Selección de tecnología para cada entorno geográfico en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe

Provincia de Loja			
Entorno	Tecnología Inalámbrica		Frec.(GHz)
1	Wifi		5,8
2	Wimax		5,8
3	Wimax		5,8
4	Wifi		5,8
5	Wifi		2,4
6	Wimax		5,8
7	Wimax		5,8
8	Wifi		2,4
9	Wimax		5,8
Provincia de Zamora Chinchipe			
1	Wimax		5,8
2	Wifi		2,4
3	Wimax		5,8
4	Wimax		5,8

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se han definido 9 entornos para la provincia de Loja, debido a la gran diversidad topográfica, climática y meteorológica.
- En la provincia de Zamora Chinchipe se ha definido cuatro entornos, de los cuales todos presentan condiciones adversas para ofrecer una buena comunicación.

- El entorno 2 de la provincia de Loja es un entorno poco favorable para la implementación de un sistema de comunicación.
- El entorno 4 de la provincia de Loja presenta buenas condiciones de propagación. Debido al bajo nivel de precipitaciones especialmente en los meses de junio a septiembre llegando casi hasta 0mm, mientras que para los meses de febrero a abril se presenta el mayor índice de lluvias llegando hasta los 70mm en Catamayo y a los 120mm en Zapotillo, pero esto no es significativo puesto que el índice anual para este entorno promedia los 500mm. Además, este entorno cuenta con un bajo índice de rugosidad y buenas condiciones climáticas que lo hace uno de los entornos más favorables para una comunicación confiable.

- Para los enlaces se han definido tres tipos de subsistemas para tener una mejor eficiencia en el consumo de potencia:

Sistema de corto alcance: definido para menores a 10 Km, con una potencia de transmisión de 20dBm a una frecuencia de 5,875GHz y antenas de 17dBi.

Sistema de alcance medio: Para cubrir distancias de 10Km a 30 Km., con una potencia de transmisión de 25dBm, y antenas parabólicas direccionales de 23dBi, a la frecuencia de 5.785GHz.

Sistema de Largo alcance: Para enlaces cuyas distancias sean superiores a 40Km, con potencia de transmisión de 30dBm y antenas parabólicas direccionales 30dBi a la frecuencia de 2.4GHz.

- La temperatura promedio de cada entorno geográfico de ambas provincias no es un factor preponderante a la hora de la definición de los mismos; pero si lo son al momento de la simulación de los enlaces para cada entorno.

Justificación: La temperatura contribuye a las pérdidas de un radio enlace, esto, como se muestra en el anexo E, en el que las pérdidas dependen de la temperatura, aunque no en gran medida; mientras que para la definición de los entornos uno de los parámetros que se consideró es la zonificación climática de Koppen.

- Para las simulaciones no se utilizó las precipitaciones como tal para el balance del sistema, estas sirven para dimensionar el margen de desvanecimiento y definición en cada entorno.

- Mesh no se ha considerado una buena opción en ninguno de los 13 entornos.

- El entorno 2 en la provincia de Loja, la tecnología inalámbrica que mejor se adapta es Wimax
- Este entorno posee un relieve bastante irregular (65° de inclinación), además en este entorno se encuentran las mayores elevaciones (2000-3000 m.s.n.m) debido a la cordillera andina.
- Para la selección de la tecnología inalámbrica en cada entorno geográfico en los que existe demasiada vegetación, alto índice de precipitaciones, largas distancias, demasiadas irregularidades en el terreno, principalmente para Zamora Chinchipe ($\eta=0,25$), se ha elegido Wimax por su buen performance en entornos de vegetación densa en los que no existe línea de vista, esto por su esquema de modulación OFDMA.
- Hacer un estudio de energías alternativas, para zonas geográficas estratégicas para la instalación de radio bases, principalmente para el entorno geográfico 3 de la provincia de Zamora Chinchipe, en el que el acceso es difícil y en ciertos sectores no llega la energía eléctrica
- Diseñar un software especializado con los valores de los parámetros que se utilizaron para la definición de los entornos geográficos; esta información será lo suficientemente útil para el diseño de un enlace.
- El cerro Loma de la Conga ubicado en las coordenadas 4° 2' 3.3" S 78°56'50.3" W a 1726 m de altura en la provincia de Zamora Chinchipe presenta condiciones ventajosas; por existir línea de vista para cubrir todo el cantón Zamora, vía de acceso y energía eléctrica; por lo que es un buen punto para el diseño de un enlace en Zamora.
- En Ecuador se presentan dificultades en la estandarización del espacio radioeléctrico, que frecuentemente está cambiando. Se recomienda gestionar el espectro radioeléctrico en la que se defina claramente las frecuencias que se puedan utilizar para tecnologías inalámbricas especialmente para Wimax en la que aún no se ha definido claramente.
- Utilizar los equipos Airspan en el entorno 3 en la provincia de Zamora Chinchipe debido a que estos tiene un gran margen de umbral de recepción (-103dBm).

- Para la mayor parte de los entornos geográficos de Loja y Zamora Chinchipe no se recomienda la topología Mesh, por su considerable costo y principalmente porque puede ser reemplazada con otras tecnologías inalámbricas o de 3G con mejores beneficios.

VII. REFERENCIAS

- [1]. Gondard, Pierre. Ritmos pluviométricos y contraste climáticos en la provincia de Loja. pp 41-47, 73, 74 , vol 5, julio 1985.
- [2] INERHI - PREDESUR – CONADE. “Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja”. pp 62, 64, 71. 1994.
- [3] Área de hidrología, departamento SIG, UTPL.
- [4] Predesur. Departamento del Sigers.
- [5] Intel. “De que manera entender Wifi y Wimax como soluciones de acceso para áreas metropolitanas” pp 10-14, 2003.
- [6] Buttrich, Sebastian.” Mesh.”, pp 21-23, Julio 2007.
- [7] LIBERA. “3G vs. Tecnologías Inalámbricas Emergentes “, pp 15-45. 2006