



## **RESUMEN**

Se determina la aplicabilidad de la tecnología CDMA450 en la provincia del Azuay determinando la cobertura geográfica alcanzada, así como la población con el potencial de utilizar el servicio. Con este propósito se utilizan modelos digitales del terreno caracterizados por elevaciones (modelo digital de elevaciones MDE), y una distribución de la densidad de población. Sobre el MDE que contiene la información topográfica fundamental se ensayan modelos de propagación radioeléctrica que predicen las zonas con cobertura, conjugando las características del terreno, y los parámetros técnicos brindados por el fabricante de la tecnología. De esta manera se derivan nuevos modelos del terreno que expresan la cobertura del servicio, y el pronóstico de nivel en cada punto. Al construir modelos coherentes, con las características citadas, en formato raster, un posterior análisis matricial de los modelos derivan en los resultados buscados. Se ha utilizado el programa MIRONE para manejo de los datos topográficos que tienen como origen la SRTM tanto en las versiones 2 como 4, así como los modelos rasterizados de la cartografía del IGM que también se han obtenido en este trabajo. Dada la ventaja que MIRONE está desarrollado en Matlab, se han desarrollado nuevas funciones en este lenguaje que se incorporan a MIRONE para la simulación de la cobertura radioeléctrica, a la variante resultante se ha denominado MATradio. Los datos rasterizados de población, y de elevaciones que tienen como origen la cartografía del IGM fue procesado en ArcGis. Con las tres fases de implementación de la tecnología CDMA450 que se han simulado se encuentra que el 66.67% de la población en la provincia, sin considerar el cantón Cuenca, podría ser atendida.

Palabras claves: raster, cobertura, topografía, Matlab, SRTM.



# Índice de Contenidos

	Contenido	Página
	<b>Capítulo 1: Introducción</b>	8
1.1	Introducción	8
1.2	Objetivo General	9
1.3	Objetivos específicos	10
1.4	Alcance	11
1.5	Método de trabajo	13
1.6	Enumeración de entregables	13
	Referencias	14
	<b>SECCION I: Fundamentos de CDMA</b>	
	<b>Capítulo 2: Principios de CDMA</b>	16
1	Introducción	16
2	Acceso Múltiple por División de Código	16
3	El Concepto de Espectro Extendido	17
4	Detección de señal en los sistemas CDMA	19
5	Espectro extendido por secuencia directa	21
6	Secuencias de ensanchamiento	23
7	Capacidad de un sistema CDMA	24
8	Características del Espectro Radioeléctrico	29
8.1	Canalización de la banda de 450 MHz	30
8.2	Sub Banda A para CDMA 450	31
8.3	Correspondencia de frecuencia de sistema y sub clase de banda	32
8.4	Número de canal CDMA para asignación de frecuencia	32
8.5	Ajuste preferido CDMA de asignación de frecuencia	32
	Referencias	32
	<b>Capítulo 3: Tecnología cdma2000</b>	33
1	Introducción	33
2	Modelo TIA para cdma2000	35
3	Cdma One	38
3.1	Canales físicos	39
3.1.1	Funciones del canal de reversa	40
3.1.2	Funciones del canal directo	43
4	Cdma2000	46
4.1	Estructura de capas de cdma2000	46
4.1.1	Capas superiores	47
4.1.2	Capa de enlace	48
4.1.2.1	Subcapa LAC	49
4.1.2.2	Subcapa MAC	50
4.2	Canales cdma2000	53
4.2.1	Convención de nombres para canales lógicos	53
4.2.2	Canales lógicos usados por PLICF	54



4.3	Capa física	55
4.3.1	Ensanchamiento de la información	55
4.4	Canal directo	56
4.4.1	Canales físicos del canal directo	56
4.5	Diversidad	58
4.6	Modulación ortogonal	59
4.7	Control de Potencia	60
4.8	Modulación y Spreading	60
4.9	Canal reverso	61
4.9.1	Canales físicos del canal reverso	61
4.10	Ventajas de cdma2000	64
4.11	EVDO	65
	Referencias	66

## **SECCION II: Fundamentos de Modelos Digitales del Terreno**

	<b>Capítulo 4: Modelo Digital de Elevaciones</b>	68
1	Introducción	68
2	Los modelos digitales de elevaciones y la propagación radioeléctrica	69
3	Definición de los modelos digitales del terreno	69
4	Definición formal de un MDE	71
5	Estructura de datos en el MDE	72
6	Estructuras vectoriales	73
6.1	Representación vectorial de los datos	74
7	Estructuras raster	75
7.1	Tamaño y resolución del pixel	76
7.2	Estructura de los datos raster	77
8	Ventajas e inconvenientes de los modelos raster y vectorial	78
9	Origen de los datos	79
9.1	Rasterización de datos vectoriales	79
9.2	Vectorización de datos raster	80
10	Representación gráfica de un modelo raster	80
11	Referenciación	81
	Referencias	83

## **SECCION III: Obtención de datos y Planificación**

	<b>Capítulo 5: Obtención de Datos</b>	
1	Obtención de datos topográficos	85
2	Obtención de MDE a partir de los datos del IGM	86
2.1	Digitalización de curvas de nivel	87
2.2	Obtención del MDE	89
2.3	Generación del MDE utilizando la herramienta 3D Analyst de ArcGis 9.2	91
3	Formatos de archivos raster: .ASC y .grd	95
4	Otras fuentes de MDE para Ecuador	97
5	Datos de la SRTM	97
6	Calidad de datos de la SRTM	100



6.1	Áreas sin datos	101
6.2	Ruido de fase	102
6.3	Dosel vegetal	102
6.4	Opción de implementación de un DEM SRTM	104
7	Características de los datos SRTM	105
7.1	Convención para la denominación de los datos SRTM	106
7.2	Archivos MDE: .hgt	107
8	Versión de datos de la SRTM	108
9	Resumen de direcciones para la obtención de MDE de la SRTM	111
10	Obtención de datos poblacionales	111
10.1	Rasterización de la población y vivienda	113
10.2	Metodología de rasterización	114
	Referencias	115

## **SECCION IV: Simulación y Resultados**

	<b>Capítulo 6: Planeación de cobertura y Simulación</b>	<b>118</b>
1	Introducción	118
2	Radio Propagación	118
2.1	Planificación de cobertura y cálculo de trayecto	118
2.2	Modelos de propagación de radio para zonas con visibilidad	125
2.3	Modelos de propagación de radio para zonas sin visibilidad	128
3	Pérdida máxima permitida	130
4	Planificación de capacidad	132
4.1	Cálculo de throughput	133
4.2	Capacidad máxima de la interface de aire de cdma2000 1x	134
4.3	Dimensionamiento de CE	135
5	Simulación: Presentación de la herramienta MATradio	137
5.1	La librería GDAL	139
5.2	El programa MIRONE	139
5.3	MATradio	141
5.4	Uso de funciones de Matlab en el análisis radioeléctrico	141
5.5	Simulación	146
	Referencias	149

	<b>Capítulo 7: Resultados</b>	<b>150</b>
1	Introducción	150
2	Modelos raster de densidad poblacional	152
3	MDE para la provincia del Azuay	159
4	Modelo raster de cobertura CDMA450 en la provincia del Azuay	160
5	Población sin cobertura en la simulación	165
6	Modelo raster del pronóstico de nivel radioeléctrico para CDMA45 en la provincia del Azuay	168
7	Conclusiones	170
8	Recomendaciones	172
9	Estudios a desarrollar	173
	Referencias	175



*Universidad de Cuenca*



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Maestría en Telemática**

**Evaluación de la Aplicabilidad de la tecnología CDMA 450  
en el Austro Ecuatoriano Mediante la Utilización de un  
Modelo Basado en Sistemas de Información Geográfica**

Ing. Alcides Araujo Pacheco

Cuenca, febrero de 2011



*Universidad de Cuenca*

*A María por su incondicional apoyo. A José Antonio y Diego por el tiempo que les he robado para desarrollar el presente trabajo*



*Universidad de Cuenca*

# INTRODUCCION



## **Capítulo 1**

### **Introducción, Objetivos, Alcance**

#### **1.1 Introducción**

La empresa pública de telecomunicaciones en Ecuador ha escogido la tecnología CDMA450<sup>1</sup> como una solución emergente para proveer servicios de voz y conectividad a Internet en las provincias andinas y orientales en el Sur del país.

El presente trabajo pretende realizar una evaluación de la aplicabilidad de la tecnología CDMA450, con la ayuda de recursos de sistemas de información geográfica. Se pretende identificar las fortalezas de CDMA450, así como las limitaciones potenciales para la cobertura rural. Se han planteado como elementos importantes a considerar en la evaluación, la topografía del terreno y la demanda georeferenciada representada en un modelo rasterizado de la población, y que debe ser atendida a través de una planificación eficiente de la red. El argumento de que CDMA450 es una tecnología prometedora, y competitiva en ambientes rurales, pretende ser verificado en un entorno geográfico como el de la provincia del Azuay.

El trabajo evidencia las condiciones reales de la aplicación de la tecnología, y a través del desarrollo de una herramienta de planificación basada en recursos para el manejo de cartografía digital y modelos existentes de propagación radioeléctrica, determinan el impacto en la demanda presente en los sectores rurales.

La consideración de la topografía del terreno ha sido una condición planteada en la presente tesis, de ahí que los modelos utilizados sean aquellos que toman en

---

<sup>1</sup> CDMA450: tecnología de acceso ampliamente explicada en la Sección II



cuenta este parámetro. Esta condición impone la necesidad de utilizar una fuente de planimetría adecuada en el estudio. Actualmente la disponibilidad de estos recursos permite llevar a cabo el planteamiento realizado; como se verá existen diferentes opciones de fuentes de planimetría que permiten la realización del presente trabajo<sup>2</sup>.

En este contexto ha sido imperativa la utilización de modelos digitales del terreno (MDT<sup>3</sup>). No es posible la utilización de la cartografía tradicional producida por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM<sup>4</sup>), pues es necesario procesarla para disponer de la topografía del terreno en el formato adecuado. Como podrá apreciarse en el desarrollo del presente trabajo, se utilizan dos fuentes de datos de MDT (en particular dos fuentes de MDE<sup>5</sup>); se explica detalladamente su origen, procesamiento, obtención, utilización, y su adaptación que permita utilizar las herramientas existentes en Matlab<sup>6</sup> para el análisis radioeléctrico.

Si bien el análisis radioeléctrico se realiza en Matlab, previamente el procesamiento de la topografía de origen nacional se realizó en ArcGis<sup>7</sup>, así como el de la información demográfica.

## **1.2 Objetivo General**

El objetivo global de la tesis consiste en evaluar la aplicabilidad de la Tecnología CDMA450 como una solución para satisfacer las necesidades de acceso universal en la zona austral del Ecuador, tomando como referencia la provincia del Azuay.

Se ha buscado que la evaluación brinde respuestas como la penetración de servicios de telefonía e internet que se podrá alcanzar; en qué medida el ancho de banda otorgado es suficiente con este propósito; hasta qué punto esta tecnología

---

<sup>2</sup> Se explica ampliamente en el capítulo 5

<sup>3</sup> MDT: Modelo Digital del Terreno

<sup>4</sup> IGM: Instituto Geográfico Militar

<sup>5</sup> MDE: Modelo Digital de Elevaciones

<sup>6</sup> Matlab: Software de Mathworks

<sup>7</sup> ArcGis: Software de ESRI



se constituirá en una solución para el servicio universal. Para ello se propone el uso combinado de un procesamiento matemático de modelos de radiopropagación de uso general, con un sistema de manejo de MDE's que tenga la capacidad de generar un modelo tridimensional del terreno. Como resultado se demuestra que es factible construir una herramienta de planificación con la información disponible localmente, o a nivel mundial.

### **1.3 Objetivos Específicos**

El objetivo global se alcanzará a través de varios objetivos específicos:

- 1.3.1 Análisis de la aplicabilidad de CDMA450 basándose en un modelo que toma en consideración la realidad topográfica local. Se busca mejorar la limitación de análisis que no toman en cuenta esta condición.

El cumplimiento de este objetivo obliga a incluir en el sistema de información geográfica la demanda presente. Se tomará como base los datos demográficos y poblacionales obtenidos por el FODETEL<sup>8</sup>, a esta información se agregará los datos de ubicación geográfica para el análisis. Dada la magnitud que este trabajo significa se toma como referencia la provincia del Azuay, sin tomar en cuenta el cantón Cuenca debido a que se trata de una zona en la que la Empresa ETAPA ya ha implementado la tecnología.

Este objetivo aclara las reales expectativas que se deben tener con la aplicación de la tecnología CDMA450. Hasta qué punto su aplicación es recomendable; las dificultades que se avizoran con su aplicación en una zona en particular.

---

<sup>8</sup> FODETEL: Fondo para el Desarrollo de la Telecomunicaciones



1.3.2 Desarrollo de una herramienta de planificación para cobertura de CDMA450 basada en un MDE. Este objetivo pretende brindar una contribución al desarrollo de herramientas locales, utilizando información de origen local que facilita y enriquece el análisis. Se presenta MATradio<sup>9</sup>, basada en el programa Mirone<sup>10</sup>; la herramienta no alcanza el nivel de simulación de aplicaciones comerciales que utilizan operadores de telecomunicaciones, pero si permite ensayar los modelos que a nivel académico pueden ser implementados de manera sencilla.

1.3.3 Establece un modelo de política en la que se establezcan las condiciones a satisfacer para que una BS (Base Station) de CDMA450 sea instalada en una zona determinada. Sin que este modelo sea de estricto cumplimiento, si podría sugerir mediante un indicador basado en un índice si es recomendable su implementación en base a un análisis técnico y económico sencillo.

1.3.4 Validar la herramienta de planificación. Se utilizan dos alternativas para la validación utilizando los recursos durante la ejecución de la tesis: (1) Verificación de los resultados en el campo con sistemas que se encuentran en operación. Y (2) Se realiza un contraste con el software RADIO MOBILE de libre disponibilidad en Internet.

## **1.4 Alcance**

La tesis buscar dar respuesta sobre el potencial que tiene la aplicación de la tecnología CDMA450 en la provincia del Azuay con la aplicación de modelos topográficos del terreno, la aplicación de modelos de propagación radioeléctrica

---

<sup>9</sup> MATradio: MAT por Maestría en Telemática, y radio por los modelos que pueden ser implementados

<sup>10</sup> J. F. Luis. [Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data](#). Computers & Geosciences, 33, 31-41, 2007



reconocidos, y la utilización de modelos demográficos generados a partir de fuentes existentes.

Las fuentes de información topográfica son dos: (1) La cartografía que suministra el Instituto Geográfico Militar en escala 1:50000. (2) La información topográfica proporcionada por la misión SRTM<sup>11</sup>.

La información demográfica se la construye a partir de la información del FODETEL en el que se presentan localidades, en la provincia del Azuay existen 3.140 localidades, con datos de población y viviendas. Esta información no se encuentra georeferenciada, por lo que complementariamente, con la utilización de la cartografía del IGM se buscó incluir este dato adicional a la información demográfica.

Dado el nivel de detalle de la información del FODETEL no fue posible identificar en la cartografía la totalidad de las poblaciones, se logró en un 76.1%, lo que constituye una notable deficiencia en el análisis, sin embargo no se ha encontrado otra fuente alternativa.

La población georeferenciada se llevó a un modelo rasterizado, que luego, mediante aritmética de mapas con los resultados de la simulación de cobertura de CDMA450, brindan los resultados buscados.

Los modelos de propagación que pueden ser simulados en la herramienta desarrollada son: Okumura Hata, Modelos de dos rayos de acuerdo a la deducción de Lee [1], modelo de Friis [2] para contraste. Sin embargo, como podrá verificarse, cualquier otro modelo podría ser fácilmente implementado.

---

<sup>11</sup> SRTM: Shuttle Radar Topography Mission. Realizada por la NASA en el año 2000



## **1.5 Método de trabajo**

- En la Sección I se hace una presentación del estado del arte para CDMA450. Se realiza una revisión básica de la tecnología CDMA, y luego en forma específica sobre los estándares cdmaOne y CDMA2000.
- En la Sección II se hace una revisión teórica de los Modelos Digitales del Terreno.
- En la Sección III se hace una exposición de los datos a ser utilizados, el procesamiento previo para su uso en el estudio y simulación
- En la Sección IV se realizan los cálculos preliminares con los datos específicos de la tecnología utilizada por el operador, los equipos de marca Huawei<sup>12</sup>. Se explica la forma en que MATradio realiza la simulación.
- En el capítulo final se presentan los resultados de la simulación y las conclusiones derivadas.

## **1.6 Enumeración de los entregables**

- Memoria de Tesis
- Demanda georeferenciada en formato “shape” dispersada con el modelo de densidad de ArcGis para la provincia del Azuay.
- Programa MATradio que opera como una función de Matlab
- Cartografía en formato raster procesada previamente, y reducida a formato ASCII “ASC”, para interactuar con Matlab, ArcGis, y por supuesto con MATradio. Los datos a entregarse tienen como origen la cartografía 1:50000 proporcionada por el Instituto Geográfico Militar, y los datos obtenidos por la SRTM en sus diferentes versiones.
- Análisis de resultados sustentados en la infraestructura instalada, sugiriéndose los futuros desarrollos.

---

<sup>12</sup> Huawei: proveedor de tecnología de telecomunicaciones de origen Chino



**Referencias**

- [1] William C.Y. Lee, **Mobile Communications Engineering**, McGraw-Hill, USA 1997.
- [2] Roger L.Freeman, **Telecommunication Transmission Handbook**, John Wiley & Sons, USA 1991.



## **SECCION I**

# **Fundamentos de CDMA**



## Capítulo 2

### Principios de CDMA<sup>13</sup> Acceso Múltiple por División de Código

#### 1. Introducción

Un aspecto básico en un sistema de comunicaciones es la forma de acceso al medio de comunicación, esto se lo hace utilizando técnicas de acceso múltiple. Es decir, una cantidad de usuarios pueden establecer una comunicación de manera simultánea utilizando un medio común. Para el caso de un medio aéreo una técnica de acceso múltiple define cómo se utiliza el espectro electromagnético para crear y asignar los canales a los múltiples usuarios en el sistema.

Entre las principales técnicas de acceso múltiple se encuentran FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo), CDMA (Acceso Múltiple por División de Códigos), OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales). Nuestro interés particular en el presente estudio es CDMA, por lo que el desarrollo sucesivo se centra en esta técnica de manera específica.

#### 2. Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)

No se realiza una canalización del medio utilizando división de frecuencias o división tiempo. En su lugar se hace una división asignando a cada usuario un código diferente, permitiendo que múltiples usuarios puedan transmitir de manera simultánea sobre el mismo canal radioeléctrico.

El principio básico en CDMA es que a cada usuario se asigna un código pseudoaleatorio (PN) que es usado para transformar la señal de un usuario, o banda base, en una señal de banda ancha mediante la técnica Espectro

---

<sup>13</sup> CDMA: Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código)



Ensanchado (Spread Spectrum SS). Si el receptor recibe múltiples señales de banda ancha se usará el código asignado a un usuario en particular para transformar la señal de banda ancha recibida de ese usuario y recuperar la información original dirigida a él. Durante el proceso de recuperación de la información, la potencia de la señal deseada está ubicada dentro del ancho de banda común, pero sólo se identifica la señal deseada, mientras las otras señales de similar ancho de banda, proveniente del resto de los usuarios, aparecen como ruido ante la señal deseada.

La codificación de la señal de usuarios se realiza mediante códigos PN que utilizan funciones de correlación cero (funciones ortogonales). De esta forma la señal deseada puede ser recuperada perfectamente si se conoce el código utilizado en la codificación.

La técnica presenta algunas ventajas:

- No es necesario planificar reutilización de frecuencias.
- CDMA permite que un mayor número de usuarios compartan las mismas frecuencias de radio con el uso de la tecnología de espectro extendido.
- Es muy difícil capturar y descifrar una señal lo que brinda mejores características de seguridad y privacidad.
- Para controlar o limitar la interferencia se utiliza un control automático de potencia, y así mejorar la capacidad del sistema.
- Posibilidad de soft handoff

### **3. El Concepto de Espectro Ensanchado (SS) [1]**

Un sistema de comunicación digital busca optimizar el uso del ancho de banda del canal de comunicación disponible, y utilizar la menor energía posible para proveer servicios de comunicación con calidad. Entre los objetivos a ser alcanzados están la inmunidad ante interferencias y la inviolabilidad de las comunicaciones. La



tecnología de modulación de espectro ensanchado es una buena respuesta para cumplir con los objetivos.

El “esparcimiento del espectro”, o el “ensanchamiento del espectro” consiste en distribuir la energía de una señal en un ancho de banda mayor al de la información original. Como se ha mencionado, se logra codificando la señal de información con un código PN de velocidad de transmisión mayor. El resultado es una señal con una densidad de potencia comparable al ruido, requiriendo un ancho de banda mucho mayor en relación con la información en banda base. La energía de la señal de información en banda base debe de ser la misma que la señal ensanchada, ver figura 2.1.

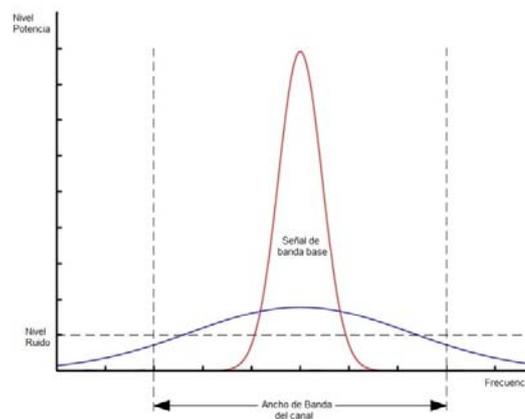


Figura 2.1: Señal de banda base y señal ensanchada o esparcida (SS)

La recuperación de la información a partir de una señal SS se realiza en el receptor con la utilización del mismo código que le fue agregado en transmisión, decodificando la señal. De esta manera sólo el usuario que cuente con un código local, que sea una réplica de la señal de código de transmisión y con la sincronía correcta logrará recuperar la información. Al procedimiento de decodificación se le denomina “de-spreading”.



#### 4. Detección de señal en los sistemas CDMA

Los códigos PN tienen características únicas: una de ellas es que cualquier canal físico o aplicación de usuario que es esparcido por un código PN en el transmisor, puede ser identificada de manera única en el receptor multiplicando la señal de banda base recibida con una copia coherente en fase de aquel código PN.

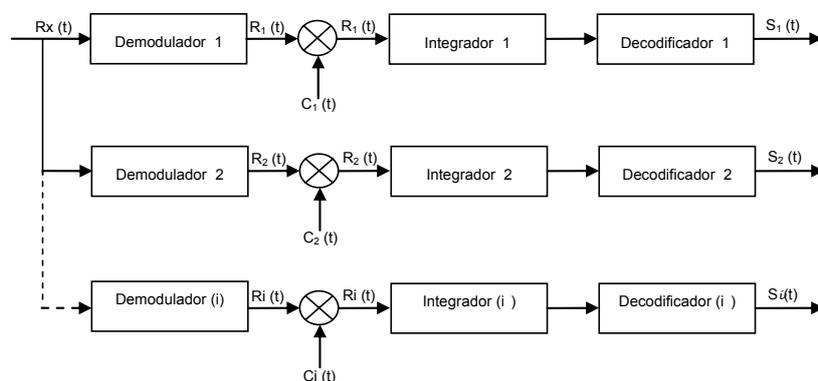


Figura 2.2 De-spreading y decodificación de una señal SS asumiendo la recepción en el terminal móvil

La manera más fácil de entender el proceso de detección de la señal deseada con la presencia de señales recibidas de otros usuarios en un sistema CDMA es graficando el proceso [2]: asumamos que el flujo de datos de cualquier usuario se representa por  $s_i(t)$  y su código PN asociado  $C_i(t)$ . A la salida del transmisor luego del esparcimiento es  $n_i(t) = s_i(t) * C_i(t)$ . Para el ejemplo  $s_i(t)$ , o  $C_i(t)$  el nivel de señal es +1 o -1, con +1 representando un binario 0, y -1 un binario 1. Si el ruido introducido por el canal es despreciable, la señal demodulada en banda base está dada por

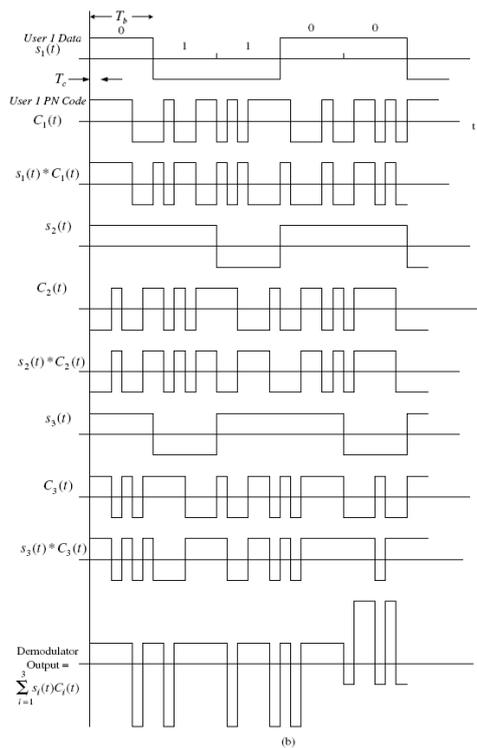
$$r(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t) * C_i(t)$$

Donde N es el número de usuarios en el sistema. Si  $r(t)$  es ahora multiplicado por una copia del código PN  $C_1(t)$  para el usuario 1, el resultado a la salida es



$$\begin{aligned}
 r_1(t) &= c_1(t) * r(t) = c_1(t) * \sum_{i=1}^N s_i(t) * c_i(t) \\
 &= s_1(t) * c_1(t) * c_1(t) + s_2(t) * c_2(t) * c_1(t) + s_3(t) * c_3(t) * c_1(t) + \dots
 \end{aligned}$$

Debido a que la correlación cruzada  $c_1(t)$ , y  $c_2(t)$  es muy pequeña (cero en forma ideal), el segundo término aparece como ruido de modo que cuando este es integrado en el período de un símbolo, la salida del integrador debido a este término es virtualmente cero. Similar situación sucede con el tercero y los términos siguientes. La salida del integrador por la contribución del primer término, cuando es promediado en el período del símbolo es  $s_1(t)$  debido a que  $c_1(t) * c_1(t) = 1$ .



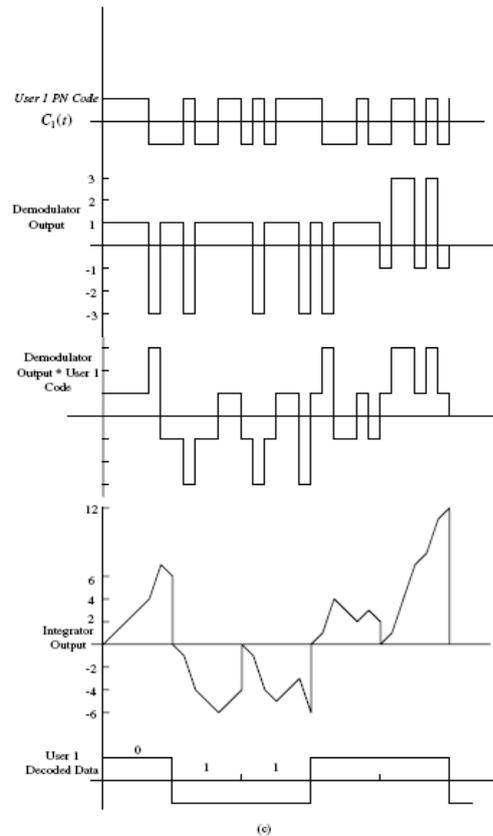


Figura 2.3 Proceso de "spreading y de-spreading" de una señal SS

## 5. Espectro Extendido por Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum DSSS)

Las técnicas de modulación SS fueron originalmente desarrolladas para sistemas de comunicaciones militares por su resistencia ante señales de interferencia y por su baja probabilidad de detección. Existen varios métodos de modulación para generar señales de SS:

- DSSS (Espectro Extendido por Secuencia Directa): En esta técnica cada bit de la señal original es representado por múltiples bits usándose un código de spreading. El código de spreading esparce la señal dentro de un ancho de banda en proporción directa al número de bits utilizados.
- FHSS (Espectro Extendido por Salto de Frecuencia): Esta técnica consiste en tomar la señal de transmisión y modularla con una señal portadora que realiza



“saltos” (hops) de frecuencia en frecuencia en función del tiempo dentro de un ancho de banda asignado.

- THSS (Espectro Extendido por Salto de Tiempo): En Time Hopping la información es transmitida durante determinados intervalos de tiempo en base a un código asignado a cada usuario. En Time Hopping un período de tiempo es dividido en intervalos denominados tramas y éstos a su vez divididos en M intervalos de tiempo más pequeños llamados time slots. De esta forma en Time Hopping la señal de un usuario no es transmitida de forma continua, sino por intervalos de tiempo contando cada usuario con un código asignado.
- HSS (Espectro Extendido Híbrido): Un sistema híbrido se forma de la combinación de dos tipos de Spread Spectrum de los tres existentes, o una combinación de CDMA con alguna otra técnica de acceso múltiple. De las técnicas de espectro extendido podemos tener cuatro posibles sistemas híbridos: DS/FH, DS/TH, FH/TH y DS/FH/TH.

En CDMA450 el interés se centra en DSSS. El esparcimiento de la señal de banda base se realiza utilizando un código PN, el cual es independiente de la información y tiene una velocidad de transmisión mayor al de la señal de información.

En la práctica la señal de banda base y el código PN se realiza mediante la operación OR exclusiva ( $0 \oplus 0 = 0, 0 \oplus 1 = 1, 1 \oplus 0 = 1, 1 \oplus 1 = 0$ ), produciendo la señal a ser transmitida. Por su parte el receptor debe contar con el código de esparcimiento correcto para recuperar la información al realizar la operación OR exclusiva entre el código PN y la señal resultante de la transmisión para que al serle retirado el código de esparcimiento sea recuperada la información en banda base. Matemáticamente el proceso fue explicado en el punto 2.5. DSSS ofrece algunas características importantes:

- Como ya se ha explicado, ofrece la posibilidad de acceso múltiple.



- Mayor inmunidad a la interferencia por multitrayecto. Con DSSS, si el modulador coherente recibe la señal deseada y después recibe la misma información pero con un retardo, ésta la va a considerar como interferencia, por lo tanto sólo recobra parte de la potencia de la información. Un sistema CDMA utiliza receptores RAKE<sup>14</sup> que contribuyen a compensar las diferencias de retardo de los multitrayectos, aprovechando también estas señales.
- Interferencia de Banda Angosta. La detección coherente en el receptor involucra una multiplicación de la señal recibida con un generador local de secuencias de código. Sin embargo multiplicando una señal de banda angosta con la secuencia de código de banda ancha la potencia en la información de banda ancha decrece en un factor igual al factor de ganancia.

## **6. Secuencias de Ensanchamiento**

Las secuencias de ensanchamiento deben aparentar ser ruido ante el resto de las señales, para lograrlo las secuencias deben de contar con el mismo número de 1's que de 0's; tener una correlación mínima entre ellas para evitar que los receptores confundan la señal a recuperar. Hay dos categorías que son empleadas: Secuencias de pseudoruido y códigos ortogonales. Las secuencias de pseudoruido son las empleadas en sistemas FHSS mientras que en sistemas DSSS tanto las secuencias de pseudoruido como los códigos ortogonales son usados.

Una secuencia PN es una secuencia de spreading que idealmente debería ser aleatoria, pero esto no es posible debido a que el transmisor y receptor deben conocer esa información, por eso es necesario generar una secuencia de spreading que aparente ser aleatoria. Esta secuencia es creada por un generador de pseudoruido que utilice un algoritmo conocido. Este algoritmo tiene que ser

---

<sup>14</sup> Receptor RAKE: Receptor diseñado para compensar las pérdidas por multitrayecto



conocido para que el receptor pueda predecir la secuencia generada. Una secuencia PN debe cumplir con características como:

- 2.1. Distribución uniforme: la cantidad de 1's y 0's que las forman debe de ser el mismo, pudiendo diferir sólo en uno la cantidad de 0's y 1's.
- 2.2. Independencia: Una secuencia pseudoaleatoria no puede ser generada a partir de otra.
- 2.3. Correlación: Debe ser la menor posible. Idealmente cero.
- 2.4. Autocorrelación: La autocorrelación se refiere al grado de correspondencia o concordancia entre una secuencia y una réplica de sí misma con fase recorrida. Una autocorrelación presenta el número de concordancias menos las no concordancias a lo largo de ir comparando bit a bit la misma secuencia pero asumiendo un desfase de una secuencia respecto de la original. Esta característica de autocorrelación es muy útil en sistemas de comunicaciones debido a que un canal puede soportar múltiples usuarios siempre y cuando la fase de los códigos esté recorrida más de un chip respecto de la secuencia de la original y con un valor de autocorrelación bajo.

## **7. Capacidad de un sistema CDMA [2]**

Considerando un sistema CDMA de una celda en el que un número de MS están transmitiendo simultáneamente a la misma frecuencia. A cada MS se ha asignado una única secuencia de código PN. Consideremos las siguientes definiciones:

$P$  = potencia de la portadora

$E_b$  = energía por bit

$B_c$  = ancho de banda de la señal de espectro ensanchado

$f_{data}$  = tasa de bits de información

$I$  = potencia debido a interferencia



$N_0$  = ruido por bit

Podemos encontrar una relación para  $E_b / N_0$

$$E_b = P / f_{data}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P}{f_{data} \cdot N_0}$$

$$N_0 = I / B_c$$

De esta manera:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P \cdot B_c}{f_{data} \cdot I} = \frac{P}{I} \cdot G_p$$

Donde  $G_p$  es el ancho de banda en RF dividido para la tasa de bits de información. En un sistema CDMA se utiliza modulación QPSK, en el que el ancho de banda en RF es aproximadamente igual a la velocidad de chip. En otras palabras, si  $f_{chip}$  es la velocidad de chip, entonces el ancho de banda en RF es  $B_c = f_{chip}$ , y en este caso  $G_p = f_{chip} / f_{data}$  se denomina *ganancia del proceso*.

Para una tasa de error de bit dada,  $E_b / N_0$  es fijo, consecuentemente, a mayor ganancia de proceso, más grande puede ser la interferencia permitida, esto es  $I / P$ . Si hay  $N$  transmisores, todos transmitiendo a la misma potencia y utilizando la misma velocidad de chip, entonces

$$I = (N - 1)P$$

De manera que



$$\frac{I}{P} = \frac{(N-1)P}{P} = (N-1) = \frac{G_p}{E_b / N_0}$$

O lo que es lo mismo

$$N = 1 + \frac{G_p}{E_b / N_0} \approx \frac{G_p}{E_b / N_0} \quad \text{para valores grandes de } N$$

En consecuencia se demuestra que para una tasa de error de bit fija ( $E_b / N_0$  fijo), mientras más grande sea la ganancia de proceso, mayor es la capacidad  $N$  del sistema. De manera similar, para un valor fijo de ganancia del proceso, la capacidad se incrementa si el valor de  $E_b / N_0$  requerido para determinada operación decrece.

La capacidad indicada por la ecuación última es válida solamente bajo condiciones ideales. En la práctica real, podría ser significativamente menor por varias razones. Por ejemplo, la capacidad del sistema decrecerá si el control de potencia no es perfecto. De manera similar, en un sistema multicelda, donde cada celda opera a la misma frecuencia, las transmisiones en otras celdas pueden provocar que la interferencia crezca entre un 60% a un 85%.

Debido a que el sistema es limitado por interferencia, la capacidad del sistema puede ser incrementada por reducción de la interferencia. Hay varias maneras de hacer esto. Primero, la interferencia debido a otros usuarios puede ser reducida reemplazando la antena omnidireccional con una direccional. Por ejemplo, un arreglo de antenas de 3 sectores puede incrementar la capacidad por un factor comprendido entre 2 y 3.

Segundo, las conversaciones humanas están caracterizadas por períodos de mucha información, seguidos por períodos de silencio. Si el transmisor es



apagado durante los períodos de silencio, la interferencia a otros transmisores decrecerán, y consecuentemente, la capacidad total del sistema crecerá. Así, la capacidad real podría estar dada por

$$N = 1 + \frac{G_p}{E_b / N_0} \cdot \frac{\alpha}{(1 + \beta)\nu} \quad (2.1)$$

Donde  $\alpha$  es un factor de corrección debido a un control de potencia imperfecto,  $\beta$  es el efecto de interferencia cocanal desde otras celdas en un sistema multicelda, y  $\nu$  es un factor de actividad de voz. Los siguientes son valores típicos de estos parámetros.

Parámetro	Valor Promedio
Factor de control de potencia, $\alpha$	0.5 – 1.0
Factor de actividad de voz	0.4 – 0.6
Efecto de interferencia cocanal de otras celdas	0.5-0.9. Un valor típico para un sistema de tres sectores es 0.85; y 0.6 si se utiliza una antena omnidireccional

Para una mejor descripción asumamos los siguientes valores:  $\alpha = 1$  (se asume un perfecto control de potencia);  $\nu = 0.4$ ;  $\beta = 0.85$  para una celda de tres sectores; tasa de datos = 9.6 Kbps, vocoder de 8Kbps; velocidad de chip 1.2288 Mcps.  $E_b / N_0 = 7\text{dB}$  requerido. Entonces:

$$E_b / N_0 = 10^{7/10} = 5.01$$

$$G_p = \frac{1,2288 \cdot 10^6}{9600} = 128$$

$$N = 1 + (128 / 5,01)(1 / 1,85)(1 / 0,4) = 35$$

Esta capacidad es conocida como capacidad sectorizada. Esta puede ser incrementada al reducir  $E_b / N_0$ , pero esto va a incrementar la tasa de error de bit para todos los usuarios. Pero es posible minimizar  $E_b / N_0$  sin necesariamente correr el riesgo de incrementar la tasa de error de bit. Una forma de hacer esto es elegir una apropiada técnica de modulación. Por ejemplo si se requiere un



$BER = 10^{-5}$ , la  $E_b / N_0$  deseable es 12.6dB con BPSK, mientras solo 9.6dB para BPSK.

Debido a que el BER se incrementa a medida que la razón señal a interferencia es minimizada, es necesario utilizar un código de corrección de error. La codificación normalmente utilizada en sistemas CDMA y W-CDMA es de tipo convolucional con la que es posible obtener una ganancia de 4 a 6 dB utilizando “ hard decision sequential and soft decision Viterbi decoding”.

De esta manera la capacidad de un sistema CDMA puede ser incrementada utilizando codificación de canal.

Es interesante conocer la mínima razón señal a ruido (SNR) que puede ser posible utilizar. La máxima tasa de datos  $R_{\max}$  en un canal con un ancho de banda infinito en presencia de ruido Gaussiano está dado por el teorema de capacidad de canal de Shannon:

$$R_{\max} = \frac{P}{N_0 \ln 2} \quad (2.2)$$

Mediante comparación se deduce que el máximo SNR es  $\ln 2 = 0.693$ , equivalente a -1.6 dB. La máxima tasa de datos está determinada no solamente por el SNR sino también por la potencia del transmisor.

Basándose en la fórmula anterior y con las condiciones expuestas, obtenemos la capacidad del enlace reverso para el sistema en áreas rurales.

La ecuación 2.1 se aplica a sitios con propagación omnidireccional. Para los sitios con propagación sectorizada del tipo S111, se debe tomar en cuenta el factor de sectorización  $\xi$ . Además es necesario considerar un factor de carga  $\eta$ . Este



último es un parámetro de diseño de la red; generalmente se considera un valor máximo del 75%, ya que sobre este la interferencia crece muy rápidamente.

$$Ruido\_interferencia = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{1-\eta}\right) \quad (2.3)$$

$\eta$  es la carga del sistema

Finalmente, la fórmula real de la capacidad diseñada para una celda de sitio S111 es:

$$N_{load,s111} = N_{max} \times \xi \times \eta = \left(1 + \frac{G_p}{E_b / N_0} \cdot \frac{\alpha}{(1 + \beta) \cdot v}\right) \times \xi \times \eta \quad (2.4)$$

Basándose en la fórmula anterior y con las condiciones de diseño se obtiene la capacidad del enlace reverso para el sistema que en nuestro caso será para áreas rurales.

## 8. Características del espectro radioeléctrico utilizado

CDMA 450 es un sistema TIA-EIA-IS-cdma2000<sup>15</sup> desarrollado en 450 MHz, que incluye una familia de estándares desarrollados por 2GPP2<sup>16</sup>, publicados por TIA y aprobados por ITU para IMT-2000. En la actualidad cdma2000 1X y cdma2000 1xEV-DO están comercialmente disponibles para la banda de 450 MHz, y cdma2000 1xEV-DV se encuentra en desarrollo. Las ventajas de CDMA450 se derivan de las características de alta eficiencia espectral y alta velocidad de datos de cdma2000, y la mejoría de cobertura derivada de una banda de frecuencia

<sup>15</sup> Estándar de CDMA2000

<sup>16</sup> 2GPP2: Third Generation Partnership Project 2; [www.3gpp2.org](http://www.3gpp2.org)



baja. Algunas características que generalmente se citan con CDMA450 son las siguientes:

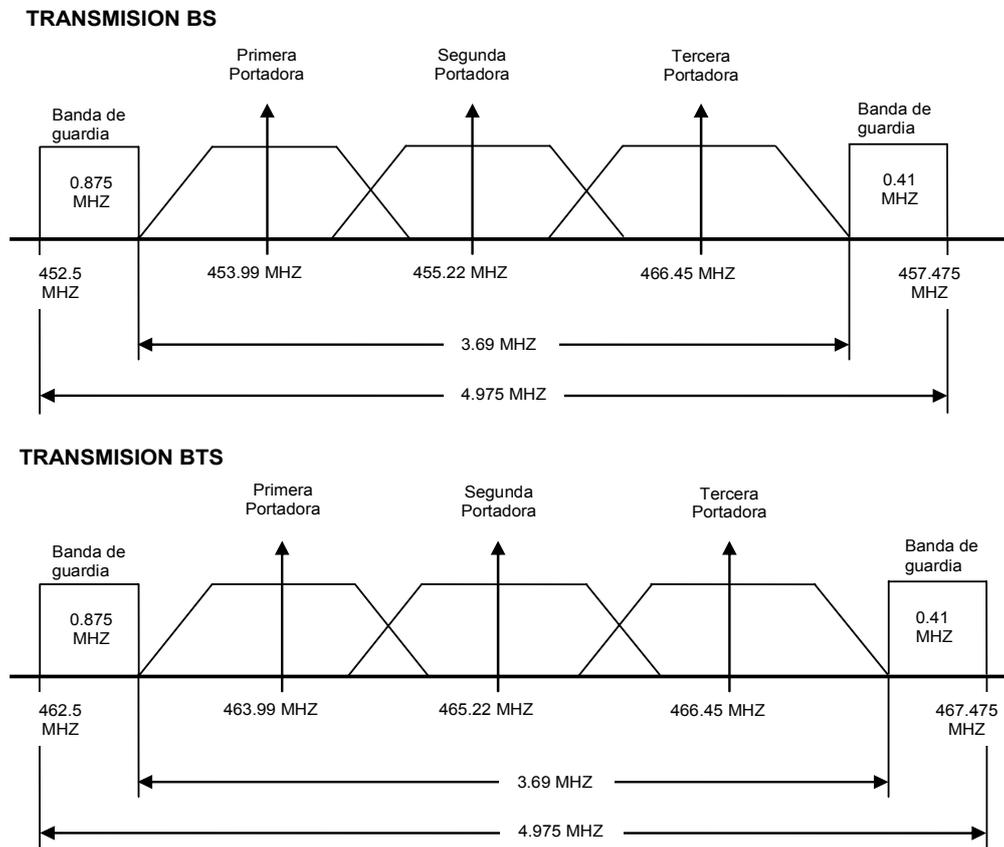
- CDMA 450 provee una dimensión de celda más grande comparado con celtas en otras bandas, lo que se traduce en un menor número de celdas, y un significativo ahorro en opex y capex.
- CDMA 450 ofrece servicios IMT-2000: alta calidad de voz, y alta velocidad de datos: cdma2000 1X permite una capacidad de hasta 20 erlangs por sector/por portadora; soporta accesos de datos hasta de 153 kbps, y cdma2000 1XEV-DO ofrece accesos de hasta 2.4 Mbps.

### 8.1. Canalización de la banda de 450 MHz [3]

Sub Banda	Estación Móvil	Estación Base
A (sub banda preferida)	452.5-457.475	462.5-467.475
B	452-456.475	462-466.475
C	450-454.8	460-464.8
D	411.675-415.850	421.675-425.850
E	415.5-419.975	425.5-429.975
F	479-483.48	489-493.48
G	455.23-459.99	465.230-469.99
H	451.310-455.730	461.31-465.73



## 8.2. Sub Banda A para CDMA 450



La red CDMA450 de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones opera en la banda A conforme a las Resoluciones 332-C-CONATEL-2008 y Resoluciones 333-C-CONATEL-2008 del CONATEL. EL espectro de frecuencia asignado está formado por 2 portadores CDMA para portadora 1X (voz y datos).

Las redes 1X & EVDO deben usar portadoras separadas debido al protocolo de las tecnologías.



### 8.3. Correspondencia de frecuencia de sistema y sub-clase de banda

Diseñador de Sistema	Sub-clase de Banda	Banda de Frecuencia de Transmisión (MHz)	
		Estación Móvil	Estación Base
A	0	454.400-457.475	464.400-467.475

### 8.4. Número de canal de CDMA para asignación de frecuencia CDMA

Transmisor	Número de Canal CDMA	Frecuencia del Centro para Canal CDMA (MHz)
Estación Móvil	$1 \leq N \leq 300$	$0.025 (N-1) + 450.000$
	$539 \leq N \leq 871$	$0.025 (N-512) + 411.000$
	$1039 \leq N \leq 1473$	$0.020 (N-1024) + 451.010$
	$1792 \leq N \leq 2016$	$0.020 (N-1792) + 479.000$
Estación Base	$1 \leq N \leq 300$	$0.025 (N-1) + 460.000$
	$539 \leq N \leq 871$	$0.025 (N-512) + 421.000$
	$1039 \leq N \leq 1473$	$0.020 (N-1024) + 461.010$
	$1792 \leq N \leq 2016$	$0.020 (N-1792) + 489.000$

### 8.5. Ajuste preferido CDMA de asignaciones de frecuencia

Diseñador de bloque	Números de canal ajustados preferidos
A	160, 210, 260

#### Referencias:

- [1] G.A.Vejarano, **Simulación de la Capa Física para Sistemas de Comunicaciones Móviles cdma2000 1X (Estándar TIA-2000.2-D)**, Universidad del Valle, Cali, Colombia, 2005.
- [2] M.R.Karim, M.Sarraf, **W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks**, McGraw-Hill, USA, 2002.
- [3] 3GPP2, **Band Class Specification for cdma2000 Spread Spectrum Systems Rev. A**, 2005.
- [4] 3GPP2, **Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Rev. D**, 2004.



## Capítulo 3

### TECNOLOGÍA cdma2000

#### 1. Introducción

Hoy en día las comunicaciones móviles desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de las actividades de las personas. No se limitan al servicio de voz, sino a aplicaciones móviles dirigidas a satisfacer necesidades empresariales, de entretenimiento y de acceso a la información.

Los sistemas de comunicaciones móviles han evolucionado en el tiempo, evoluciones que han sido clasificadas como generaciones, y cada generación se ha caracterizado principalmente por su tecnología de radio y por los servicios que puede ofrecer al usuario final con dicha tecnología. Para armonizar el desarrollo y adopción de las tecnologías de comunicación móvil de tercera generación (3G), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), a través de la iniciativa “International Mobile Telecommunications for the year-2000” (IMT-2000), definió las tecnologías 3G<sup>17</sup> y cinco caminos migratorios para llegar a dichas tecnologías<sup>18</sup> [1].

IMT-2000 ha definido cuatro sistemas 3G, de los cuales solamente uno está basado en TDMA (*time division multiple access*), mientras los otros tres UMTS W-CDMA (FDD), UMTS W-CDMA (TDD), y cdma2000, utilizan DS-CDMA (*direct-sequence CDMA*). Entonces, CDMA aparece como la tecnología preferida para comunicaciones inalámbricas debido a varias ventajas que ofrece y que incluyen la posibilidad de soft handoff y fortalezas frente a la propagación por multitrayecto.

Uno de estos caminos migratorios es CDMA Multi-Carrier, al que la ITU le ha

<sup>17</sup> INTERNATIONAL COMMUNICATION UNION. International mobile telecommunications-2000 (IMT-2000). s.l : ITU, 1997.

<sup>18</sup> INTERNATIONAL COMMUNICATION UNION. Detailed specifications of the radio interfaces of international mobile telecommunications-2000 (IMT-2000). s.l : ITU, 2002.

asignado la familia de estándares cdma2000<sup>19</sup>. Esta familia de estándares sugiere una adopción gradual de la tecnología, el primer paso es cdma2000 1X, seguido por cdma2000 1XEV-DO, y luego cdma2000 1XEV-DV.

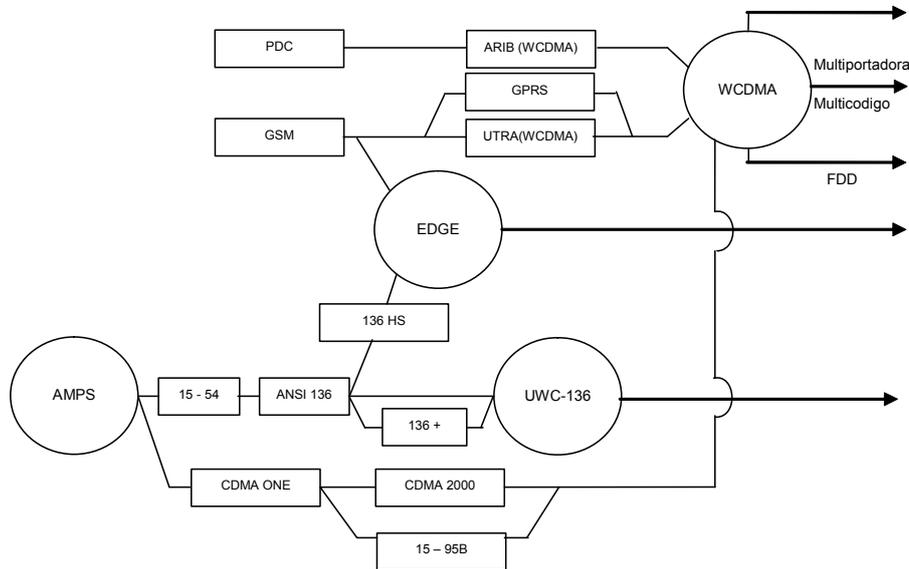


Figura 3.1: Caminos de evolución a 3G

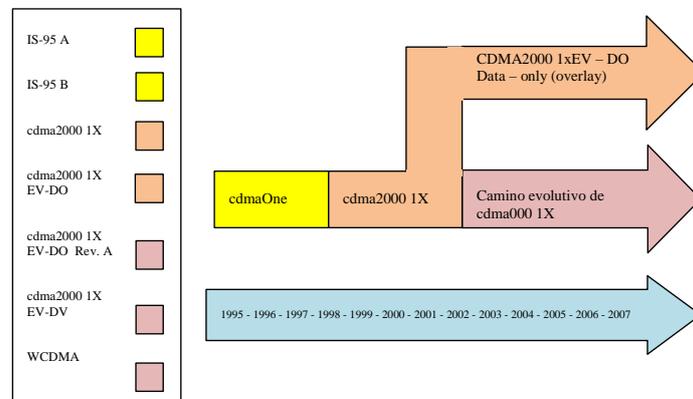


Figura 3.2 Fases Evolutivas para cdma2000

Este trabajo hace referencia a la aplicabilidad de la tecnología cdma2000 1X como tecnología inalámbrica aplicada preferentemente para un servicio fijo. La característica distintiva es que en este caso la interface de aire del sistema cdma2000 1X [2], es que la frecuencia de trabajo de la aplicación adoptada, es de

<sup>19</sup> TIA. Introduction to cdma2000 spread spectrum systems. s.l.: TIA, 2004. (TIA-2000.1-D)



450 MHz.

Cdma2000 es un sistema multiportadora, de secuencia directa CDMA FDD. Siendo cdmaOne su primera fase de desarrollo, es de esperarse que utilice una portadora simple con un ancho de banda de 1.25 MHz; en una segunda fase utilizarán 3 portadoras, que a pesar de que cada una es de 1.25 MHz, el ancho de banda total es de 5 MHz

## 2. Modelo TIA<sup>20</sup> para cdma2000

La tecnología cdma2000 es uno de los caminos migratorios hacia las tecnologías de comunicación móvil 3G. Está definida por la familia de estándares cdma2000 desarrollada en el proyecto 3GPP2<sup>21</sup> en el que organizaciones desarrolladoras de estándares de Estados Unidos, Japón, China y Corea se reúnen y formulan los estándares.

La familia de estándares cdma2000 se divide en tres grupos principales: estándares para la interfaz de aire, estándares para el mínimo desempeño, y estándares para servicios. El primer grupo se encarga de la pila de protocolos necesaria para que las aplicaciones puedan ejecutarse sobre la interfaz de aire entre la estación móvil y la estación base, en este grupo se definen la capa física<sup>22</sup>, la capa de control de acceso al medio (MAC)<sup>23</sup>, la capa de control de enlace (LAC)<sup>24</sup>, señalización en la capa 3, señalización analógica<sup>25</sup>.

El segundo grupo define los requerimientos mínimos en el desempeño de varios elementos del sistema cdma2000, por ejemplo el valor máximo de la densidad de potencia transmitida fuera del ancho de banda asignado a las estaciones móviles. El tercer grupo define un conjunto de servicios que es posible prestar al usuario

---

<sup>20</sup> TIA:

<sup>21</sup> [http://www.3gpp2.org/Public\\_html/Misc/AboutHome.cfm](http://www.3gpp2.org/Public_html/Misc/AboutHome.cfm)

<sup>22</sup> TIA. Physical layer for cdma2000 spread spectrum systems, Op. cit.

<sup>23</sup> TIA. Medium access control (MAC) standard for cdma2000 spread spectrum systems. (TIA-2000.3-D)

<sup>24</sup> TIA. Signaling link access control (LAC) standard for cdma2000 spread spectrum systems. (TIA-2000.4-D)

<sup>25</sup> TIA. Analog signaling standard for cmda2000 spread spectrum systems. (TIA-2000.6-D)

final en un sistema cdma2000, entre los servicios más destacados se tienen codecs de voz, mensajería corta (SMS), transmisión de datos, posicionamiento geográfico. En el presente trabajo es importante la especificación de la capa física<sup>26</sup> del grupo de estándares para la interfaz de aire, pues en este estándar se definen los parámetros que definirán la cobertura del sistema, y las especificaciones de requerimientos mínimos de desempeño de la estación móvil y la estación base.

En la figura 3.3 se muestra la arquitectura general de un sistema cdma2000 1X, cuyo funcionamiento se ha tomado de literatura proporcionada por Huawei [3], y se basa en el modelo referencia definido por la TIA<sup>27</sup>.

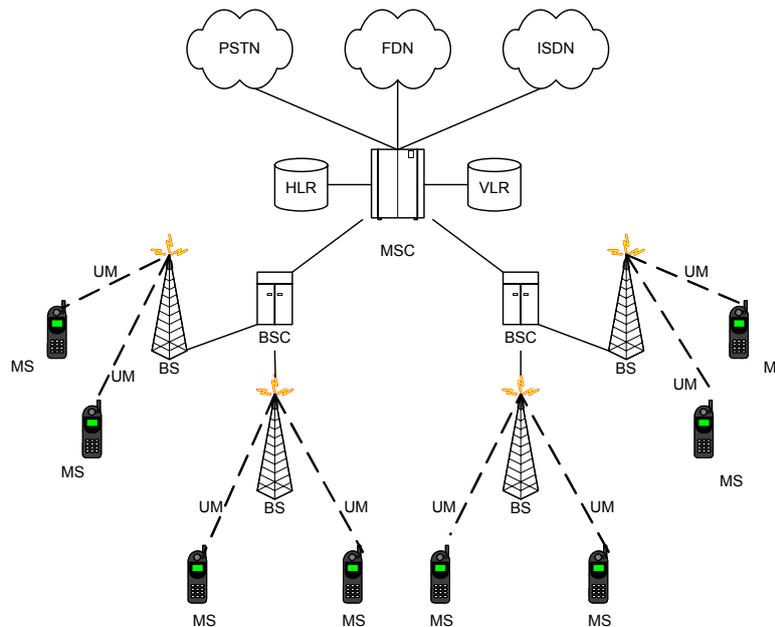


Figura 3.3 Sistema de comunicación móvil cdma2000

El enlace entre la estación móvil (MS) y la estación base (BS), que corresponde a la interfaz de aire de cdma2000 denominada Um en el modelo de referencia de la TIA, es la parte del sistema cdma2000 que se estudiará en el presente trabajo. Este enlace fue definido de tal forma que se ajuste al modelo OSI. A este conjunto

<sup>26</sup> TIA (Estados Unidos), Physical layer for cdma2000 spread spectrum systems

<sup>27</sup> TIA. Wireless network reference model. (TSB100-A)



de capas junto con el flujo de la información entre ellas se le denomina Arquitectura cdma2000. La Arquitectura cdma2000 puede ser vista en la figura 3.4.

En la figura 3.4 la capa física se muestra como una caja negra, ésta es un sistema de comunicación digital de exigentes prestaciones debido a los requerimientos del sistema de comunicaciones móviles. Posee un total de 34 canales directos e inversos, entre los que se encuentran canales de control y tráfico. Para acceder al medio compartido se usan canales CDMA, o sea que la técnica de acceso múltiple usada es multiplexación por división de código (CDMA), en la que la dispersión del espectro de cada canal se hace con DSSS, y cuya secuencia pseudoaleatoria tiene longitud  $2^{15}-1$ . La tasa de chips con la que se dispersan los Canales CDMA en sentido inverso siempre es un múltiplo entero de 1.2288 Mchip/s, y define la nomenclatura nX, es decir que si la dispersión se realiza con una secuencia a 1.2288 Mchip/s da lugar a un sistema cdma2000 1X, pero si se realiza con una secuencia a  $3 \times 1.2288$  Mchip/s da lugar a un sistema cdma2000 3X. Estas dos opciones se encuentran definidas en el estándar de la capa física cdma2000.

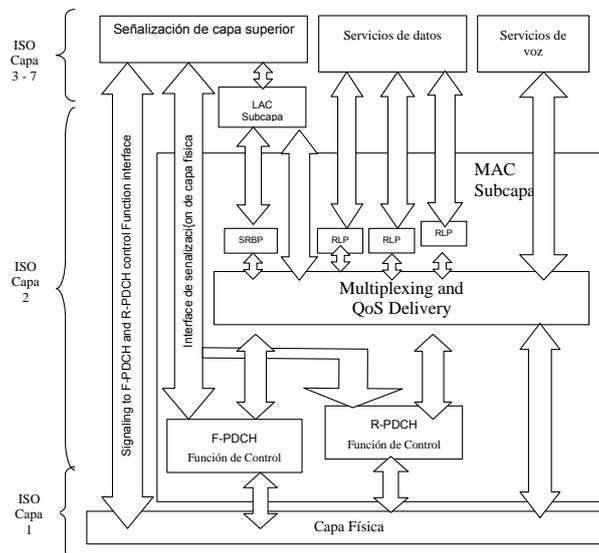


Figura 3.4. Arquitectura cdma2000. Fuente [2]



En la capa física se emplean diversas técnicas de comunicación digital, como técnicas de detección de error se usan códigos de redundancia cíclica, como técnica de corrección de error se usan códigos convolucionales, para la canalización se usan códigos Walsh, para evitar errores en ráfagas se usa intercalamiento. Ya que la dispersión del espectro de los canales CDMA se hace por DSSS, el sistema cdma2000 debe ejercer un estricto control en la potencia transmitida por cada una de las estaciones móviles, de tal forma que la potencia que recibe una estación base de cada una de las estaciones móviles que atiende debe ser la misma.

Algunas otras características importantes de la capa física de cdma2000 1X son: método dúplex FDD, espaciamiento entre portadoras 1.25 MHz, tipo de modulación HPSK y PNCQPSK, velocidad de transmisión 153,6 kbit/s.

### **3. CdmaOne**

Como fue mencionado IS-95 fue el primer sistema de telefonía celular en usar la tecnología CDMA con una velocidad de transmisión de datos de 14.4kbps. A este sistema se conoció luego como cdmaOne. Sin embargo ante la creciente necesidad de envío de datos el sistema evolucionó surgiendo la versión IS-95B permitiendo una transmisión mediante paquetes a 64kbps.

Los operadores del sistema IS-95B, han tratado de mejorar los servicios de voz y aplicaciones para poder migrar a la tecnología de tercera generación 3G. Como resultado el estándar cdma2000 ha sido desarrollado para tratar de cubrir los requerimientos 3G de tal forma que sea compatible con los sistemas de banda angosta IS-95 y poder entonces mejorar los servicios de voz y proveer mayor capacidad al sistema, además de ofrecer servicios de transferencia de información con una velocidad de transmisión de 2Mbps.

La tecnología cdma2000 es entonces una evolución directa de las tecnologías IS-95A e IS-95B, resultando difícil evitar citarlas cuando se explica la teoría de



cdma2000, si se quiere un claro entendimiento del estándar. Se presentarán solamente los aspectos básicos de la interface de aire de cdmaOne.

### **3.1. Canales Físicos**

El canal de reversa está compuesto por dos canales físicos: el canal de acceso, y el canal de tráfico. Una MS puede utilizar un canal de acceso para enviar mensajes de señalización tales como requerimientos para inicio de llamada, respuesta de búsqueda, mensaje de orden.

Un sistema podría tener uno o más canales de acceso, cada uno asociado con un canal de búsqueda. Un canal de tráfico lleva el tráfico de usuario, voz o datos, y podría también ser usado durante una llamada para enviar mensajes de señalización, tales como cumplimiento de handoff o un mensaje de medida de nivel de piloto, reporte de medidas de potencia a la BS, etc.

En el canal directo, hay cuatro clases de canales físicos: un **canal piloto**, un **canal de sincronismo**, hasta 7 **canales de búsqueda**, y hasta 55 **canales de tráfico**. En otra configuración, el canal de sincronismo y los de búsqueda podrían reemplazar a los de tráfico.

Por cada canal activo directo, hay un canal piloto que continuamente emite una portadora modulada por un código Walsh compuesto de ceros de manera que cada MS puede sincronizarse a la BS. Esta señal puede también ser usada como una referencia en una demodulación coherente y recuperación de temporización en la MS. De manera similar, una estación móvil puede medir el nivel de señal de un canal piloto, y reportar el resultado a la correspondiente BS de modo que esta puede decidir si es necesario un handoff.

El canal de sincronismo transmite información que habilita a las MS dentro del área de cobertura de una BS a adquirir una trama de sincronización luego de



adquirir la sincronización del canal de piloto. La tasa de información del canal de sincronismo es de 1.200 bps. La velocidad del canal es sin embargo 4.8 Kbps debido a que el flujo de sincronización está codificado en un código convolucional de  $\frac{1}{2}$  y luego repetido una vez antes de hacer intercalamiento. La supertrama de una canal de sincronismo es de 80 ms, mientras que la trama de un canal de tráfico es de 20 ms.

Un canal de búsqueda lleva información de overhead del sistema, tal como parámetros, parámetros de acceso, lista de canales CDMA, una lista de vecinos, así como mensajes dirigidos a los MS como mensajes de búsqueda general, alerta, alerta abreviada, liberación. La velocidad de información en una canal de búsqueda puede ser 9.6 Kbps o 4.8 Kbps. Los datos entrantes son codificados en un codificador convolucional de  $\frac{1}{2}$ . Los símbolos codificados son repetidos si la velocidad es de 4.8 Kbps, y se hace un intercalamiento antes de ser ensanchado por un código ortogonal.

El propósito del canal de tráfico directo es enviar al usuario mensajes de datos y señalización a la MS durante la llamada. La tasa de información en este canal puede ser 8.6 kbps, 4.0 kbps, 2.0 kbps, y 0.8 kbps.

### **3.1.1. Funciones de Transmisión en el Canal de Reversa**

Un diagrama de las funciones de transmisión en un canal de tráfico de reversa se muestra en la figura 3.5. Los flujos de datos de usuarios, que se originan a diferentes velocidades se organizan en tramas de 20 ms. Si la velocidad de datos es de 8.6 o 4.0 Kbps, algunos indicadores de calidad son incluidas en las tramas entrantes. Para asegurar una operación adecuada del codificador de canal, a todas las tramas entrantes se les incluye bits de control y luego se pasan al codificador convolucional de velocidad  $\frac{1}{3}$  y longitud 9.

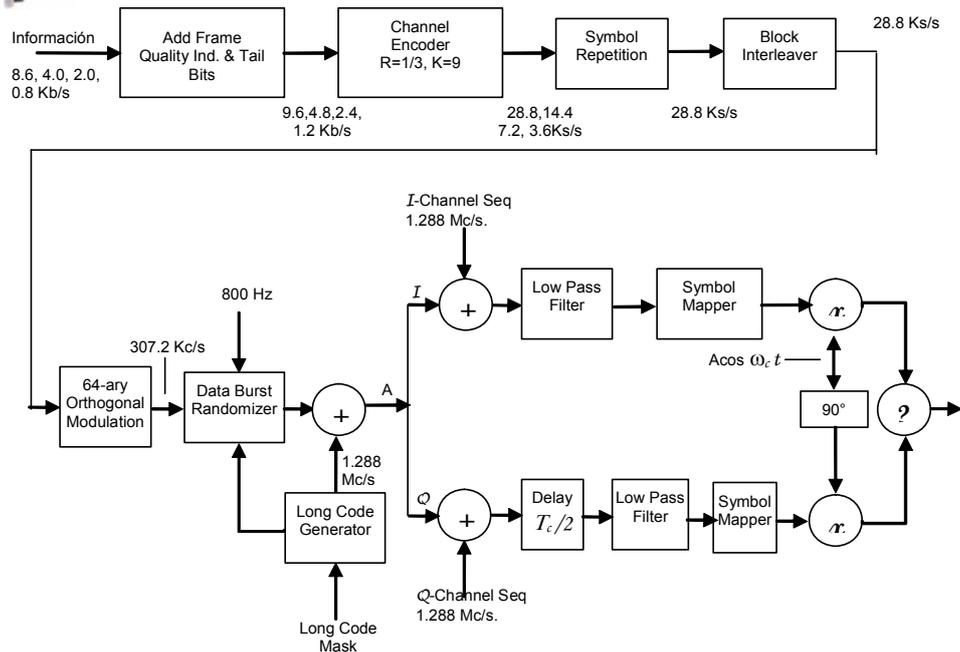


Figura 3.5. Funciones de transmisión de reverse (Uplink)

Para tener una velocidad constante a la entrada del intercalador sin importar la velocidad de datos de usuario, la codificación para velocidades menores (4.0 Kbps y menores) es repetida en el bloque de repetición de símbolos de modo que a la salida la velocidad es de 28.8 Kbps. Así, la salida del repetidor de símbolos consiste de 2 copias si la velocidad de datos es de 4 Kbps, 4 copias si la velocidad es 2.0 Kbps. Esta salida es aplicada al bloque intercalador de 20 ms de modo que cualquier bit está espaciado en el tiempo por 1.1111ms.

La salida del intercalador pasa a través de un modulador ortogonal, donde cada 6 bits de código es convertido en modulación de 64 bits utilizando una matriz Walsh de 64x64. La salida del modulador alimenta un aleatorizador de datos que acepta solo una copia de los datos a ser transmitidos. Para este fin, cada trama de 20 ms de la salida del intercalador es dividido en 16 bloques, o grupos de control de potencia, como se los llama. El transmisor es entonces activado solamente durante algunos de estos grupos, dependiendo de la velocidad de datos de usuario.

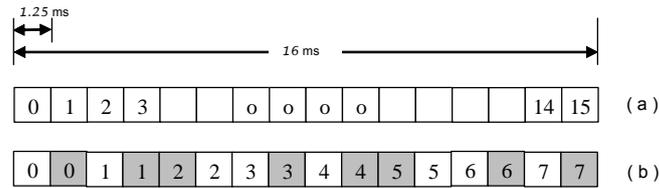


Figura 3.6. Trama de 20 ms

Por ejemplo si la velocidad es de 9.6 Kbps, el transmisor debe estar activo todo el tiempo. Si es de 4.8 Kbps, debería ser activado solo la mitad del tiempo. La parte b de la figura 3.6 muestra los grupos de control de potencia para una velocidad de datos de 4.8 Kbps. Notar que los primeros dos grupos marcados 0 y 0 tiene idéntico flujo de datos. De manera similar los grupos 1 y 1 son idénticos. Debido a que solo la mitad de los símbolos de código van a ser transmitidos, en un caso simple, el transmisor debería ser activado durante cada grupo alternativo. El aleatorizador selecciona los grupos durante el cual el transmisor es activado, dando seguridad a que un símbolo dado sea transmitido exactamente una vez. La selección aleatoria está indicada por los grupos sombreados de la figura 3.6 b.

En el diagrama de bloques, la salida del aleatorizador es ensanchada por un código largo, el cual es obtenido de la siguiente manera. La secuencia de salida del desplazamiento de registro de longitud máxima con característica polinomial de grado 42 se hace una operación AND con una máscara de código largo que es construido con el ESN del MS. Así, la máscara de código largo y la salida del generador de código largo son únicos para cada usuario. Debido a que la salida del aleatorizador es de 307.2 Kcps y la velocidad de chip es 1.2288 Mcps, cada bit es ensanchado por un factor de 4.

La salida resultante es dividida en dos secuencias, las secuencias I y Q, los que son ensanchados por secuencias piloto I y Q de offset cero, de período  $2^{15} - 1$  (chips) por un offset cero. Para minimizar la energía fuera de banda, las salidas resultantes son pasadas a través de un filtro pasa bajos con un ancho de banda nominal de 740 MHz. Las salidas filtradas son mapeadas en símbolos, y luego modulan la portadora.



Notar que los datos del canal Q, luego del ensanchamiento con la secuencia piloto PN del canal Q, es retrasada  $T_c/2$  antes de ser filtrada, donde  $T_c$  es el período de chip. Esto se conoce como modulación offset QPSK (OQPSK). Debido a que los canales I y Q están retardados por esta cantidad, solamente uno de ellos experimenta una transición de fase a un tiempo. Dado que en este caso, el máximo cambio de fase que puede tener lugar en cualquier momento es de solamente  $-90$  grados, la envolvente de la señal modulada nunca va a través de cero, y además, varía mucho menos que para QPSK. Consecuentemente, la señal resultante está adaptada para amplificación con amplificadores no lineales.

Las funciones de transmisión del canal de acceso de reversa son significativamente diferentes. Por ejemplo, hay solamente una tasa de datos para este canal, esta es de 4.4 Kbps. Así, los símbolos de código son repetidos solo una vez. Ningún aleatorizador es utilizado. Cada canal de acceso es ensanchado por un código largo, que es derivado de la misma manera que para el canal de tráfico de reversa excepto por una máscara de código largo que incluye el número de canal de acceso, número de canales de búsqueda, número de identificación de radio base, etc.

### **3.1.2. Funciones del Canal Directo**

La tecnología cdmaOne utiliza un sistema de referencia de escala global basado en un sistema de posicionamiento global sincronizado con el tiempo coordinado universal. Cada BS obtiene su base de tiempo. El diagrama funcional de un transmisor de BS se muestra en la figura 3.6.

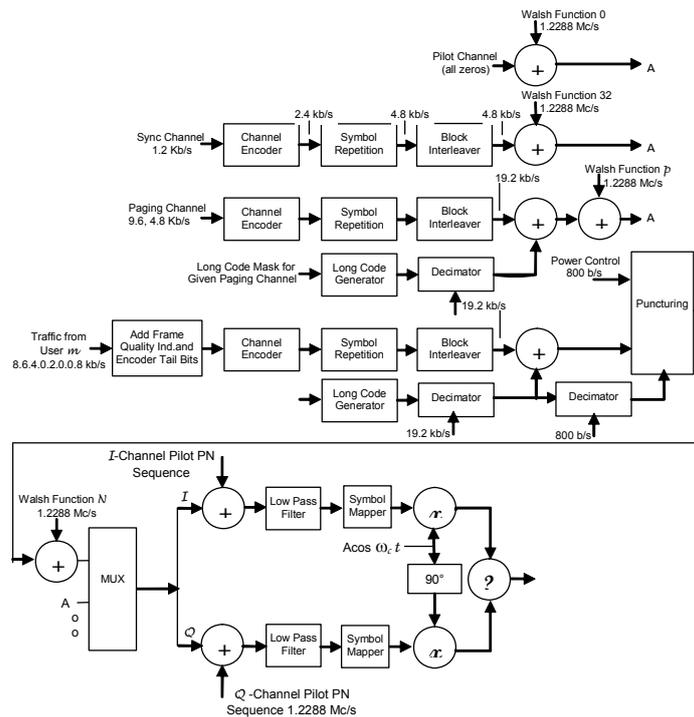


Figura 3.6. Funciones de transmisión en canal directo (Downlink)

El canal piloto lleva un patrón de todos cero y es ensanchado por una función Walsh  $W_0$ . El canal de sincronismo es utilizado para transmitir una secuencia de sincronización a 1.2 Kbps. Los datos son codificados con un código convolucional de velocidad  $\frac{1}{2}$  y longitud restringida a 9. La salida del decodificador de canal es repetida una vez de modo que la velocidad de bit resultante es de 4.8 Kbps. Pasa a través del bloque de intercalador y luego es ensanchada con una función Walsh 32  $W_{32}$ . Los datos del canal de búsqueda, que puede operar a 9.6 o 4.8 Kbps, está codificado con un código de velocidad  $\frac{1}{2}$ , repetición de símbolo, intercalado, aleatorizado, y ensanchado con funciones Walsh ( $W_1$ - $W_7$ ). El código de aleatorización es obtenido por una operación AND entre la salida de la secuencia de desplazamiento de registro con una máscara de 42 bits que incluye entre otras cosas, canales de búsqueda de 3 bits. La salida resultante es de 19.2 Kbps.

La velocidad de datos en el canal de tráfico directo puede ser 8.6, 4.0, 2.0, o 0.8 Kbps. Si la tasa es de 8.6 Kbps, 12 bits indicadores de calidad de trama (CRC) son incluidos cada trama de 20 ms mediante codificación en código de bloque



utilizando un generador polinomial de grado 12. Si la velocidad es de 4 Kbps, 8 bits de CRC son incluidos en cada trama se utiliza un generador polinomial de grado 8.

Para otras velocidades de datos, no se añade el CRC. Para restablecer el codificador, una secuencia de ceros es incluida en cada trama. La salida resultante es codificada, intercalada, repetida en una base símbolo a símbolo, y aleatorizada de la misma manera de un canal de búsqueda. Pero en este caso, la máscara de código largo de 42 bits es construida un número serial electrónico de 32 bits de un usuario particular.

Una vez cada 1.25 ms, un control de potencia con una duración de 2 símbolos de código es transmitido en el canal de tráfico directo para indicar a la MS si debe incrementar o disminuir su nivel de potencia de transmisión. Si el bit es un 0, el nivel de potencia debe ser incrementado, si es 1, debe ser disminuido. En realidad, cada bit de control de potencia es insertado en el canal tráfico directo por reemplazo (puncturing), de dos símbolos de código adyacentes, que son seleccionados de manera aleatoria para este propósito.

Los canales I y Q son ensanchados por dos secuencias piloto PN de período  $2^{15}-1$  chips con un offset con respecto a la secuencia de referencia PN. Este offset, que es único por cada BS, es expresado en términos de velocidad de chip y está dado por  $64n$  chips donde  $0 \leq n \leq 511$ . Así, cdmaOne es un sistema sincrónico donde cada estación base es identificada de una manera única por el índice offset  $n$ . Es útil mencionar que cada tipo de canal directo (piloto, paging, sync, y canales de tráfico) están en una MS por medio de códigos Walsh. Todos los códigos largos son los mismos, sin embargo, cada canal de búsqueda o canal de tráfico está asociado con una única máscara de código largo. Así, una MS puede separar los canales de tráfico desenganchando la señal recibida con un código Walsh (W8-W31, W33-W63) y el código largo de un usuario específico.



#### **4. Cdma2000**

Cdma2000 es una tecnología que cubre los requerimientos especificados por la ITU (International Telecommunications Union), para ser considerado un sistema de tercera generación. Inicialmente se propuso como una organización global para el desarrollo de tecnologías de tercera generación, sin embargo rápidamente se dedicó principalmente a dar soluciones para sistemas 3G basados en GSM y su evolución. Por lo tanto ANSI (American National Standards Institute) propuso la creación del 3GPP2 para desarrollar un estándar como evolución natural de IS-95, buscando crear un sistema de banda ancha que utilizara la tecnología CDMA.

La principal ventaja que ofrece cdma2000 sobre el resto de las propuestas IMT-2000 es el camino de migración del sistema de segunda generación cdmaOne hacia cdma2000 como sistema de tercera generación.

##### **4.1. Estructura de capas en cdma2000**

Los sistemas cdma2000 basan su estructura en el sistema OSI, la ventaja de seguir el sistema OSI es que cada capa trabaja de manera independiente estableciendo cada una de ellas comunicación con la capa superior e inferior inmediatas por medio de protocolos.

La estructura específica para el sistema cdma2000 en base al sistema OSI es la mostrada en la figura 3.7. En ella se observa que la capa de enlace se encuentra dividida en dos subcapas, siendo estas: la MAC (Media Access Control, Control de Acceso al Medio), y LAC (Link Access Control, Control de Acceso al Enlace). Por su parte las capas superiores se encuentran integradas, y se encargan principalmente de los servicios de voz, de envío de datos y señalización.

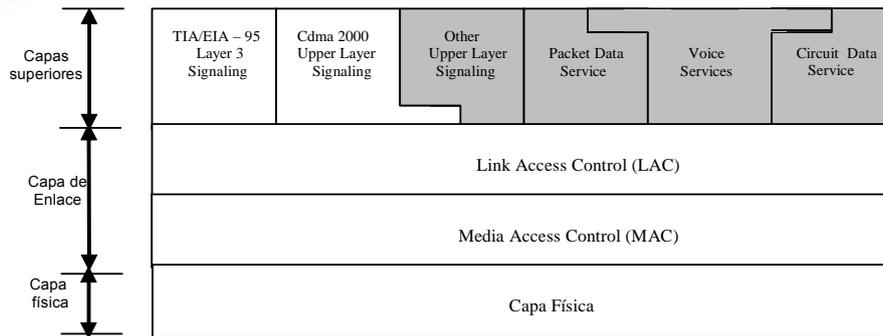


Figura 3.7 Estructura OSI para los Sistemas cdma2000

Al tener cdma2000 una estructura de capas le permite soportar servicios multimedia, tomando en consideración los siguientes aspectos: Capacidad para soportar múltiples sesiones, pudiendo ser éstas una combinación de diferentes tipos de servicios (voz, datos por paquetes o por conmutación de circuitos).

- Mecanismos de control tomando en cuenta conceptos de QoS.
- Tener un sofisticado Control de Acceso al Medio (MAC), que haga al sistema trabajar de manera eficiente.

#### 4.1.1. Capas superiores

Cdma2000 es una tecnología de flexible de estructura abierta ante la inclusión de servicios en las capas superiores. Dentro de los sistemas cdma2000 las capas superiores se encargan de dar servicios, clasificándose estos en las siguientes categorías.

- **Servicios de voz.** Se encarga de brindar servicios telefónicos de voz, incluyendo acceso a la PSTN y servicios de voz de móvil a móvil.
- **Servicio de datos.** Cdma2000 ofrece este servicio entregando la información de un usuario mediante paquetes de datos o por conmutación de circuitos.



- **Señalización.** Se encarga de controlar la operación de una estación móvil mediante el envío de mensajes dentro del sistema.

Una de las principales actividades que se realizan en las capas superiores es originar información de señalización entre las estaciones base y las estaciones móviles, teniendo que seguir para ello los siguientes estados durante el proceso:

- **Estado de Inicialización.** En este estado los móviles seleccionan el sistema a utilizar, adquiriendo su canal piloto, configuración y sincronía.
- **Estado de Inactividad (Idle).** Aquí se lleva a cabo la supervisión y monitoreo de los canales de control y de voice; además de generar mensajes de acknowledgement, de hand off, procedimientos de registro y si es necesario de reelección de red.
- **Estado de Acceso al Sistema.** En este estado los móviles se comunican con la estación base para revisar los mensajes enviados, monitoreando para ello los canales de búsqueda. También en este estado las estaciones móviles verifican si se requiere llevar a cabo un hand off.
- **Estado de Control de Tráfico.** En este estado los móviles inician y verifican la comunicación con una estación base mediante canales de tráfico del canal directo y de reversa.
- **Estado de Registro.** Después del control en el canal de tráfico, el móvil informa a la estación base sobre su localización e identificación.

#### **4.1.2. Capa de Enlace**

La capa de enlace soporta y controla los mecanismos que se encargan de los servicios de transporte de información; contando con niveles variables de QoS de acuerdo a las necesidades específicas de cada servicio ofrecido por las capas superiores. La capa de enlace también lleva a cabo acciones de rastreo de información lógica y de señalización dentro de los canales soportados, codificados



y modulados en la capa física durante su transporte hacia las capas superiores. La capa de enlace es dividida en dos subcapas:

- Link Access Control (LAC) y
- Medium Access Control (MAC).

#### **4.1.2.1. Subcapa LAC**

La subcapa LAC se encarga de transportar información mediante comunicaciones punto a punto a las capas superiores, siendo capaz de soportar una transmisión escalable y con la capacidad para conocer las necesidades y cambios en las entidades de las capas superiores, esto al ser rastreados los canales desde la capa física mediante información lógica y de señalización. La subcapa LAC da la QoS que requiere cada entidad de las capas superiores garantizando una entrega libre de errores, sin embargo cuando son requeridos servicios con QoS es mayor a la que puede ofrecer la subcapa LAC, entonces este servicio es dado directamente por la subcapa MAC. A continuación se listan las acciones de enlace soportados por la subcapa LAC:

- Señalización de la capa 2 para el sistema IS-95.
- Señalización de la capa 2 para el sistema cdma2000.
- Paquetizado de información de la capa 2 para sistemas cdma2000.
- Servicio de envío de información mediante circuitos conmutados de la capa 2 para sistemas cdma2000.
- Protocolo de enlace nulo (en situaciones donde la subcapa MAC es quien ofrece la calidad de servicios QoS adecuado).

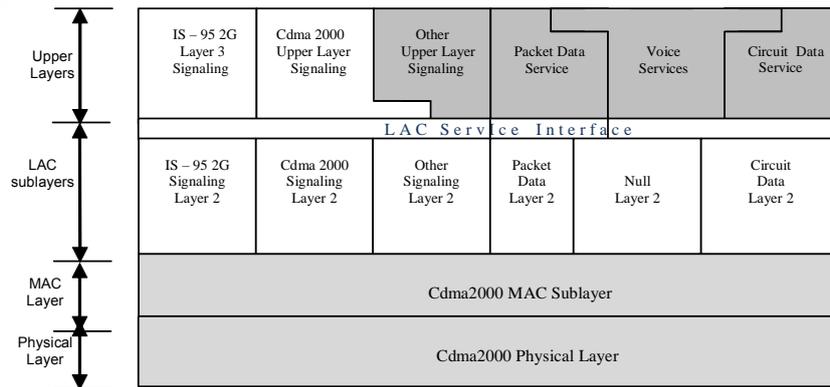


Figura 3.8 Componentes de la Subcapa LAC

#### 4.1.2.2. Subcapa MAC

La subcapa MAC se encarga de funciones de control y administración de recursos dados por la capa física, es decir los canales físicos codificados para envío de información sobre la interfase aérea, coordinando el uso de estos recursos para las entidades de la subcapa LAC.

La subcapa MAC para llevar a cabo sus actividades es dividida en las siguientes subcapas:

- Función Convergente Independiente de la Capa Física (The Physical Layer Independent Convergence Function PLICF).
- Función Convergente Dependiente de la Capa Física (The Physical Layer Dependent Convergence Function PLDCF).

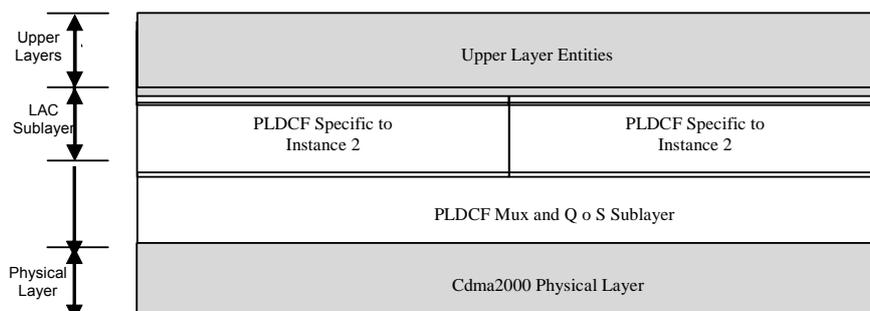




Figura 3.9 Estructura de la Subcapa MAC

### **“Physical Layer Independent Convergence Function” (PLICF)**

La PLICF es una componente de la capa MAC que da a conocer al sistema el estado de cada servicio que se esté llevando a cabo; siendo los siguientes algunos ejemplos de PLICF's:

- **Signaling PLICF.** Se encarga de la señalización en la capa LAC.
- **Packet Data PLICF.** Soporta servicio de paquetizado de datos.
- **Circuit Data PLICF.** Soporta servicio de datos por conmutación de circuitos.

Los servicios dados por PLICF's son definidos como un conjunto de canales lógicos que llevan diferentes tipos de control o información. Los servicios de datos PLICF deben de seguir una serie de estados, siendo éstos los siguientes:

- **Estado Nulo.** Es el estado previo a la activación de servicios de datos.
- **Estado de Inicialización.** Este estado comienza una vez que es solicitado algún servicio de datos.
- **Estado de Control.** Es un estado que permite mantener de manera continua o por intervalos de tiempo un canal de control dedicado entre un usuario y una estación base.
- **Estado Activo.** Durante este estado son asignados los canales de tráfico y de control de potencia para el envío de la información.
- **Estado Suspendido.** Es un estado en el que la información para el RLP es mantenida permanentemente de manera virtual o sólo por intervalos de tiempo entre el móvil y la estación base.
- **Estado Dormant.** Este estado se encarga de soportar la entrega de mensajes cortos de información por medio de ráfagas.



### **“Physical Layer Dependent Convergence Function” (PLDCF)**

La PLDCF provee de servicios a PLICF, incorporando procedimientos operacionales MAC y funciones tales como:

- Rastreo de canales lógicos PLICF en su trayecto hacia canales lógicos soportados por la capa física.
- Multiplexado y demultiplexado de señales de control y de información de diferentes instancias PLICF para una misma estación móvil.
- Implementación de Calidad en los servicios (QoS) y su rastreo desde la subcapa PLICF en su trayecto hacia los servicios adecuados de la capa física.

### **“The Instance Specific” PLDCF**

Esta es una subcapa PLDFC, siendo las siguientes actividades las que desempeña principalmente:

- Llevar a cabo rastreo de canales lógicos desde la subcapa PLICF hasta el interior de los canales lógicos soportados por la capa física.
- Desarrolla protocolos ARQ (automatic repeat request), que son integrados a la capa física. Dentro de la subcapa PLDCF son definidos cuatro protocolos ARQ :
  - ✓ **Radio Link Protocol (RLP)**. Este protocolo se encarga de llevar la información entre las diferentes entidades PLICF; operación que puede ser llevada a cabo en dos modos: no transparente y en modo transparente. En modo no transparente segmentos de información son retransmitidos al no ser entregados de manera adecuada por la capa física; mientras que el modo transparente no retransmite información, sino que se encarga de mantener la sincronía adecuada



en el envío de los paquetes entre el transmisor y receptor, así como el orden en que fueron enviados para evitar pérdidas de información.

- ✓ **Radio Burst Protocol (RBP)**. Este protocolo entrega segmentos cortos de información mediante canales de tráfico de acceso común (common traffic channel ctch), evitando así el uso de canales de tráfico dedicados (dedicated traffic channel dtch).
- ✓ **Signaling Radio Link Protocol (SRLP)**. Provee de servicios de señalización al RLP, siendo necesario el uso de canales de señalización dedicados (dedicated signaling channel dsch).
- ✓ **Signaling Radio Burst Protocol (SRBP)**. Se encarga de entregar mensajes de señalización al RBP, haciendo uso de un canal de señalización común (Common Signaling Channel csch).

## **PLDCF MUX y la subcapa QoS**

Las principales actividades que desempeña la subcapa PLDCF MUX and QoS es coordinar el multiplexado y demultiplexado de instancias PLICF, así como proveer de la calidad en los servicios para las mismas.

### **4.2. Canales Cdma2000**

#### **4.2.1. Convención de Nombres para canales lógicos**

Las siglas del nombre de un canal lógico lo forman tres letras, las cuales van seguidas de la terminación “ch” que hace referencia a la palabra “channel”. La siguiente es la convención de letras utilizadas:

**f** = Forward **d** = Dedicated **t** = Traffic

**r** = Reverse **c** = Common **m** = MAC

**s** = Signaling



#### **4.2.2. Canales Lógicos usados por PLICF**

Son los canales lógicos utilizados por las entidades PLICF para ofrecer sus servicios, siendo estos los siguientes:

- **Canales de Tráfico Dedicados (Dedicated Traffic Channel f/r-dtch):** Es un canal lógico utilizado tanto en el canal directo como en el canal reverso para llevar información de tráfico de un determinado usuario.
- **Canales de Tráfico Comunes (Common Traffic Channel f/r-ctch):** Este canal también es utilizado tanto en el forward como en el reverse link y se encarga del envío de ráfagas de información. El acceso a la información de este canal es compartido entre varias estaciones móviles y sólo una instancia PLICF.
- **Canales MAC Dedicados (Dedicated MAC Channel f/r-dmch\_control):** Este canal es usado para el envío de mensajes de control MAC punto a punto dirigido a una sola instancia PLICF.
- **Canal MAC Común para el Reverse Link (Reverse Common MAC Channel r-cmch\_control):** Es un canal que sólo es utilizado en el canal reverso y se encarga del envío de mensajes MAC, información que es compartida entre varios usuarios.
- **Canal MAC Común para el Forward Link (Forward Common MAC Channel f-cmch\_control):** Este canal es utilizado por la estación base para envío de información de mensajes MAC siendo este canal punto-multipunto.
- **Canal de Señalización Dedicado (Dedicated Signaling Channel dsch):** Lleva información de señalización de las capas superiores hacia una sola instancia PLICF.
- **Canal de Señalización Común (Common Signaling Channel csch):** Lleva información de señalización de las capas superiores siendo ésta compartida entre varias estaciones móviles y una instancia PLICF.



### **4.3. Capa Física**

#### **4.3.1. Ensanchamiento de la información**

El sistema cdma2000 cuenta con una velocidad de chip de hasta 3.6864 Mcps, siendo necesario 3.75 MHz de ancho de banda, que es tres veces el requerido en los sistemas IS-95 (1.25MHz). Cdma2000 también puede soportar velocidades de transmisión de  $N \times 1.2288$  Mcps, con valores para  $N= 3, 6, 9$  y  $12$ . Se distinguen dos técnicas de modulación para esparcir la información:

- Direct-Spread Modulation (Modulación por Espectro Extendido de Secuencia Directa).
- Multicarrier Modulation (Modulación Multiportadora).

**Modulación de Secuencia Directa:** En este tipo de modulación los símbolos son esparcidos dependiendo de la velocidad de transmisión, ocupando sólo una portadora con un ancho de banda de  $N \times 1.25$  MHz.

**Modulación Multiportadora:** En este caso los símbolos son demultiplexados y transmitidos en señales separadas en el canal directo, utilizando  $N$  portadoras y cada una con un ancho de banda de 1.25 MHz. En cuanto al esparcimiento de la información de un usuario en el canal reverso, éste se lleva a cabo al usar sólo una portadora con un ancho de banda de 3.75 MHz.

En la siguiente figura se ejemplifican ambas técnicas de modulación con una  $N=3$

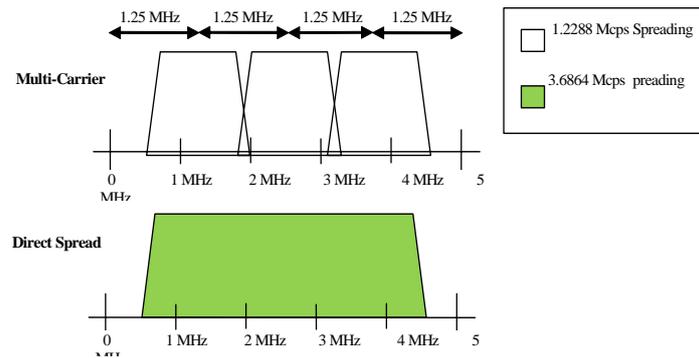


Figura 3.12 Modulación Multi-portalora y Modulación de Secuencia Directa

La capa física dentro del sistema cdma2000 se encarga de los servicios de codificación y modulación requeridos por la subcapa PLDCF Mux and QoS; para ello se requiere el uso de canales tanto dedicados como comunes para el canal directo y reverso. Los canales dedicados para el canal directo y reverso, son canales que llevan información punto a punto entre una estación base y un móvil en particular; mientras que en los canales comunes, la información se lleva de modo punto-multipunto entre una estación base y múltiples móviles.

#### 4.4. Canal Directo

##### 4.4.1. Canales Físicos del Canal Directo

Cdma2000 cuenta básicamente con los mismos canales que cdmaOne: los canales piloto, de sincronía, de búsqueda y de tráfico; sin embargo en cdma2000 le son agregados canales adicionales para llevar a cabo acciones específicas y lograr un mejor desempeño del sistema. En la siguiente figura se muestra la estructura de canales para el canal directo.

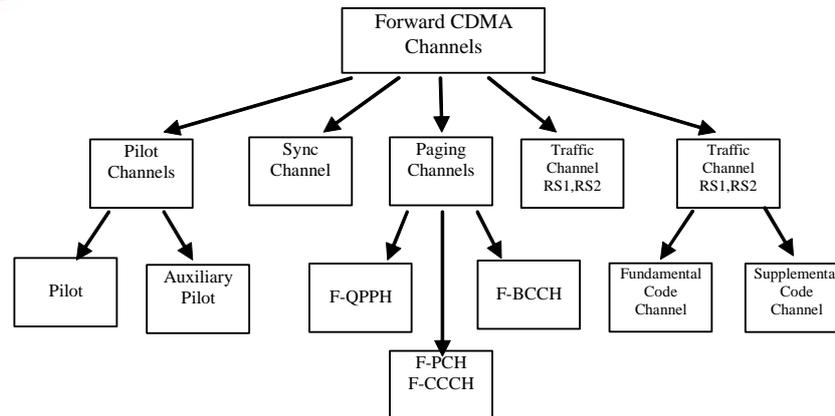


Figura 3.13 Canal directo en cdma2000

Los canales utilizados por el canal directo en la capa física se definen a continuación:

- **Canal Piloto (Pilot Channel F-PICH):** Se encarga de dar la información de tiempo y fase a los móviles de una celda. El canal piloto envía una secuencia de ceros, siendo ésta secuencia el código Walsh cero ( $W_0$ ), pero con un offset distinto para cada celda, al igual que en los sistemas IS-95.
- **Canal Piloto Auxiliar Dedicado (Dedicated Auxiliary Pilot Channel F-DA-PICH):** Un canal piloto auxiliar es generado para un móvil en particular, aumentando de esta forma la cobertura y la velocidad de transmisión hacia dicho móvil.
- **Canal de Sincronismo (Sync Channel F-SYNC):** El canal de sincronismo es utilizado por las estaciones móviles para adquirir el tiempo de sincronía del sistema, utilizando para ello el código Walsh 32 ( $W_{32}$ ).
- **Canal de Búsqueda (Paging Channel F-PCH):** Este canal es utilizado en el envío de información de control, mensajes de asignación de canales, mensajes de acknowledgment, así como requerimientos de estatus. La velocidad de transmisión a la que trabajan estos canales es la misma que en los sistemas IS-95B siendo de 9.6kbps ó 4.8 kbps.
- **Canal de Búsqueda Rápido (Quick Paging Channel F-QPCH):** Este tipo de canal es usado por una estación base cuando necesita estar en contacto



con algún móvil en modo slotted, gastando de esta forma menos energía. Este mensaje es enviado 80 ms antes que el enviado por el canal de búsqueda con el propósito de alertar a los móviles a escuchar el mensaje de búsqueda.

- **Canal de Control Común (Common Control Channel F-CCCH):** Este canal es usado para establecer la comunicación entre la capa 3 y los mensajes de la subcapa MAC.
- **Canal Fundamental (Fundamental Channel F-FCH):** Son canales transmitidos con velocidad variable, siendo estos canales equivalentes a los de tráfico en los sistemas IS-95. Estos canales usan códigos ortogonales y tramas de 20 y 5ms. Una trama de 20 ms es capaz de soportar las velocidades de transmisión que corresponden al rango 1 (9.6, 4.8, 2.7 y 1.5 kbps) y al rango2 (14.4, 7.2, 3.6, 1.8 kbps).
- **Canal Suplementario (Forward Supplemental Channel F-SCH):** Son canales que soportan servicios de transmisión de datos, siendo la red la que se encarga de coordinar el envío de los paquetes. Este tipo de canales soportan una velocidad de transmisión en un rango de 9.6 a 307.2 kbps.
- **Canal Dedicado para Control (Dedicated Control Channel F-DCCH):** Su principal función es el envío de información de señalización.

Para el transporte de tráfico son utilizados de manera específica los canales fundamentales para la información de voz, canales suplementarios para datos y los canales de control dedicados F-DCCH para señalización e información en el control de potencia.

#### **4.5. Diversidad**

El hacer uso de recursos de diversidad ayuda a reducir la potencia de transmisión requerida para el envío de información, mejorando de esta forma la capacidad del sistema. La diversidad de transmisión en el canal directo puede darse mediante la diversidad multiportadora y por la diversidad espectro extendido.



- **Diversidad de Transmisión Multiportadora:** La diversidad multiportadora se da en el canal directo al utilizar una modulación donde un subconjunto de portadoras son transmitidas sobre diferentes antenas. Dentro de una transmisión multiportadora con  $N=3$  ( $3 \times 1.25$  MHz), la información codificada es separada en tres cadenas de datos paralelas, y cada una de éstas cadenas va a ser transmitida en diferente portadora, requiriéndose para su transmisión de una antena por cada una de ellas. Las principales características al hacer uso de un enlace multiportadora son las siguientes:
  - ✓ La información codificada se transmite haciendo uso de varias portadoras cada una con un ancho de banda de 1.25MHz.
  - ✓ La diversidad en frecuencia equivale a esparcir la señal sobre una portadora de banda ancha.
  - ✓ A cada canal del canal directo se puede asignar un código Walsh idéntico sobre cada portadora.
  
- **Diversidad de Transmisión por Espectro Directo:** Este tipo de diversidad se lleva a cabo al separar en dos la información codificada y siendo estas cadenas transmitidas por antenas diferentes. Un código ortogonal es usado por cada antena para esparcir la información y así evitar la interferencia por desvanecimiento entre las dos cadenas.

#### **4.6. Modulación Ortogonal**

En cdma2000 los canales físicos son modulados por códigos Walsh para tratar de reducir o eliminar el ruido entre celdas o sectores, dada la limitación que representa la cantidad de códigos Walsh disponibles es necesario utilizar la modulación QPSK antes de efectuar el esparcimiento de la información, dando como resultado el incremento en la cantidad de códigos Walsh útiles en un factor de dos. Para ello cada dos bits de información es mapeado por sólo un símbolo QPSK. Otra forma de poder generar códigos Walsh adicionales es aplicarles una máscara a los códigos Walsh iniciales, obteniendo así códigos llamados quasi-ortogonales.



#### **4.7. Control de Potencia**

Dentro del sistema cdma2000 se implementa un Fast-Forward Power Control (FFPC) para el control de potencia en el forward link. Cdma2000 especifica un fase closed loop power control (control de potencia de lazo cerrado rápido) a 800Hz, proponiendo dos esquemas de control de potencia:

**Single-Channel Power Control.** Control de potencia que se basa en el desempeño que tengan tanto los canales F-FCH y F-SCH a altas velocidades de transmisión.

**Independent Power Control.** El control de potencia para los canales F-FCH y F-SCH es determinado en base a la ganancia por separado de cada uno de ellos.

Las estaciones móviles en el forward link de los sistemas cdma2000 son capaces de soportar un control de potencia de lazo interno y externo (inner and outer loop power control) para los canales de tráfico. El outer loop estima el valor de la señal a ruido de cada canal de tráfico asignado mediante el Frame Error Rate (FER). Por su parte el inner loop compara la señal a ruido recibida del canal de tráfico del forward con el correspondiente outer loop setpoint para determinar el valor del control de potencia a ser enviado cada 1.25 ms sobre el Reverse Power Control Subchannel (Subcanal de Control de Potencia en el Reverse Link) [Ref. 4.11].

#### **4.8. Modulación y Spreading**

Un sistema cdma2000 con  $N=1$  es totalmente compatible con los sistemas IS-95, pudiendo utilizar ambos sistemas los mismos canales para el canal directo al ser requerido el mismo ancho de banda. En cdma2000, a los datos de los usuarios con modulación de espectro extendido se les aplica un scrambling mediante el uso de secuencias PN largas, seguido de un mapeo con secuencias PNI y PNQ. Posteriormente la señal es amplificada agregándole también información de



control de potencia para entonces ser esparcida mediante el uso de códigos Walsh, para luego ser filtrada y modulada.

Por su parte en los sistemas multiportadora antes de realizarle a un usuario en particular el proceso de scrambling, su información es demultiplexada en N portadoras, pudiendo N tomar los valores de 3, 6, 9 y 12. Cada portadora de manera individual es entonces mapeada por las secuencias PNI y PNQ, para después serle aplicada una ganancia. Posteriormente se le agrega información de control de potencia para luego ser esparcida por un código Walsh a una velocidad de transmisión de 1.2288 Mcps, para entonces pasar por un filtro pasabanda y ser modulada mediante QPSK. Los sistemas cdma2000 multiportadora reutilizan el espectro de frecuencias del sistema IS-95, coexistiendo ambos sistemas al codificar los canales de manera ortogonal.

#### 4.9. Canal Reverso

##### 4.9.1. Canales Físicos del Canal Reverso

Cdma2000 al igual que en cdmaOne cuentan con canales de acceso y de tráfico; siendo agregado en los sistemas cdma2000 un canal piloto que le permite al sistema ser más eficiente al poder llevar a cabo una demodulación coherente de la información de los usuarios. La siguiente figura 3.14 muestra la estructura de canales para el canal reverso.

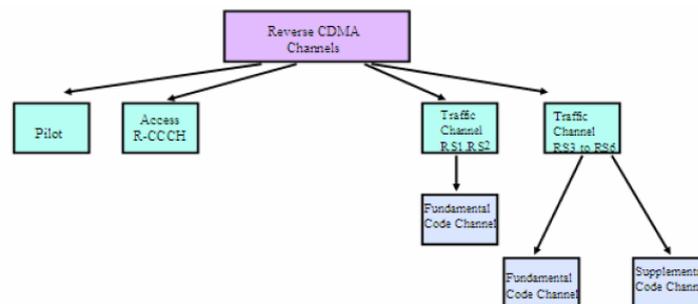


Figura 3.14 Canal Reverso en cdma2000



- **Canal Piloto (Pilot Channel R-PICH):** Este canal lleva un valor de referencia coherente e información para el control de potencia en el proceso de multiplexado del canal directo; además en este canal las estaciones móviles insertan un Reverse Power Control Subchannel sobre el R-PICH para dar información sobre la calidad del canal directo, información que es recibida a una velocidad de transmisión de 1 bit cada 1.25 ms.
- **Canal de Acceso (Access Channel R-ACH) and Reverse Common Control Channel (R-CCCH):** Son canales utilizados para establecer comunicación entre la capa 3 y los mensajes de la subcapa MAC, información que es enviada por los móviles a las estaciones base.
- **Canales Fundamentales y Suplementarios (Fundamental and Supplemental Channels):** El tráfico de voz y datos son transportados en el canal reverso sobre los canales R-FCH y R-SCH
- **Canal Dedicado para Control (Dedicated Control Channel R-DCCH):** Estos canales se encargan de enviar información de control a un móvil en específico en el canal reverso.

### **Características del Canal Reverso**

En cdma2000 una estación móvil utiliza varios canales al mismo tiempo para multiplexar y transmitir datos sobre el reverse link, cubriendo principalmente dos funciones: el envío de mensajes MAC y el envío de información de voz y de datos. El reverse link en cdma2000 además cuenta con una detección coherente y un fast forward link power control.

**Canal Piloto Continuo:** El reverse link cuenta con una señal piloto continua, que es utilizada por las estación base para llevar a cabo búsquedas multiruta, rastreo y demodulación coherente, además de ser usado para obtener la calidad de enlace para propósitos de control de potencia.

**Canales de Datos Independientes.** El reverse link usa dos tipos de canales físicos (canales fundamentales y suplementarios), optimizando de esta forma el



sistema al poder proveer servicios de manera simultánea, pues los canales son codificados por separado.

**Control de Potencia.** Hay tres componentes para el control de potencia en el reverse link: open loop (lazo abierto), closed loop (lazo cerrado) y outer loop (lazo externo).

En el control de potencia mediante el open loop la potencia a transmitir se basa en la potencia recibida por el móvil, compensado las pérdidas por ruta entre la estación móvil y la estación base.

El control de potencia mediante el closed loop consiste de un lazo de retroalimentación con una velocidad de 800bps desde la estación base al móvil, esto para proveer la potencia de transmisión al móvil. Por su parte, el outer loop power control sirve para ajustar el closed loop power control.

**Longitud de las Tramas:** Cdma2000 usa frames de 5 y 20 ms para el control de información en canales dedicados y canales fundamentales, mientras que para voz y datos sólo utiliza frames de 20 ms.

#### **Modulación en el Reverse link.**

El reverse link usa modulación direct sequence spreading con una velocidad de chips de  $N \times 1.2288$ , para valores de  $N=1, 3, 6, 9$  y  $12$ , con anchos de banda de 1.2288, 3.6864, 7.3728, 11.05592 y 14.7456 Mcps respectivamente.

#### **Detección Coherente en el Reverse Link.**

La detección coherente puede mejorar el desempeño en el reverse link en 3dB en comparación a una recepción no coherente usada en los sistemas cdmaOne [Ref. 4.8].



#### **4.10. Ventajas de cdma2000**

**Incremento en la capacidad de voz:** La capacidad de los sistemas mejora al contar el canal directo con un control de potencia rápido y diversidad en la transmisión; por su parte en el reverse link al contar una detección coherente contribuye también al mejoramiento de la capacidad del sistema.

**Sincronización:** La sincronía de las estaciones base para llevar a cabo la transmisión del canal directo se basan en sistemas satelitales como GPS, Galileo o GLONASS; mientras que en el canal reverso se sincroniza en base a la primera componente multitrayecto usada por una estación móvil.

Al estar sincronizadas todas las estaciones base se obtiene una mejora en la adquisición de canales y búsqueda de una nueva célula durante el proceso de hand-off.

**Control de Potencia:** En cdma2000 los canales son controlados tanto en el canal directo como en el reverso con una frecuencia de 800 Hz, mientras que en sistemas IS-95 el control de potencia sólo se lleva a cabo en el reverse link.

**Diversidad en la transmisión:** La diversidad en la transmisión consiste en demultiplexar y modular la información en dos señales ortogonales y cada una de ellas es transmitida por una antena diferente a la misma frecuencia. En el receptor se reconstruye la señal original usando la diversidad de las señales.

**Canales de Voz y Datos:** En cdma2000 los canales de tráfico incluyen varios canales físicos cada uno utilizado para transportar determinada información, obteniendo así una mejora en el desempeño del sistema.

Los canales fundamentales (F-FCH) transportan voz, datos y señalización; los canales suplementarios (F-SCH) sólo son utilizados para soportar envío de



información de datos; mientras que los canales de control dedicado (F-DCCH) son usados para señalización.

#### **4.11. 1xEV-DO**

Cdma2000 1xEV-DO es una tecnología IMT-2000 reconocida como tal durante la conferencia de Suecia en 2001, comercialmente fue introducida en 2002. Cdma2000 1xEV-DO es la primera fase evolutiva de los sistemas cdma2000, siendo sus características especificadas por el 3GPP2 bajo el título de IS-856 conocida también como HDR (High Data Rate).

En este sistema las estaciones base son llamadas Access Networks (AN) y las estaciones móviles como Access Terminals (AT). Dentro de las siglas 1xEV-DO el prefijo 1x hace referencia al uso de portadoras con un ancho de banda de 1.25 MHz, EV hace alusión a EVolution, mientras que DO significa Data Optimized; indicando que 1xEV-DO fue diseñado para hacer más eficiente la transferencia de datos con respecto a cdma2000.

La principal diferencia de 1xEV-DO con respecto a cdma2000 es la velocidad de transmisión que puede entregar, así la velocidad en canal directo link puede llegar a ser hasta 10 veces mayor que en IS-95 y tres veces mayor que cdma2000, ya que 1xEV-DO cuenta con un mejor sistema de multiplexación por división de tiempo; así pues durante la transmisión de información hacia una estación base la estación móvil emplea la potencia que requiere para obtener la mayor velocidad de transmisión posible para un usuario en particular.

En los sistemas 1xEV-DO las estaciones base y routers de la red son dinámicos al tomar la decisión de qué estación móvil será la siguiente que envíe información, asignando a los usuarios los time slots que requiera en base a los cambios en las condiciones de los canales de radiofrecuencia.



Las estaciones base en sistemas 1xEV-DO envían y reciben información de los móviles a diferentes velocidades, lo anterior con el objetivo de optimizar el ancho de banda disponible; pudiendo variar la velocidad de transmisión en el canal directo entre 38.4 a 2457.6 kbps, mientras que en el canal reverso es en el rango de 9.6 y 156.3 kbps.

**Referencias:**

- [1] G.A.Vejarano, **Simulación de la Capa Física para Sistemas de Comunicaciones Móviles cdma2000 1X (Estándar TIA-2000.2-D)**, Universidad del Valle, Cali, Colombia, 2005.
- [2] TIA. **“Physical layer for cdma2000 spread spectrum systems”**, (TIA-2000.2-D), USA, 2004.
- [3] Huawei. **“Maintenance Training”**, China, 2009.
- [4] M.R.Karim, M.Sarraf, **W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks**, McGraw-Hill, USA, 2002.



## **SECCION II**

# **Fundamentos de Modelos Digitales del Terreno**



## Capítulo 4

### Modelo Digital de Elevaciones

#### 1. Introducción

La cartografía clásica está siendo desplazada por la aparición de los modelos digitales de terrenos cada vez más precisos, que en la actualidad se encuentran disponibles comercialmente, o en otros casos son acceso libre. Comenzaron a ser utilizados desde los años 80, y su uso ha ido creciendo en los años 90 con la aparición de los sistemas de información geográfica (SIG).

En el presente capítulo se muestran los aspectos básicos del tratamiento digital de la información cartográfica exponiendo las bases conceptuales, así como métodos de construcción y tratamiento de los modelos digitales del terreno (MDT)<sup>28</sup>.

La utilización de medios informáticos en un ámbito antes estudiado en "formatos analógicos", permite el planteamiento y la resolución de problemas mediante enfoques diferentes, y permite alcanzar nuevos objetivos en la investigación. El ensayo de modelos de propagación radioeléctrica que incluyen la topografía del terreno se puede realizar con mayor facilidad, esta ha sido una de las principales motivaciones para desarrollar el presente trabajo.

No se ha encontrado gran abundancia de información en textos formales que incluyan un alto contenido conceptual de la modelación digital del terreno; la mayor cantidad de información se encuentra en la documentación técnica y manuales de programas de software con aplicaciones de SIG como ArcGis, o Matlab. Una dirección muy útil para aclarar conceptos fundamentales es <http://www.geom.unimelb.edu.au/gisweb><sup>29</sup>.

---

<sup>28</sup> MDT es una representación de características del terreno. Es un MDE (Modelo Digital de Elevaciones) si representa alturas del terreno.

<sup>29</sup> "GIS self learning tool". Universidad de Melbourne Australia



## **2. Los Modelos Digitales del Terreno y la Propagación Radioelétrica**

Para un ingeniero de telecomunicaciones la utilización de una herramienta basada en MDT es particularmente útil, y aquellos que han sido testigos de la evolución de las herramientas disponibles podrán otorgar el valor real que tienen. Pero si además es posible construir sus propias herramientas que se ajusten a sus necesidades particulares, entonces estamos frente a múltiples retos.

La concepción tradicional de lo que es la cartografía y de las formas de trabajo que se apoyan en ella, se han visto profundamente transformadas [1]:

- El tratamiento manual de la información cartográfica se ha transformado con la integración de la misma en los sistemas de información geográfica. La concepción del mapa impreso ha cambiado y se ha reconocido que un mapa puede ser representado también mediante un conjunto de datos numéricos donde se encuentran recogidas, implícita o explícitamente, las relaciones espaciales de los elementos cartografiados.
- La disponibilidad de diversas fuentes de información cartográfica constituye un desafío en la investigación y desarrollo de herramientas en diversas áreas de la ingeniería.
- Surge la necesidad de intentar ligar las variables recogidas en un MDT, con variables utilizadas en los modelos teóricos de propagación radioelétrica.

### **3. Definición de los Modelos Digitales del Terreno [1]**

Un modelo digital del terreno se define como ***un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio***. Se utiliza el término “digital” en el concepto, para diferenciarlo de los modelos analógicos. Un **MDE**<sup>30</sup> es modelo digital de elevaciones.

La diferencia básica entre los modelos digitales y los modelos analógicos consiste

---

<sup>30</sup> DEM en inglés: Modelo Digital de Elevaciones



en que los primeros están codificados en cifras, lo que permite su tratamiento informático, requiriéndose de un proceso de codificación de la información, que permite una representación virtual en forma de cifras. Las relaciones espaciales o las características que se desean representar son llevadas a diferentes tipos de estructuras numéricas (vectores, matrices).

Los MDT pueden ser contruidos directamente a partir de la realidad que se desea representar, pero lo habitual es que exista un modelo analógico intermedio a partir del cual se realiza la codificación; pueden ser cartas topográficas, mapas, hasta modelos obtenidos con la ayuda de la tecnología satelital. Por este motivo, los MDT han sido entendidos como una versión digital (y por tanto codificada) de los mapas convencionales por lo que se les suele denominar *mapas virtuales*.

En general, la característica a representar no es la altitud. Esta característica, aunque puede parecer evidente, debe ser destacado ya que es habitual identificar los MDT con los modelos digitales de elevaciones MDE, cuando en realidad pueden ser representadas muchas otras propiedades del terreno. Particularmente en el presente trabajo se utilizan dos tipos de representación: el de elevaciones, otro de densidad de población. Se podría utilizar la definición propuesta por [1] para el modelo digital del terreno: “*un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua*”.

En el ámbito de los MDT, los MDE describen la altimetría de una zona mediante un conjunto de datos acotados. Algunos modelos más sencillos pueden construirse exclusivamente con la información del MDE y reflejar características simples como pendientes, orientación, etc. En otros casos, incorporando información auxiliar es posible elaborar otros modelos más complejos, utilizando conjuntamente la descripción morfológica del terreno y simulaciones numéricas de procesos físicos como la propagación radioeléctrica. Los procesos de simulación dinámica son un reto en este ámbito.

Los MDT permiten realizar procesos de **simulación** del funcionamiento de un sistema real. Manipulando los datos del MDT o complementándolos con otras



descripciones de fenómenos físicos se accede a un medio de investigación de gran potencialidad. **El método reside en establecer los principios físicos de fenómenos que dependen de las propiedades del terreno y realizar una simulación numérica a partir de estos principios teóricos.**

Conceptualmente es necesario separar con claridad los Sistemas de Información Geográfica, con los modelos digitales del terreno. Los SIG integran información procedente de fuentes muy variadas entre las que se cuentan los propios MDT, las imágenes digitales procedentes de los satélites de observación terrestre, y todo tipo de cartografía convencional convenientemente digitalizada. Los MDT, al tratar exclusivamente de la distribución espacial de variables cuantitativas y continuas, pueden considerarse, en este contexto, como una aportación a los SIG al añadir la tercera dimensión a la información inicialmente bidimensional mediante la incorporación del modelo digital de elevaciones.

#### **4. Definición formal de un MDE [1]**

Un modelo digital de elevaciones se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Un MDE puede describirse de forma genérica del modo siguiente:

$$z = \xi(x, y) \tag{0.1}$$

donde  $z$  es la altitud del punto situado en las coordenadas  $x$  e  $y$ , y  $\xi$  la función que relaciona la variable con su localización geográfica. Los valores de  $x$  e  $y$  suelen corresponder con las abscisas y ordenadas de un sistema de coordenadas planas.

La ecuación anterior representa una superficie o campo escalar en la que la altitud es una variable continua. Dado que esta superficie está formada por un número infinito de puntos no es posible su modelización sin cierta pérdida de información.

En la versión digital sería posible presentar de forma explícita, al menos en teoría, la ecuación anterior, que relaciona la altitud con la localización geográfica; pero **la**



**complejidad del relieve hace que su representación matemática mediante funciones no tenga más que un significado simbólico.** En la práctica, las cotas correspondientes a una zona sólo pueden representarse mediante una ecuación cuando la parcela descrita es pequeña y el relieve implicado muy simple. Este método puede ser utilizado para aplicaciones concretas, operando sobre zonas muy limitadas, pero en cuanto el relieve se complica o la superficie aumenta, el ajuste de una ecuación para su descripción se hace imposible.

Como alternativa, se han buscado soluciones para representar la altitud mediante conjuntos limitados de cotas, diseñando las estructuras de datos que buscan un equilibrio entre la facilidad de manejo y la descripción realista del relieve.

## **5. Estructuras de datos en el MDE**

De forma general, la unidad básica de información en un MDE es un valor de altitud,  $z$ , al que acompañan los valores correspondientes de  $x$  e  $y$ , expresados en un sistema de proyección geográfica para una correcta referenciación. Las variantes aparecen cuando se definen las interrelaciones entre estas unidades elementales de información.

El diseño de estas interrelaciones es lo que configura las diferentes opciones en la estructura de datos, cuya elección es trascendental pues condiciona el posterior manejo de la información. Mientras que los mapas convencionales usan casi exclusivamente una única convención, las curvas de nivel para la representación de la superficie del terreno, los MDE disponen de alternativas más variadas.

En todas ellas la altitud se describe básicamente mediante un conjunto finito y explícito de cotas. **El valor propio de un punto de localización arbitraria será estimado por interpolación a partir de los datos de su entorno.**

Los modelos digitales de elevaciones se dividen básicamente en dos grupos en función de la concepción básica de la representación de los datos: **vectorial** y **raster**. Los modelos vectoriales están basados en entidades, básicamente puntos y líneas, definidas por sus coordenadas. En los modelos *raster*, los datos se



interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que teselan el terreno con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada.

## **6. Estructuras Vectoriales (SIG Vectoriales)**

El modelo vectorial es una estructura de datos utilizada para almacenar datos geográficos. Los datos vectoriales constan de líneas o arcos, definidos por sus puntos de inicio y fin, y puntos donde se cruzan varios arcos, los nodos. La localización de los nodos y la estructura topológica se almacena de forma explícita. Las entidades quedan definidas por sus límites, los segmentos curvos se representan como una serie de arcos conectados. El almacenamiento de los vectores implica el almacenamiento explícito de la topología, sin embargo solo almacena aquellos puntos que definen las entidades y todo el espacio fuera de éstas no está considerado.

Hay dos formas de organizar los datos: espacial y temática. Normalmente, los sistemas vectoriales tienen dos componentes, uno que almacena los datos espaciales y otro los datos temáticos. A éste se le denomina sistema de organización híbrido, por unir una base de datos relacional, para los aspectos temáticos, con una base de datos topológica, para los geográficos. Un elemento clave en este tipo de sistemas es el **identificador** de cada objeto. Éste es único y diferente para cada objeto y permite la conexión entre ambas bases de datos.

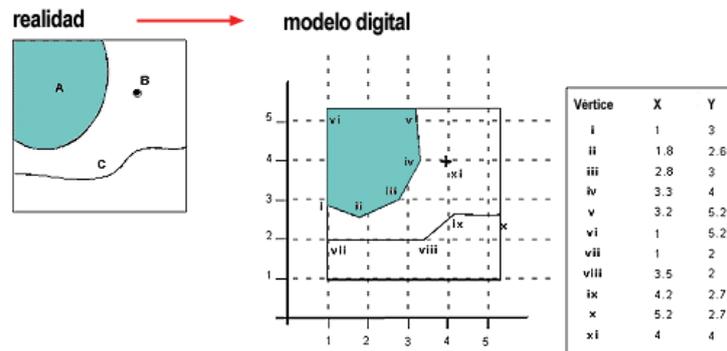


Figura 4.1. Representación vectorial<sup>31</sup>

### 6.1. Representación vectorial de los datos

En el modelo de datos vectorial, figura 4.1, los datos geográficos se representan en forma de coordenadas. Las unidades básicas de información geográfica en los datos vectoriales son puntos, líneas (arcos) y polígonos. Cada una de éstas se compone de uno o más pares de coordenadas, por ejemplo, una línea es una colección de puntos interconectados, y un polígono es un conjunto de líneas interconectadas, las siguientes son las definiciones utilizadas.

#### Coordenada

Pares de números que expresan las distancias horizontales a lo largo de ejes ortogonales, o tríos de números que miden distancias horizontales y verticales, o n-números a lo largo de n-ejes que expresan una localización concreta en el espacio n-dimensional. Las coordenadas generalmente representan localizaciones de la superficie terrestre relativas a otras localizaciones.

#### Punto

Abstracción de un objeto de cero dimensiones representado por un par de coordenadas x,y. Normalmente un punto representa una entidad geográfica demasiado pequeña para ser representada como una línea o como una superficie; por ejemplo, la localización de un edificio en una escala de mapa pequeña, o la localización de un área a la que una instalación da servicio en una escala de mapa media.

<sup>31</sup> <http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/>



### **Línea**

Conjunto de pares de coordenadas ordenados que representan la forma de entidades geográficas demasiado finas para ser visualizadas como superficies a la escala dada (curvas de nivel, ejes de calles, o ríos), o entidades lineales sin área (límites administrativos). Una línea es sinónimo de arco.

### **Arco**

Término específico de ArcGis que se utiliza como sinónimo de línea.

### **Polígono**

Entidad utilizada para representar superficies. Un polígono se define por las líneas que forman su contorno y por un punto interno que lo identifica. Los polígonos tienen atributos que describen al elemento geográfico que representan.

## **7. Estructuras Raster (SIG raster)**

El modelo raster es un método para el almacenamiento, el procesado y la visualización de datos geográficos. Cada superficie a representar se divide en filas y columnas, formando una malla o rejilla regular (el raster). Las celdas deben ser rectangulares, aunque no necesariamente cuadrada. Cada celda de la rejilla guarda tanto las coordenadas de la localización como el valor temático. **La localización de cada celda es implícita**, dependiendo directamente del orden que ocupa en la rejilla, a diferencia de la estructura vectorial en la que se almacena de forma explícita la topología. Las áreas que contienen idéntico atributo temático son reconocidas como tal, aunque las estructuras raster no identifican los límites de esas áreas como polígonos en sí.

Los datos raster son una abstracción de la realidad, representan ésta como una rejilla de celdas o píxeles, en la que la posición de cada elemento es implícita según el orden que ocupa en dicha rejilla. En el modelo raster el espacio no es continuo sino que se divide en unidades discretas. Esto le hace especialmente



indicado para ciertas operaciones espaciales como por ejemplo las superposiciones de mapas o el cálculo de superficies.

Un raster es esencialmente como una matriz bidimensional (filas y columnas) cuyo origen se sitúa en el extremo superior izquierdo, al contrario de lo que ocurre con el Sistema de Coordenadas Cartesiano cuyo origen se encuentra en el punto inferior izquierdo (esta convención varía sin embargo, de acuerdo al formato específico utilizado). La mínima entidad en la que se descompone dicho raster o grilla es el píxel que permite almacenar tres tipos de variables (**x** o Longitud, **y** o Latitud, y, **z** o variable que representamos mediante dicho raster). Así el modelo de datos raster se centra más en las propiedades y variaciones de las variables en el espacio que en la representación discreta de los elementos que lo conforman.

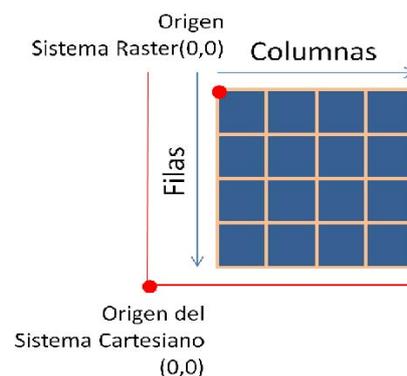


Figura 4.2. Representación vectorial [2]

Las estructuras raster pueden implicar en ocasiones un incremento del espacio de almacenamiento, ya que almacenan cada celda de la matriz sin tener en cuenta si se trata de una entidad o simplemente de un espacio “vacío”.

### 7.1. Tamaño y resolución de la celdilla/píxel

Pixel es la abreviatura de las palabras “*picture element*”. Es usada frecuentemente en teledetección para referirse a cada unidad de una imagen. En los SIG raster nos referimos a veces al pixel como la celda o el elemento base de una rejilla. El pixel/celda se refiere a la unidad mínima de información de una imagen o un mapa



raster. Es el elemento más pequeño al que un dispositivo de visualización puede asignarle de forma independiente un atributo como es el color. El tamaño del pixel debe ser la mitad de la longitud más pequeña que sea necesario representar. A mayor tamaño de la celda, menor será el número de filas y columnas de la malla que cubre la superficie.

## 7.2. Estructuras de datos raster

### Enumeración exhaustiva

En esta estructura de datos el valor de cada pixel se registra individualmente, de forma que no se aplica ningún método de compresión cuando el mismo valor numérico aparece reiteradas veces seguidas.

representación raster

A	A	A	A	0	0	0	0
A	A	A	A	A	0	0	0
A	A	A	A	0	B	0	0
A	A	A	A	0	0	0	0
A	A	A	0	0	0	C	C
0	0	0	0	0	C	0	0
C	C	C	C	C	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

pixel	valor
1	A
2	A
3	A
4	A
5	0
6	0
7	0
8	0
9	A
10	A
11	A
12	A
13	A
14	0
15	0
16	0
.	.
.	.
.	.
62	0
63	0
64	0

Figura 4.3. Representación exhaustiva [2]

### Codificación run-length

Es un método de compresión de imágenes. En el caso de que existan celdas contiguas con valores numéricos idénticos, esta estructura compacta la información. En vez de registrar el valor de cada celda individualmente, para cada



fila se recoge el valor temático que existe y el número de celdas con dicho valor. Si sólo existe una celda con ese valor el tamaño se duplica, pero se reduce considerablemente en el caso de tres o más celdas idénticas. Cuanto mayores y más frecuentes sean las series de datos repetitivos, mayor compresión se logrará. Esta técnica es especialmente útil para codificar imágenes monocromo o binarias.

**representación raster**

A	A	A	A	0	0	0	0
A	A	A	A	A	0	0	0
A	A	A	A	0	B	0	0
A	A	A	A	0	0	0	0
A	A	A	0	0	0	C	C
0	0	0	0	0	C	0	0
C	C	C	C	C	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

A,	4	0,	8				
A,	5	0,	8				
A,	4	0,	5	B,	6	0,	8
A,	4	0,	8				
A,	3	0,	6	C,	8		
0,	5	C,	6	0,	8		
C,	5	0,	8				
0,	8						

Figura 4.4. Representación exhaustiva [2]

**8. Ventajas e inconvenientes de los modelos raster y vectorial**

A continuación se resumen las ventajas (+) y desventajas (-) de cada modelo:



	Raster	Vectorial
Precisión gráfica	—	+
cartografía tradicional	—	+
volumen de datos	—	+
topología	—	+
operaciones de cálculo	+	—
actualización	+	—
variación espacial continua	+	—
integración	+	—
variación espacial discontinua	—	+

Teniendo el modelo raster mejores prestaciones para las operaciones de cálculo, es el que generalmente se utiliza en los modelos de predicción de cobertura radioeléctrica.

## 9. Origen de los datos

La entrada de datos en un SIG raster se puede realizar a partir de:

- Imágenes de Satélite
- Digitalización manual: puntos, líneas, polígonos
- Digitalización semi-automática: utilizada en los modelos en la presente tesis
- Barredor óptico o escáner
- Rasterización de datos vectoriales

### 9.1. Rasterización de datos vectoriales

Es el procedimiento a través del cual se convierten datos vectoriales (puntos, líneas y polígonos) a formato raster, formados éstos por celdas (píxeles) con un valor temático discreto en cada una. Es más sencillo que el procedimiento contrario, la conversión de datos raster a formato vectorial. Este procedimiento se



utilizará en la generación de MDE a partir de la cartografía convencional existente en el país.

## **9.2. Vectorización de datos raster**

Es el procedimiento inverso, que convierte una imagen formada por celdas en un archivo vectorial. Puede o no incluir la creación de topología. Este procedimiento no ha sido utilizado en el presente trabajo.

## **10. Representación gráfica de un modelo raster**

Los datos de un modelo raster generalmente se dividen en dos categorías: datos temáticos, y datos de imagen. Los valores en un modelo de raster temático representan la cantidad medida, o clasificación de un fenómeno particular tal como elevación, o población. Por ejemplo en un modelo de este tipo un valor de 5 podría representar bosques, y un valor de 7 podría representar agua. Los valores de celdas en una imagen representan luz reflejada o emitida, o energía como la de una imagen satelital o una fotografía escaneada.

Una estructura de datos de raster, como un mapa, describe la localización y características de un área y su posición relativa en el espacio. Debido a que un raster típicamente representa un tema único, como uso de suelo, vías, o elevaciones, se requieren múltiples rasters para caracterizar un área señalada.





Figura 4.4. Representación de múltiples rasters [4]

Una estructura de datos de un raster está conformada de celdas. Cada celda es un cuadrado que representa una porción específica de un área. Todas las celdas en un raster deben ser del mismo tamaño. Las celdas en una estructura de raster pueden ser de cualquier tamaño, pero deberían ser lo suficientemente pequeño para lograr un análisis de mayor detalle. Una celda puede representar un kilómetro cuadrado, un metro cuadrado, o aun un centímetro cuadrado.

Esto conlleva un problema derivado de la falta de exactitud a la hora de delimitar los elementos representados, y la única aproximación que se puede llevar a cabo es mediante el aumento de la resolución o una clasificación del fenómeno a nivel de subcelda. Por lo que se trata de un problema no tanto de exactitud posicional, sino de resolución del raster.

El ejemplo por excelencia es el MDT, para la aplicación específica del presente trabajo es un MDE, que viene a representar la variación continua de la variable altitud que se presenta en la superficie terrestre mediante una malla teselar con coordenadas x-y, y la representación de una tercera variable de acuerdo a los datos del MDE.

En un MDE de una zona geográfica como la analizada en la provincia del Azuay, difícilmente se van a encontrar celdas del MDE con igual valor, dada la alta irregularidad del terreno. De ahí que la representación gráfica se la realice estableciendo rangos de valores que son representados por diferentes tonalidades de color para generar imágenes de fácil interpretación.

## **11. Referenciación**

Las coordenadas espaciales definen la relación entre la ubicación geográfica y el conjunto de datos del raster. Todos los datos del raster deben estar referidos a un mismo sistema de coordenadas. Dado que todos los datos de un raster



representan alguna característica del mundo real, lo mejor es utilizar un sistema de coordenadas que mejor represente el mundo real. La acción de convertir los datos desde un sistema de coordenadas no real, hacia uno real se llama georeferenciación.

La orientación de las celdas está determinada por los ejes  $x - y$  del sistema de coordenadas. Los bordes de la celda son paralelos a los ejes  $x - y$ , y las celdas son cuadradas en el sistema de coordenadas. Las celdas están siempre referenciadas por la ubicación  $(x,y)$ .

Las coordenadas Cartesianas asociadas a un raster, en coordenadas espaciales, deben definirse con respecto a la proyección del mapa. Una proyección transforma la superficie tridimensional de la superficie de la tierra, de forma que el mapa puede ser representado de forma bidimensional.

La forma de referenciar el raster es sencilla. Se lo hace considerando únicamente con el punto central de la celda inferior izquierda. En forma explícita un formato de raster indica este punto; la ubicación de las celdas restantes del raster es implícita, y se definen con el número de celdas, y el tamaño de celdas. De esta manera referenciando esta sola celda, todo el raster lo queda. Ver figura 4.5.

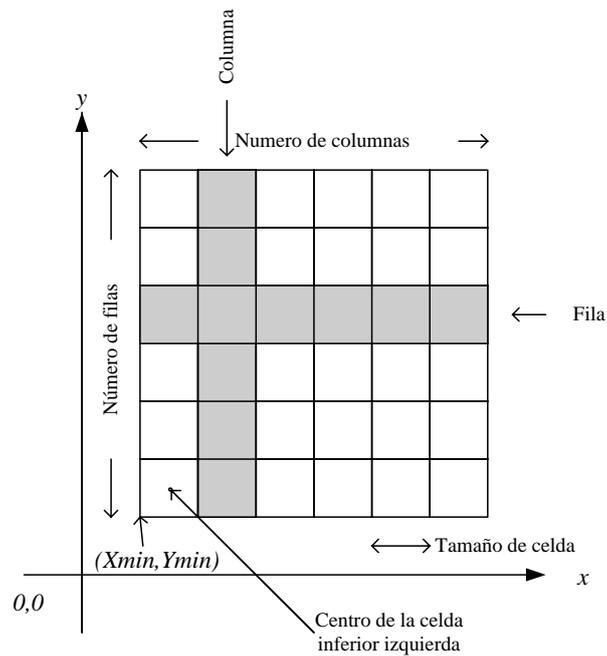


Figura 4.5. Referenciación del raster

### Referencias:

- [1] Ángel M. Felicísimo, **“Modelos Digitales del Terreno”**, Oviedo, España, 1994.  
<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- [2] Francisco J. Reyes, **“Análisis Espacial con Datos Raster en ArcGIS Desktop 9.2”**, España.
- [3] F.Escobar, G.Hunter, I.Bishop, A.Zerger **“Introducción a los SIG”**, Departamento de Geomática, Universidad de Melbourne, Australia, <http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/>
- [4] ESRI, **“ArcGIS9: Using Spatial Analyst”**, USA, 2002.



## **SECCION III**

# **Obtención de Datos y Planificación**



## **Capítulo 5**

### **Obtención de Datos**

#### **1. Obtención de datos topográficos**

La presente tesis tiene el condicionante de utilizar en su desarrollo medios y fuentes de datos de libre disponibilidad en el medio local e internacional. En Ecuador la fuente de cartografía oficial es la proporcionada por el IGM, la misma que es proporcionada en diversas escalas. Para la aplicación específica en ambientes rurales, en cuya modelación no se requiere el detalle de un ambiente urbano es muy útil el uso de la escala 1:50.000, por lo que los datos topográficos procesados tienen como cartografía de origen esta escala.

El IGM proporciona sus datos a través de cartas topográficas impresas, o es posible obtenerlas en archivos digitales que pueden ser visualizados con aplicaciones CAD<sup>32</sup>. Lamentablemente las dos formas son considerados modelos analógicos y no son de utilidad práctica para el presente trabajo. El IGM no proporciona Modelos Digitales de Terreno, y específicamente el de Elevaciones que son de aplicación directa en esta tesis.

Surgió entonces la necesidad de generar un MDE a partir de la información del IGM; este fue el planteamiento inicial al momento de denunciar el tema de tesis. La esperanza era utilizar cartografía digital base producto de algunos trabajos realizados en la ciudad de Cuenca y actualmente de difusión libre como la información de la cuenca del río Paute (Proyecto Universidad del Azuay - CGPaute, 2008, escala 1:50 000). La necesidad de contar con MDT tanto vectoriales como modelos raster para diversas aplicaciones ha llevado a que diferentes instituciones busque desarrollarlas para satisfacer sus necesidades

---

<sup>32</sup> CAD: Diseño asistido por computadora



específicas. La limitación de las fuentes disponibles, frente a la magnitud del procesamiento requerido para extender el estudio a toda la provincia del Azuay sugería una limitación al alcance de la tesis; esto particularmente fue sugerido por el Tribunal ante el cual se realizó la denuncia del tema.

La limitación del alcance solucionaba la falta de datos en una extensión aceptable; pero pronto evidenció un problema para la modelación de la propagación radioeléctrica, pues esta no se adapta a los límites políticos de las zonas. Esta realidad obligó a buscar fuentes alternativas de datos encontrándose entre ellas los modelos DTED<sup>33</sup>, GTOPO30<sup>34</sup>, y SRTM<sup>35</sup>, todos proporcionados por la USGS<sup>36</sup>; los datos SRTM son los utilizados por el conocido programa de software Radio Mobile.

Por el tiempo que llevó desarrollar el presente trabajo, sobretodo por causas ajenas al estudio del autor, en forma paralela se vieron varios desarrollos paralelos: la aparición del SRTM V4, y una mejor depuración de los modelos digitales para Azuay a partir de la información del IGM. La presente tesis utiliza, a elección, los datos con origen en el IGM, así como las versiones 2 y 4 de la SRTM.

## **2. Obtención de MDE a partir de los datos del IGM**

Desde un punto de vista histórico, todo el manejo de mapas antes de que comenzara la informatización se hacía en formato *analógico y vectorial* [1]. El formato raster matricial comienza a implantarse en los años 60 en los primeros programas destinados al manejo de información territorial debido a su particularidad de adaptarse al cálculo mediante computadora. Con una estructura matricial, la combinación de mapas necesita solamente operaciones matriciales sencillas entre datos homólogos: sumas, productos, operaciones lógicas, etc. En

---

<sup>33</sup> DTED: Digital Terrain Elevation Data

<sup>34</sup> GTOPO30: DEM mundial desarrollado por la USGS con resolución de 1 Km  
<http://eros.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>

<sup>35</sup> SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

<sup>36</sup> USGS: US Geological Survey



los modelos vectoriales, al carecer los datos de regularidad en su distribución espacial, se precisan operaciones geométricas (especialmente cálculos de intersección de líneas y de relaciones de contenido) que hacen de su manejo más complejo.

La facilidad de manejo hizo que los modelos matriciales fueran rápidamente adoptados en los primeros pasos de los SIG, en los años 60. En los 70 ya existían ambos tipos, pero seguían dominando los que utilizaban estructuras matriciales. Sólo en los 80 se han desarrollado con gran fuerza los SIG basados en estructuras vectoriales.

Aunque la tendencia general en los SIG es la adopción de estructuras vectoriales para el tratamiento de la información, ésta se refiere esencialmente a propiedades cualitativas del terreno, de distribución discreta y con límites netos entre las diferentes clases. En el tratamiento de los datos topográficos y otras variables continuas sigue teniendo una fuerte incidencia el uso de formatos matriciales. La aplicación específica que se desea implementar requiere de un formato matricial. Los programas de SIG actuales como ArcGis permiten la conversión de formatos con relativa facilidad.

Con el propósito de obtener datos topográficos en el formato adecuado para el desarrollo del presente trabajo, el primer paso a seguir con la información del IGM es obtener un modelo vectorial de las curvas de nivel, con miras a obtener luego, el deseado modelo raster matricial con la ayuda de ArcGis. A continuación se expone la metodología utilizada en la generación de MDE a partir de la información geográfica del IGM.

## **2.1. Digitalización de curvas de nivel**

La información digital de curvas de nivel de la provincia del Azuay representada geoméricamente en modelo vector a través de líneas, provienen de 28 cartas topográficas a escala 1:50 000 editadas entre los años 1971 y 1996 por el Instituto



Geográfico Militar. Las 28 cartas que cubren el área de la provincia del Azuay son:

1. Santa Rosa de Flandes, 1996. NV-C4, 2da. Edición.
2. Pancho Negro, 1988. NV-D3, 1ra. Edición.
3. San Francisco de Gualleturo, 1987. NV-D4, 2da. Edición.
4. Naranjal, 1996. NV-E2, 2da. Edición.
5. El Carmen de Pijilí, 1988. NV-E4, 2da. Edición.
6. San Felipe de Molleturo, 1987. NV-F1, 1ra. Edición.
7. Chiquintad, 1992. NV-F2, 2da. Edición.
8. Chaucha, 1973. NV-F3, 1ra. Edición.
9. Ponce Enríquez, 1988. NVI-A2, 1ra. Edición.
10. Uzhcurrumi, 1990. NVI-A4, 1ra. Edición.
11. San Fernando, 1971. NVI-B1, 1ra. Edición.
12. Girón, 1992. NVI-B2, 3ra. Edición.
13. Santa Isabel, 1971. NVI-B3, 2da. Edición.
14. Yaritzagua, 1981. NVI-B4, 3ra. Edición.
15. Manu, 1988. NVI-D1, 1ra. Edición.
16. Nabón, 1981. NVI-D2, 2da. Edición.
17. Saraguro, 1994. NVI-D4, 3ra. Edición.
18. Gima, 1992. ÑVI-A3, 1ra. Edición.
19. Amazonas, 1993. ÑVI-C1, 2da. Edición.
20. Cuenca, 1992. N VI-F4, 3 Edición.
21. Sigsig, 1992. Ñ VI-A1, 2 Edición.
22. Gualaceo, 1992. N V-E3, 1 Edición.
23. Mariano Moreno, 1992. Ñ V-E4, 1 Edición.
24. Azogues, 1992. Ñ V-E1, 2 Edición.
25. Guachapala, 1992. Ñ V-E2, 2 Edición.
26. San Juan Bosco, 1992. Ñ V-A2, 2 Edición.
27. Guarumales, 1993. Ñ V D3, 1 Edición.
28. Taday (Cola de S. Pablo), 1992. Ñ V-C4, 2 Edición.

El proceso para la obtención del archivo de curvas de nivel con ArcGIS, es el siguiente:

- Exportar a formato shape de ESRI el tema de curvas de nivel de carta topográfica que inicialmente está en formato de MicroStation DGN o de AutoCad DWG (el IGM actualmente entrega la información en otros formatos que reconoce ArcGIS directamente).
- Revisión, depuración y edición de los valores de curvas de nivel. Generalmente las curvas de nivel no están totalmente depuradas, es decir, no son continuas o una misma línea podría tener diferente valor de cota por lo que es necesaria su revisión.
- Comprobación de la continuidad de las curvas de nivel con las cartas



aledañas. Se comprueba que los valores se cotas se continúen entre las distintas cartas, de tal manera que la final se obtenga una sola línea con una cota.

- Fusión de información de curvas de nivel de las 28 cartas topográficas. Al finalizar esta tarea, se obtiene un archivo shape con todas las curvas existentes en las cartas topográficas.
- Finalmente se recorta el archivo de curvas de nivel con el límite de la provincia del Azuay publicado por el INEC a escala 1:250 000 en el año 2008, a través de la función Clip en ArcGIS

## **2.2. Obtención del MDE**

La etapa de digitalización finaliza cuando se dispone de un modelo vectorial compuesto por curvas de nivel, puntos acotados y líneas auxiliares. En este momento deben realizarse las pruebas necesarias para la detección y corrección de errores, tanto posicionales como atributivos, para garantizar la coherencia de la información.

La construcción de un MDE matricial a partir de la información contenida en el modelo vectorial es básicamente un problema de interpolación: se definen las localizaciones de los puntos problema (en las intersecciones de las filas y columnas) y se estima la altitud de cada uno de ellos en función de los datos del entorno existentes en el modelo vectorial. El planteamiento global del problema podría ser, por tanto, como sigue: dado un conjunto de puntos con coordenadas  $(x, y, z)$ , distribuidos irregularmente, generar un nuevo conjunto de puntos localizados en los nodos de una red regular de forma que la superficie interpolada sea una representación adecuada de la modelada mediante los datos originales. Con el término "adecuada" se quiere indicar, en realidad, que la pérdida de



información ligada a la transformación sea mínima o, al menos, tolerable [1].

Existe una amplia variedad de posibles métodos de interpolación. Ya se ha indicado anteriormente que los métodos globales, que intentan representar la totalidad de la zona mediante una única superficie de ajuste, son poco viables en la práctica debido a la complejidad del relieve a modelar. El resto de métodos son locales, es decir, se asume que la altitud de un punto está funcional y estrechamente relacionada con la de los puntos localizados en un entorno limitado del mismo y sólo éstos serán usados para realizar la interpolación. En este contexto, el proceso de estimación de la altitud de un punto  $P$  seguirá básicamente las siguientes etapas:

- Fijar la posición del punto problema,  $P$ , por medio de sus coordenadas.
- Definir un entorno geométrico  $C$  del punto problema.
- Extraer el subconjunto de datos  $V$  del MDE vectorial que está incluido en el entorno  $C$ .
- Realizar una interpolación a partir del subconjunto de datos  $V$ .
- Asignar la altitud resultante al punto  $P$ .

De este conjunto de operaciones, la tercera y la cuarta merecen una atención especial ya que son algo más complejas que el resto. En efecto, la posición del punto problema está prefijada por la localización de la matriz y el intervalo entre filas y columnas. El siguiente paso, que tiene por objeto acotar el número de datos eligiendo sólo los más próximos, suele abordarse definiendo un entorno geométrico alrededor del punto problema.



## **2.3. Generación del MDE mediante la herramienta 3D Analyst de ArcGis**

### **9.2**

#### **Modelo vectorial: redes de triángulos irregulares (TIN)**

Una estructura de datos cada vez más utilizada es la que se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados y que suele identificarse por las siglas de su denominación inglesa “*triangulated irregular network*”, *TIN*. Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales, y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve. Se trata de una estructura en la que el terreno queda representado por el conjunto de superficies planas que se ajustan a una estructura previa de puntos.

Efectivamente el *TIN* puede considerarse como una estructura derivada de otra anterior de puntos o líneas. Aunque la distribución original puede ser cualquiera (incluso puntos distribuidos aleatoriamente), es frecuente partir de un modelo vectorial para generar la red de triángulos. Estos están internamente organizados en función de su vecindad mediante un conjunto de información bastante complejo que hace posible un manejo relativamente ágil y eficaz frente a alternativas menos estructuradas.

Para obtener un MDE a partir de un modelo vectorial de curvas de nivel se puede utilizar la extensión de ArcMap 3D Analyst, aunque no es la única forma de obtener dicho modelo, ya que en Spatial Analyst se disponen de herramientas de interpolación que nos permitirían obtener dicho modelo digital a través de puntos de cota.

Es por ello que vamos a comenzar describiendo brevemente los pasos que se han de llevar a cabo para obtener el MDE y posteriormente comentaremos algunas de las aplicaciones más usuales:



Los pasos para la obtención de un MDE son los siguientes:

- Generación de las Curvas de Nivel (en caso de no disponer de éstas), digitalizándolas a partir de un mapa topográfico y asignándoles un campo con los valores de altitud. Para ello podríamos hacer uso de la Extensión ArcScan de ArcGIS Desktop.
- Una vez que disponemos de las curvas de nivel se genera el TIN o Red Irregular Triangulada, ArcGis utiliza uno de los algoritmos de triangulación más conocidos denominado Triangulación de Delaunay, que se define como un modelo teselar basado en triángulos conformados por vértices o nodos que nos permite densificar la información en áreas complejas, y dispersarla en zonas más homogéneas. Un TIN incluye relaciones topológicas entre los puntos y los triángulos contiguos. Cada punto tiene su coordenadas XY y un valor de Z, que en el caso del MDE son las altitudes. Estos puntos están conectados por nodos conformando un conjunto de triángulos no superpuestos usados para representar una superficie.
- Tras este paso generaremos nuestro MDE en formato teselar convirtiendo el TIN en raster usando las herramientas de conversión de Spatial Analyst.

## **Georeferenciación de los datos**

La práctica común ha sido que la mayoría de países utilicen dátums locales que tenían por objeto buscar el elipsoide de referencia que mejor se acople a la zona de interés. El Ecuador no fue la excepción y es así que adoptó como datum horizontal oficial el **PSAD 56**<sup>37</sup>, que tiene como elipsoide de referencia *el Internacional de Hayford* y como punto origen *La Canoa* ubicado en la República

---

<sup>37</sup> Elipsoide y Datum Horizontal: Provisional Sudamericano Internacional de 1956



de Venezuela. Actualmente la mayor parte de la información cartográfica del IGM se encuentra referenciada con PSAD 56 y proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 17. Se ha visto la necesidad de transformar esta referencia a una global como WGS84<sup>38</sup> debido al extenso uso de la referencia por GPS en la actualidad [3]. La conversión no se puede realizar sin incurrir en errores.

Entre la documentación del IGM se han encontrado dos alternativas para realizar la conversión. La primera de ellas, que se podría llamar rápida, es realizar una aproximación aritmética sencilla [Guía inserta en carta CT-NV-E3-3685]:

<b>Conversión de coordenadas PSAD56 a WGS84</b>		
En cuadrícula	Restar 258 m Este	Restar 373 m Norte
En geográficas	Sumar 7.8" Longitud	Sumar 12.2" Latitud

La segunda constituye una metodología mucho más precisa y que es posible realizar fácilmente con la ayuda de ArcGis con la utilización de 7 parámetros de transformación.

### **Parámetros de transformación entre los sistemas geodésicos PSAD 56 Y SIRGAS95 (WGS 84) para el Ecuador**

La actual tendencia mundial del uso de GPS trae consigo la utilización de sistemas de referencia geocéntricos asociados a elipsoides globales como es el caso del sistema WGS 84. Este fenómeno mundial nos obliga a buscar mecanismos para compatibilizar los antiguos datums locales con los modernos sistemas de referencia.

El IGM propone utilizar una plataforma geodésica, basada en el proyecto SIRGAS<sup>39</sup> (<http://www.sirgas.org/index.php?id=110>) para constituir su Red GPS

<sup>38</sup> WGS84: **World Geodetic System 84**

<sup>39</sup> SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas



Nacional enlazada a un sistema de referencia geocéntrico (realización SIRGAS95) compatible con el sistema WGS 84.

El cálculo, de estos nuevos parámetros, se basó en el modelo matemático de transformación de semejanza en espacio tridimensional. La transformación también es llamada transformación Isogonal, Conforme o de Helmert. El modelo matemático de esta transformación, expresa la relación entre dos sistemas de referencia por medio de tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala, según la siguiente expresión:

$$\rho_{(i)} = r_0 + k \cdot R_\epsilon \cdot r_i$$

en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + (1 + \delta) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \epsilon_z & -\epsilon_y \\ -\epsilon_z & 1 & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}$$

Los 7 parámetros de transformación, resultantes, se detallan en la tabla siguiente:

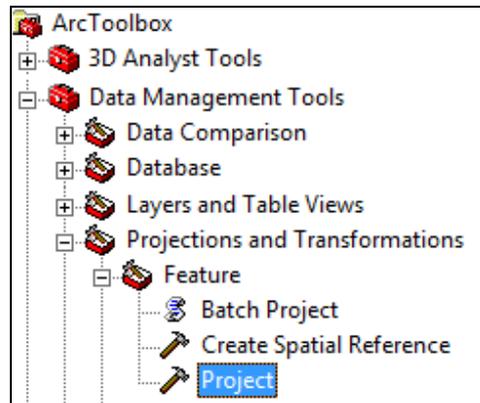
<b>7 Parámetros de Transformación del sistema PSAD56 al sistema SIRGAS95 (WGS84)</b>							
Parámetros	$x_0(m)$	$y_0(m)$	$z_0(m)$	$\epsilon_x(seg)$	$\epsilon_y(seg)$	$\epsilon_z(seg)$	$\delta(ppm)$
Valor	-60,310	245,935	31,008	-12,324	-3,755	7,370	0,447
$\frac{1,96 \cdot RMS}{\sqrt{n}}$	±1,900	±1,172	±1,698	±0,055	±0,0371	±0,062	±0,177

La transformación opera es en doble sentido, es decir, se puede transformar del sistema PSAD 56 al sistema SIRGAS95 (WGS 84) y viceversa. El signo de los parámetros calculados, si se quiere aplicar directamente en la expresión matricial para transformar del sistema SIRGAS95 (WGS 84) al PSAD 56, se invierten.



En la práctica la transformación se la programa en ArcGis y utilizarla como método de transformación de la siguiente manera:

Con la función Project de ArcToolbox de ArcGis



Dentro de esta función se elige el archivo shape al que se necesita proyectar (Input Dataset); automáticamente, el programa reconocerá el sistema de proyección de este archivo. Se define el directorio en el cual se guardará el nuevo archivo así como su nombre (Output Dataset) y el nuevo sistema de proyección (Output Coordinate System). Por último, se indica el set o conjunto de parámetros con el cual se realizará la transformación. Los 7 parámetros antes descritos deben ser incluidos para la transformación. Alternativamente se puede elegir la transformación 6 incluida en ArcGis: “PSAD 1956 to WGS 1984 6”, que es el que mejor se ajusta para la transformación.

### 3. Formatos de archivos de raster: .ASC y .grd

ArcInfo, y Matlab utilizan, entre otros, archivos en formato ASCII o texto para importar o exportar datos. Estos archivos de texto tienen la siguiente estructura matricial:



Figura 5.1: Estructura de un archivo de raster matricial en formato de texto

### Cabecera del archivo

<b>Registro 1</b>	ncols xxxxx	<b>ncols</b> se refiere al número de columnas en la matriz o grilla del format raster, y <b>xxxxx</b> es un valor numérico
<b>Registro 2</b>	nrows xxxxx	<b>nrows</b> se refiere al número de filas de la matriz del raster y <b>xxxxx</b> es un valor numérico
<b>Registro 3</b>	xllcorner xxxxx	<b>xllcorner</b> se refiere al centro de la celda izquierda inferior de la grilla y <b>xxxxx</b> es el valor numérico
<b>Registro 4</b>	yllcorner xxxxx	<b>yllcorner</b> se refiere al centro de la celda izquierda inferior de la grilla y <b>xxxxx</b> es el valor numérico
<b>Registro 5</b>	cellsize xxxxx	<b>cellsize</b> se refiere a la resolución de la grilla o raster y <b>xxxxx</b> es el valor numérico. Un MDE SRTM3 tiene una resolución de 90m aprox. en el Ecuador.
<b>Registro 6</b>	NODATA_value xxxxx	<b>NODATA_value</b> se refiere al valor que representa ausencia de datos y <b>xxxxx</b> es el valor numérico. <i>Si este valor está presente, el mismo es ignorado.</i>

### Matriz del raster

A continuación se encuentran los datos de la matriz del raster (en adelante se la llamará matriz **Z**) ordenados en riguroso orden matricial. Hay que tener en cuenta



que los datos deben ser números enteros. Los formatos .grd también son archivos de texto y tienen el mismo formato. Los archivos .ASC pueden ser generados con la utilización de herramientas de ArcGis conforme fue descrito anteriormente. La matriz tiene tantas columnas como filas indica la cabecera, y las coordenadas indicadas en la misma corresponde al elemento inferior izquierdo, esto es al elemento **Z(n,0)**. El tamaño de la celda establece la distancia física entre cada elemento. El valor numérico de cada elemento es rigurosamente un número entero. El valor de cada elemento de **Z** corresponde al punto central de la celda o píxel. Para los archivos .ASC el número 9999 es generalmente el indicativo de ausencia de datos, NAN (non a number), aunque puede ser especificado en la cabecera; ArcGis genera automáticamente el número 9999 como indicador de NAN.

#### **4. Otras fuentes de MDE para Ecuador**

Fue posible ubicar información de datos de MDE para Ecuador (Ecuador DEMs) en el portal [www.rsgis.ait.ac.th/~souris/ecuador.htm](http://www.rsgis.ait.ac.th/~souris/ecuador.htm). Al parecer el “**Remote Sensing & Geographic Information Systems (RS&GIS)**” obtuvo MDEs a partir de mapas topográficos digitalizados de escalas 1:50000 y 1:100000 en 2003.

Todos los MDE se obtuvieron a partir de puntos digitalizados de líneas de contorno y curvas de nivel. El datum utilizado es el PSAD56, y proyección UTM zona 17 para Ecuador Continental.

#### **5. Datos de la SRTM**

La topografía es un componente básico en muchos estudios de procesos superficiales de la tierra y un elemento en muchos análisis científicos que buscan explicar y predecir estos procesos. Nuestra capacidad para entender y modelar los



mismos depende en gran parte de la calidad y consistencia de los datos topográficos.

Los datos convencionales de topografía que se producían variaban en calidad, con algunos métodos de levantamiento de alta precisión y otros de menor calidad. En muchas partes del mundo, incluyendo muchas partes de Sur América, hay gran carencia de mapas topográficos de calidad. Como resultado, los análisis derivados de dichos datos reflejan inconsistencias al arrojar información a diferentes escalas y resoluciones espaciales. La solución a la inconsistencia entre los datos fue producir un MDE global de alta resolución.

En febrero del 2000 la NASA<sup>40</sup>, la Agencia Nacional de Inteligencia Geo-Espacial (NGA<sup>41</sup>), y las Agencias Espaciales de Alemania y de Italia lanzaron la Misión “*Shuttle Radar Topography Mission*” (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). Esta misión produjo el MDE de más alta resolución de la superficie terrestre. Este MDE fue producido a una resolución de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m en el ecuador) para casi todo el globo terráqueo, entre las latitudes 60 grados norte y 56 grados sur con un error de altitud vertical medio de 6,2 m (nivel de confianza de 90%) y un error de geoubicación de 9 m para Sudamérica.

---

<sup>40</sup> National Aeronautics and Space Administration (NASA)

<sup>41</sup> NGA: National Geospatial-Intelligence Agency

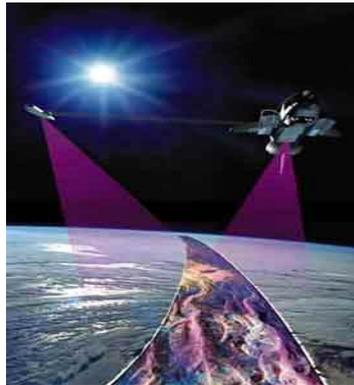
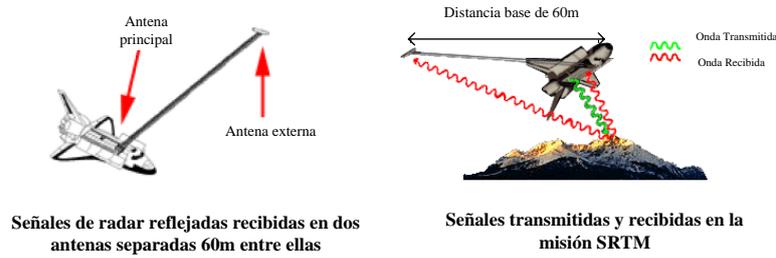


Figura 5.2: Recolección en la misión topográfica de la NASA/NGA

A finales de 2003 la NASA publicó los productos MDE en el portal web del Centro de Observación de los Recursos de la Tierra (Earth Resources Observation and Science, EROS) (<http://seamless.usgs.gov/>). La distribución de estos datos se rige por el Memorando de Entendimiento de NASA/NGA, y, en síntesis expone que, para aquellas áreas que caigan fuera del territorio de los Estados Unidos los datos se pueden distribuir públicamente a una resolución reducida igual a, o mayor que 3 arcosegundos (aproximadamente 90 m en el ecuador). Las áreas dentro del territorio de los Estados Unidos no están sujetas a dicha restricción y se pueden publicar con toda la resolución de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m en el ecuador).

Desde el 2003 estos datos se han convertido en la norma global de la topografía a mediana y pequeña escala dentro de las comunidades científicas y geoespaciales. Uno de los productos notables derivados del MDE global es el modelo de elevación global mejorado de USGS que saldrá al público en el transcurso de



2010. Con el desarrollo de este producto, las aplicaciones de software como Google Earth y las múltiples aplicaciones científicas en las que la SRTM ha tenido un papel fundamental, han demostrado el impacto positivo que sus datos han tenido dentro y fuera de la comunidad geoespacial.

Al ver el impacto y reconocer el deseo de las comunidades científicas y geoespaciales de mejorar el proceso de modelado de la superficie terrestre a mayor escala el USGS y la NGA celebraron un acuerdo. Dicho acuerdo permite al USGS procesar el MDE a la resolución de 1 arcosegundo (30 m) y publicar los productos derivados a la máxima resolución. En la actualidad estos productos derivados están disponibles para Centroamérica, las Islas del Caribe y varios países africanos y de América del Sur. Ecuador no está incluido.

## **6. Calidad de los Datos de la SRTM<sup>42</sup>[5]**

Es importante cuando se esté evaluando un MDE SRTM, tener una clara comprensión de cómo fue desarrollado<sup>43</sup>. Los datos SRTM tienen unas propiedades particulares que pueden resultar positivas o negativas dependiendo de la aplicación a la que se destine. La SRTM utilizó una técnica llamada interferometría para recoger los datos topográficos<sup>44</sup>. En forma resumida, la interferometría recoge dos imágenes de la misma ubicación en distintas posiciones. Cuando se comparan las dos imágenes se aprecia una ligera diferencia en los valores de las mismas y a partir de esa diferencia se puede calcular la topografía de la superficie terrestre.

Las imágenes recogidas de la interferometría no son “fotografías” típicas de la superficie terrestre ya que estas imágenes fueron producidas por dos sistemas radar de apertura sintética: banda-C (SIR-C) y banda-X (X-SAR) [7]. Para adquirir estas dos imágenes durante la misión se instaló una antena principal en el tramo

---

<sup>42</sup> <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>

<sup>43</sup> <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instr.htm>

<sup>44</sup> <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instrumentinterferometry.html>



de carga del transportador espacial, y se desplegó una segunda antena fuera de borda en un mástil que se extendía 60 m desde el tramo de carga una vez entrado en órbita. La antena principal transmitía un haz de ondas de radar hacia la tierra. Cuando estas ondas chocaban contra la superficie se dispersaban en todas las direcciones. Las ondas dispersas rebotaban de vuelta a la antena donde eran recogidas y se medía la distancia recorrida. Utilizando esta información y conociendo la distancia constante entre las dos antenas, línea base, se puede calcular con precisión la elevación de la superficie terrestre.

La SRTM fue diseñada con umbrales de precisión cartográfica para ayudar a asegurar un conjunto de datos topográficos globales exactos y consistentes. El requisito de precisión horizontal de la misión fue menor de 20 m, considerándose un error de altura absoluta de 90 por ciento inferior a 16 m. Después de la misión la NASA y la NGA emprendieron una campaña de validación global. Se comprobó que la misión había superado tanto los requisitos de precisión vertical como horizontal. Para el continente Sudamericano el conjunto de datos SRTM tiene un error horizontal promedio de 9,0 m y un error vertical absoluto de altura promedio de 6,2 m. América del Sur ha visto una mejoría de 10 veces, tanto en resolución espacial como en exactitud vertical, con la aparición del MDE de 90 m comparado al último MDE continental, el GTOPO30 del USGS.

Aunque esto representa una gran mejoría con relación a los MDE que existen para Sudamérica, es importante reconocer algunas de sus peculiaridades tales como vacíos de datos, ruido de fase, sesgo de follaje, exactitud de resolución de 30 m y estimados de pendiente.

### **6.1. Áreas sin Datos (voids)**

Los “**vacíos de Datos**” son áreas en los datos donde aparecieron errores extremados durante el procesamiento o donde no regresó la señal del radar. Tras



un análisis preliminar de la SRTM para América del Sur, se estima que hay cerca de 500 mosaicos (*tiles*) con vacío de datos.

Para mitigar estos vacíos el Proyecto Geosur utilizará el algoritmo de Relleno de Superficie Deltaica (*Delta Surface Fill/DSF*) de la NGA para rellenar los vacíos con la mejor fuente de relleno disponible para el MDE. El método calcula un ajuste de una fuente de relleno que encaje en el MDE SRTM. Este ajuste se determina creando una diferencia o “Superficie Deltaica” entre el SRTM y la fuente de relleno. El algoritmo DSF utiliza la Superficie Deltaica para interpolar valores diferenciales en las áreas de vacío. Una vez interpolados los píxel de vacío de datos se aplica la Superficie Deltaica a los vacíos de datos SRTM originales sumando la superficie deltaica a la fuente de relleno. *Al momento está disponible la versión 4 de la SRTM en la que los vacíos han sido llenados utilizando como fuente de relleno la cartografía de la GTOPO30.*

## **6.2. Ruido de fase**

Otra propiedad del DEM SRTM es el **ruido de fase**, causado principalmente por el ruido térmico y de cuantización de los receptores del radar y es en gran parte dependiente de las propiedades de retrodispersión de la superficie. En términos más simples, el ruido de fase es una variación de altura mínima dada de píxel a píxel colindante, y esta variación fue influenciada por el tipo de superficie de la cual se reflejaba la transmisión del radar. Por ejemplo, un área con cobertura de bosque va a tener menos ruido que las tierras agrícolas por el modo en que la señal del radar rebota en la superficie. Este error ya se había anticipado antes de la misión y se establecieron controles para minimizar el error vertical a 8 metros aproximadamente.

## **6.3. Dosel Vegetal**

Una característica altamente discutida del MDE SRTM es el **sesgo del follaje** (o dosel vegetal). Debido a la corta longitud de onda de la Banda C, 5.6 cm, la mayoría de las ondas del radar recibidas sobre áreas densamente vegetadas se



reflejan de vuelta en el follaje, bastante por encima de la superficie de la tierra sin vegetación. Por esta razón muchos geólogos e hidrólogos encuentran que el conjunto de datos MDE SRTM son menos que deseables para uso a gran escala, mientras que los ecólogos encuentran que la herramienta es invaluable para ayudar en el estimado de la altura del dosel y de la biomasa.

Otra área de contención en el MDE SRTM 30 m es la verdadera resolución horizontal. La resolución intrínseca del producto interferométrico SRTM estaba muy cerca de 30 m, pero por causa del muestreo punto-a-punto hubiera habido demasiada variabilidad en el error de altura entre los píxeles.

Para mejorar la utilidad del producto se aplicó un algoritmo nivelador para reducir el ruido y como resultado el producto final presentó una resolución de muestreo de entre 45 y 60 metros, dependiendo de si los datos se recogían en un terreno alto o en uno relativamente plano. Estas cifras, sin embargo, no son definitivas y un estudio más reciente sugiere que la resolución horizontal está más cerca de los 30 m. Los resultados indican que la resolución es de 30 a 48 píxeles, dependiendo de la variabilidad local o de los datos de elevación, con mayor resolución cerca de las esquinas o bordes agudos y menor resolución en zonas menos accidentadas.

**Pendiente (slope)** es un producto derivado valioso de cualquier MDE y forma parte de muchos modelos de procesos superficiales terrestres, tales como el modelado de deslizamientos de tierra. Varios estudios han dejado constancia de que la pendiente se subestima en áreas de topografía pronunciada y sobreestimada en áreas de poco relieve. Tanto la subestimación de pendiente en áreas escarpadas como su sobreestimación en áreas más planas es una influencia combinada del algoritmo de error y del error de ruido de fase.

El SRTM es una recolección sin precedentes de la topografía mundial y a la fecha presente no hay conjunto de datos globales que se le compare en versatilidad y en calidad. Al conocer más a fondo las propiedades únicas del conjunto de datos



antes mencionado se puede lograr una mejor comprensión de sus posibles aplicaciones así como también una mejor comprensión de las dificultades de aplicación.

#### **6.4. Opciones de Implantación de los DEM SRTM**

El objetivo principal que establece los Términos de Referencia de la SRTM de GeoSUR es evaluar la utilidad de producir productos derivados para los conjuntos de datos SRTM de 30 y 90 metros para la región.

Después de la investigación inicial realizada por el USGS en nombre del Programa GeoSUR quedó demostrado que los datos de 30 metros y los de 90 metros son de gran utilidad cuando se destinan a aplicaciones como las anteriormente indicadas. Varios estudios han sugerido que el conjunto de datos de 30 m contiene información valiosa, pero que la calidad de esta información no siempre es una mejoría lineal respecto de los datos de 90 m. Cuando se comparan los datos de 30 m y 90 m, la calidad de la información en el MDE de 30 m varía dependiendo de la ubicación y geomorfología de la región. Por esta razón se sugiere poner especial cuidado en las metodologías de implantación que se escojan para el desarrollo de los productos derivados de SRTM 30 m.

##### *Aplicación en la generación dinámica de mapas derivados*

Se podría implantar un enfoque dinámico que permitiría al usuario definir un área geográfica de interés y seleccionar los productos derivados que se desean generar. Mediante este enfoque todo procesamiento derivado se haría realizando la correspondiente solicitud de datos a un geoservicio, eliminando la necesidad de procesar previamente todos los productos a nivel global o continental.



Una aplicación que ejemplifica bien las ventajas de esta aplicación es el análisis de línea visual (o viewshed). Este análisis identifica áreas que son visibles de un punto de observación dado y es utilizado frecuentemente como paso preliminar en la identificación de ubicaciones de torres radio-transmisoras. Con el enfoque de modelado dinámico se puede publicar un modelo de geoservicio, permitiendo al usuario final indicar las coordenadas de un punto de observación y recibir como resultado un mapa con las áreas visibles desde este punto.

## **7. Características de los datos SRTM**

Los datos SRTM han sido sometidos a una secuencia de pasos de procesamiento resultando en varias versiones de datos que tienen ligeras características diferentes. Además, las diferentes convenciones utilizadas por la NGA y la NASA pueden llevar a confusión.

Los datos iniciales obtenidos del proceso interferométrico fueron procesados por el Sistema de Procesamiento de Datos en Tierra para SRTM, los datos obtenidos se colocaron en el formato SRTM, lo que se conoció como la Versión 1.0.

En una segunda etapa la NGA aplicó varios procedimientos de post procesamiento a estos datos incluyendo la edición, análisis de superficies de agua, definición de la línea costera, retiro de errores, etc. Luego de estos procesos de acabado los datos se retornaron a la NASA para la distribución a la comunidad científica, así como también al público. Estos datos volvieron a ser colocados como formato SRTM y son conocidos como la Versión 2. La figura 5.2 muestra una porción de la celda S03W79.hgt; en la parte izquierda se observa el archivo SRTM V2 no editado, se observa la presencia de espacios sin datos, en la parte derecha se han llenado estos vacíos utilizando algoritmos disponibles en Mirone.



S03W79.hgt

S03W079\_p.hgt

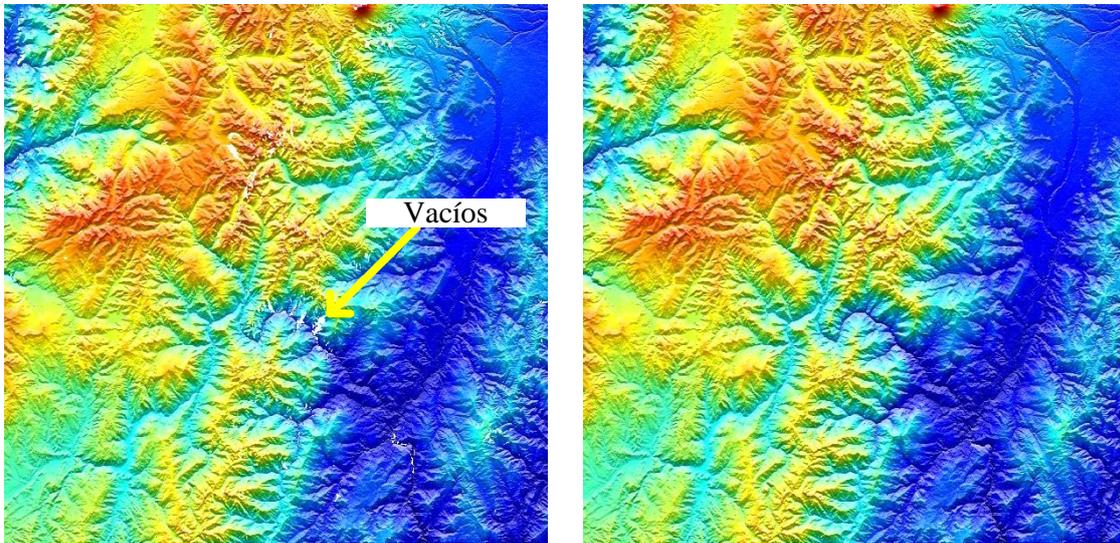


Figura 5.2: Visualización de la celda S03W79.hgt de SRTM V2 con Matlab/Mirone. Observar la presencia de vacíos; en la segunda muestra los vacíos se eliminaron mediante interpolación

### 7.1. Convención para la denominación de los datos SRTM

La siguiente tabla resume la convención utilizadas para diferenciar los productos SRTM; la cartografía disponible para Ecuador es SRTM3, es decir, con una resolución aproximada de 90m, las diferencias entre las versiones, así como su disponibilidad. Los datos de SRTM1 están disponibles solamente para Estados Unidos, aunque existen proyectos para liberarla para otros países. SRTM30 es equivalente a GTOPO30, sin embargo los datos de la SRTM son mucho más precisos.

Convención de datos de la SRTM			
Espaciamiento espacial	Nombre SRTM	DTED equivalente	Otros MDE
1 arc-segundo	SRTM1	DTED2	
3 arc-segundo	SRTM3	DTED1	
30 arc-segundo	SRTM30	DET0	GTOPO30



En resumen, los datos SRTM están organizados en celdas rasterizadas individuales, cada celda de datos cubre un grado de longitud por un grado de latitud. El espaciamiento entre puntos de muestra es de 1 arc-segundo, 3 arc-segundo, or 30 arc-segundo, llamados respectivamente como SRTM1, SRTM3 and SRTM30. Dado que un arc-segundo en el Ecuador corresponde a 30 metros, el SRTM1 y SRTM3 se refieren a "30 metros" o "90 metros". Los datos de la SRTM se procesaron y organizaron por continentes y están ubicados en directorios separados en el servidor de datos.

Los nombres de las celdas de datos están relacionados con la longitud y latitud de la esquina inferior izquierda (Sur Oeste). Por ejemplo S03W079 son 3 grados de latitud Sur y 79 grados de longitud Oeste. Para ser más exactos, estas coordenadas se refieren al centro geométrico de la muestra izquierda inferior. La figura 5.2 es la visualización de una celda del mosaico de datos obtenidos en la SRTM.

La actual versión de SRTM3 está definida en coordenadas geográficas en el sistema de referencia WGS-84; como se ha dicho los datos está organizados en celdas o segmentos (tiles), cada una cubriendo una superficie de dimensión  $1^\circ \times 1^\circ$ , o siendo más precisos, en un cuadrado angular de lado  $1.00083333^\circ$  y celdas vecinas se sobreponen ligeramente una con otra. Los datos en cada segmento forman una matriz de números de dimensión 1201 filas x 1201 columnas, cada una de dimensión  $\Delta\phi = \Delta\lambda = 3'' = 0.00083333^\circ$ . Las filas y columnas extremas se sobreponen con las celdas vecinas al tener los mismos datos.

## **7.2. Archivos MDE (.hgt)**

Los datos en SRTM se proveen en archivos con extensión hgt. Los MDE utilizan datos de 16 bits en un raster binario simple. No hay cabeceras o bytes adicionales embebidos en el archivo. Todos los datos están almacenados por filas. Todas las



elevaciones se encuentran en metros referenciados WGS84/EGM96 como está indicado en el documento SRTM\_gtopo.txt [10].

Cada archivo cubre un bloque de superficie de la tierra de un grado de longitud por un grado de latitud. Como se ha dicho, los primeros siete caracteres indican la esquina Suroeste del bloque. La extensión “.hgt” es un simple indicativo de la palabra inglesa “height”, que significa elevación. No se trata de un tipo de formato estándar. Estos archivos son un formato “crudo” de los datos de elevación, no tiene cabeceras, ni compresiones, los datos son números enteros representando la elevación expresada en metros sobre el nivel del mar, utilizando una proyección geográfica. Como ya se indicó, los archivos que están a disposición internacional (3 arc-segundo) tienen 1201 columnas y 1201 filas de datos, con un tamaño de archivo de 2.884.802 bytes (=1201 x 1201 x 2). Para los Estados Unidos los archivos tienen 3601 columnas por 3601 filas de datos, con un tamaño total del archivo 25.934.402 bytes (=3601 x 3601 x2). El indicador de ausencia de datos es -32768.

## **8. Versiones de datos de la SRTM<sup>45</sup>**

### **Versión 1**

La versión 1 de los datos SRTM consiste de los Modelos Digitales de Elevación originales producidos por el proyecto SRTM de Febrero de 2000, puestos a disposición por la NGA. Los datos no están editados y contienen puntos de datos espurios y datos difusos en sitios en donde falla el radar como son los grandes cuerpos de agua.

### **Versión 2**

La versión 2 fue el resultado de un sustancial esfuerzo de edición realizados por la NGA, y ya exhibe notables mejoras en la definición de cuerpos de agua y líneas costeras. Ya no hay la presencia de píxeles aislados con errores (spikes y wells),

---

<sup>45</sup> <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/srtm/description.shtml>



a pesar de que ciertas áreas mantienen ausencia de datos. En la versión 2 se puede encontrar una máscara de la línea costera vectorizada utilizada por la NGA en el proceso de edición. Denominada SWBD<sup>46</sup> en formato shapefile<sup>47</sup>.

La versión 2.1 es un re-cálculo del SRTM3 realizando un promedio de 3x3 de los datos editados. La versión 2 ha sido generada con máscaras de las muestras editadas para una menor resolución para ponerla a disposición del público por la NGA.

Las versiones 1 y 2 están disponibles en la dirección en formato **hgt**:

[ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South\\_America/S3W079.hgt.zip](ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South_America/S3W079.hgt.zip)

**Actualmente la versión 2 de la SRTM está disponible en formatos DTED que puede ser reconocida por la librería “Map tools” de Matlab; o en formatos (.bil) compatible con ArcGis, y en formato (Geotiff) genérico en la dirección:**

<http://antroposig.ciesas.edu.mx:8080/joom/mapotecadigital/srtm>

**En donde la información puede ser obtenida en forma gratuita previa suscripción.**

### **Versión 3**

**En la versión 3 se incluye:**

- Incluye datos SRTM editados o finalizados
- Utiliza datos SWBD para definir líneas costeras
- Utiliza MDE auxiliares para completar áreas sin datos
- Difiere de la Versión 2 con un desplazamiento de ½ pixel

---

<sup>46</sup> SWBD: SRTM Water Body Data

<sup>47</sup> Formato para visualización en ARCGIS



**No es muy conocida, ya que la aparición de la versión 4 la sustituyó rápidamente.**

#### **Version 4**

- La versión 4 usa técnicas de interpolación descritas en [Reuter et al. \(2007\)](#) [2].
- Utiliza MDE adicionales para completar lugares vacíos, y SRTM30 para espacios grandes sin datos.
- La versión 4 difiere de la versión 3 en  $\frac{1}{2}$  pixel de grilla resolviendo definitivamente la confusión.
- Esta versión ha sido categorizada con versión 4 luego de significativas mejoras en las versiones previas, usando algoritmos de interpolación y mejores MDE auxiliares. Se la considera la versión de datos SRTM de mejor calidad.

La versión 4 ya está disponible en formato GeoTIFF<sup>48</sup>, están disponibles a partir de la organización de SRTM v2 que han sido combinados en celdas de 5x5. La información puede ser obtenida en forma gratuita en:

[http://telascience.sdsc.edu/tela\\_data/SRTM/srtm.csi.cgiar.org/srtm\\_v3/SRTM\\_Data\\_GeoTiff/Z\\_19\\_10.TIF](http://telascience.sdsc.edu/tela_data/SRTM/srtm.csi.cgiar.org/srtm_v3/SRTM_Data_GeoTiff/Z_19_10.TIF)

Este portal está disponible para proveer MDE digitales con datos SRTM3 para todo el mundo desde 2009. Los MDE SRTM producidos por la NASA originalmente, constituyen una de las mayores contribuciones a los sistemas de mapas digitales a nivel mundial, y brinda el mayor avance en accesibilidad a datos de elevaciones de alta calidad para grandes extensiones de territorios en los trópicos y territorios en el mundo en desarrollo. La ventaja de esta versión 4 es que han sido procesada para llenar espacios sin datos, y facilita su uso a un mayor grupo de usuarios; los formatos disponibles GeoTiff y ASCII así lo permiten.

---

<sup>48</sup> Archivos en formato TIFF georeferenciados



Los datos disponibles tienen una resolución de 90m en el Ecuador, y se pueden obtener en mosaicos de 5x5 grados. El error vertical de los datos es menor a 16m.

## **9. Resumen de direcciones para obtención de MDE de la SRTM**

- Archivos en formato hgt , bil, geotiff, grd para SRTM versión 2

<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

[ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/South\\_America/](ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/South_America/)

[http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM3/South\\_America/](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/South_America/)

<http://antroposig.ciesas.edu.mx:8080/joom/mapotecadigital/srtm>

- Archivos en formato Geotiff o ESRI ASCII para SRTM versión 4

<http://srtm.csi.cgiar.org/index.asp>

<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

- MDE obtenidos a partir de cartografía de IGM

<http://www.rsgis.ait.ac.th/~souris/Ecuador/>

<http://www.rsgis.ait.ac.th/~souris/ecuador.htm>

## **10. Obtención de datos Poblacionales**

La propuesta de tesis planteó la necesidad de realizar un análisis de la penetración del servicio que se podría alcanzar con CDMA450. Se planteó la necesidad de incluir la demanda de servicios presente en un sistema de información geográfica como un medio para determinar la cobertura que tendrá la aplicación de la tecnología.



Con este propósito, tomando como base los datos disponibles en el FODETEL a través del proyecto Odeplan, en el que se detallan lugares, población y viviendas por sitio, fue necesario realizar la tarea de georeferenciar esta información como paso previo al análisis. El hecho de que la información del FODETEL no se encuentre referenciada constituye un serio obstáculo para la precisión del análisis, y obliga a tomar iniciativas que de principio tiene limitaciones para contribuir a un análisis de calidad garantizada, y de la magnitud deseada. Los datos de la fuente disponible distribuyen la población a nivel de localidades y barrios; en la provincia del Azuay existen 3.140 localidades. Un modelo eficiente involucraría ubicar en el sistema SIG estas localidades y por tanto la demanda.

El trabajo de campo que involucraría georeferenciar la información sería enorme y sobrepasaría las limitaciones de tiempo y recursos disponibles para el desarrollo de la tesis. Por otro lado, considerar a la población concentrada en un punto espacial, si bien constituye un primer análisis en la cobertura, asimilable si se trata de zonas de escasa población como el ambiente rural; un modelo más realista debería considerar una distribución espacial de la demanda. De aquí que se ha desarrollado el esquema de trabajo que se describe en adelante.

Con el propósito de cumplir el objetivo de la tesis se ha realizado el siguiente trabajo. Nuevamente la palabra clave es “rasterizar”, en este caso la población; o en términos más formales, lo deseable hubiera sido contar con un modelo raster del censo. Con la obtención de un modelo rasterizado de la población, el paso a seguir es relacionarlo con los resultados de cobertura radioeléctrica sobre la base de un área común de territorio; el resultado es finalmente el objetivo del presente estudio, es decir la obtención de la penetración potencial del sistema.

Lo que se describe a continuación es la forma en que se obtuvo el modelo raster de la población bajo las limitaciones de las herramientas disponibles.



## **10.1. Rasterización de la Población y Vivienda**

En el presente contexto se entiende por rasterización a la estimación de la distribución espacial de la población y las viviendas, en una cuadrícula o grilla como es el modelo raster. Por razones de compatibilidad con el raster de cobertura cuya generación será explicada en el capítulo de simulación la dimensión de la celda es similar en los dos casos.

La representación espacial de la población en este modelo es equivalente a crear una “superficie” de población o de viviendas. El objetivo es hacer posible la comparación y estudio en un esquema algo más real, y no considerar a la población con una concentración puntual.

La información demográfica se integró en un SIG, específicamente como una capa de ArcGis con 1.600 puntos aproximadamente. La diferencia, es decir aproximadamente 1.500 sitios censados no pudieron ser identificados, sin embargo su peso es de aproximadamente un 20%, ya que los principales centros poblacionales rurales si fueron identificados en la cartografía del IGM. Dado que la información demográfica de origen no se encuentra referenciada, por más cuidado que se tuvo en compaginar esta información con la geográfica del IGM, es evidente la presencia de errores de manera inevitable con este esquema. Se aclara además que no está considerado el cantón Cuenca debido que éste se encuentra servido por el operador ETAPA.

Las poblaciones definidas en la información demográfica se asimilaron a segmentos censales que se buscó identificar en la cartografía del IGM se geocodificaron como puntos y no como polígonos, considerando un centroide poblacional del segmento. La ubicación de los centroides se la hizo con la ayuda de ArcGis y la cartografía del IGM ubicando puntos en posiciones de las iglesias, o parques centrales generalmente. Ubicados los puntos, el cálculo de coordenadas es inmediato en ArcGis.



La situación ideal sería contar con la coordenada de cada vivienda. Esto constituye una tarea monumental, y de hecho CNT EP dispone de esta información, en forma parcial, solamente en sitios en donde dispone de redes alámbricas; zonas que básicamente no son consideradas en el presente estudio.

El proceso de pasterización posterior elimina el supuesto de concentración poblacional en un solo punto, al distribuir la población y a las viviendas en toda la superficie.

La aproximación lógica inmediata para representar espacialmente la información sería hacerlo con polígonos, pero esta aproximación supone cierta distribución homogénea dentro del polígono. En las zonas rurales la ausencia de una distribución uniforme es una realidad.

Lo ideal hubiera sido representar espacialmente al segmento por un centroide demográfico antes que un centroide geográfico. El centroide demográfico se considera más representativo que el centroide geográfico [11]. Sin embargo, para el presente trabajo, considerando que las poblaciones son pequeñas se han considerado los centroides demográfico y geográficos como coincidentes.

## **10.2. Metodología de rasterización**

El proceso de rasterización consiste en interpolar la población, asignando ponderadores de distancia a las celdas uniformes del raster del SIG. El objetivo es redistribuir la población de los centroides a las áreas de donde fueron originalmente tomados. El resultado del proceso produce una matriz de celdas con valores estimados de población, cuya suma es el total de la población representado en los valores de la población en los centroides de los segmentos censales. El modelo reconstruye la geografía de la población de una forma que



sea independiente de la ubicación de los límites arbitrarios de los segmentos censales.

La técnica de redistribución de la población depende de dos parámetros: a) el tamaño del radio de interpolación ( $r$ ), el cual determina el área donde se expandirá; y b) el parámetro de la función del decaimiento de la distancia, la cual define el “suavizamiento” de la superficie dentro de las áreas pobladas. El modelo se denomina densidad de Kernel, y está disponible en ArcGis como una función de kernel cuadrática.

La densidad de Kernel calcula la densidad de las características de un punto en cada una de las celdas de raster resultante. Conceptualmente, una superficie suavemente curvada es colocada sobre cada punto. La superficie tiene su valor más alto en la ubicación del punto y disminuye con la distancia medida desde el punto. Con ArcGis está disponible solamente un modelo circular alrededor del punto. La población bajo la superficie iguala al valor del punto, que en nuestro modelo representa la población de la localidad.

La densidad en las celdas del raster de salida se calcula sumando los valores de todas las superficies que se generan alrededor de los puntos con valor.

#### **Referencias:**

- [1] Ángel M. Felicísimo, “**Modelos Digitales del Terreno**”, Oviedo, España, 1994.  
<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- [2] Jayanta K. Surcar, Juan A. Cebrian, “**Creación de Modelos Topográficos Digitales a partir de Curvas de Nivel Rasterizadas**”, Morelia, México, 1987, Madrid, España, 1990.
- [3] César A. Leiva, “**Parámetros de Transformación entre los Sistemas Geodésicos de Referencia PSAD 56 y SIRGAS95 (WGS 84) para ECUADOR**”, Departamento de Geodesia – IGM – Quito – Ecuador, 2003.
- [4] Janusz Michalak, “**DEM Data Obtained from the Shuttle Radar Topography Mission – SRTM-3**”, Universidad de Varsovia, Polonia.



- [5] Mathew Cushing. USGS, "**Desarrollo de Mapas de Relieve, Hidrografía y Derivados**", Programa Geosur, 2008.  
[http://www.geosur.caf.com/upload/pubs/GeoSUR\\_Papel\\_Concepto\\_SRTM.pdf](http://www.geosur.caf.com/upload/pubs/GeoSUR_Papel_Concepto_SRTM.pdf)
- [6] Michaela Wagner, "**SRTM DTED Format SRTM/PD-03/11/03 Version 1.1**", 2003
- [7] Jorge Martinez Villar, "**Elaboración y Análisis de Imágenes Radar desde Satélite: Monitorización de deformaciones del terreno**", Universidad Politécnica de Cataluña, 2005.
- [8] Andy Mitchell, "**The ESRI Guide to GIS ANALYSIS**", Volume 1: Geographic Patterns & Relationships, USA 1999.
- [9] ESRI, "**ArcGIS9: Using Spatial Analyst**", USA, 2002.
- [10] SRTM\_topo, "**SRTM Documentation**", NASA, USA, 2003
- [11] R. Bonilla, L. Rosero, "**Rasterización de los Censos de Población y Vivienda de 1973, 1984, y 2000**", Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, San José de Costa Rica, 2008.



## **SECCION IV**

# **Simulación y Resultados**



## **Capítulo 6**

### **Planeación de Cobertura y Simulación**

#### **1. Introducción**

Se realiza la estimación de la cobertura de una BTS CDMA considerando tanto el enlace directo como el reverso. Básicamente se consideran cuatro pasos de planeación:

- Se calcula la máxima pérdida de trayecto soportada por el sistema
- Se calcula el radio de la celda de acuerdo al modelo de propagación utilizado.
- Se determina la cobertura de una BTS
- En el capítulo final se hace un ensayo de determinación de cobertura en la provincia del Azuay

Para el enlace de reversa el proceso de planificación determina la máxima distancia en función de la máxima pérdida de trayecto, considerando una ocupación máxima del 75%.

Establecer un modelo para el canal directo es mucho más complicado dada la dificultad de establecer la posición del móvil. El tratamiento común que se da en la modelación de este canal es la simulación mediante un paquete de software. Los proveedores de tecnología generalmente utilizan sus propios programas de simulación.

Uno de los objetivos del presente trabajo es el desarrollo de una herramienta de este tipo, a la que se ha denominado MATradio; se encuentra desarrollada en Matlab, y en este capítulo se realiza la presentación de la misma.

#### **2. Radio Propagación**

##### **2.1. Planificación de cobertura y cálculo de trayecto**

Se utilizan los parámetros del sistema desplegado por la empresa Huawei para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones. Se calculan los diferentes parámetros que permiten estimar la cobertura del sistema.



Si bien se utilizan los modelos establecidos para sistemas móviles, es necesario considerar los parámetros que diferencian a esta red: el sistema se utiliza como un sistema inalámbrico (wireless) en el que la movilidad de los terminales es nula, o en el peor de los casos es de tipo nomádica. En este sentido, la simulación se hace utilizando modelos para “slow fading”.

El cálculo de trayecto se refiere al cálculo de las ganancias y pérdidas sobre todo el enlace de comunicación; en otras palabras, la máxima pérdida de propagación permitida durante una llamada con una calidad aceptable. La cobertura de la BTS se estima con el cálculo de trayecto y un modelo de propagación.

La cobertura de BTS se decide tanto por el enlace directo como por el reverso. De lo que se trata es de realizar un adecuado balance de los recursos en los dos enlaces; sin embargo, generalmente la cobertura lo determina el canal de reversa.

### **Clasificación de parámetros**

#### ***Parámetros del sistema:***

- Frecuencia portadora:  $f = 450 \text{ MHz}$
- Ancho de banda de espectro ensanchado:  $W = 1.2288 \text{ MHz}$
- Ganancia de procesamiento (esparcimiento):  $10 \log(W/R)$  ;  $W$  es el ancho de banda del espectro ensanchado.  $R$  es la tasa de información; si  $R=9.6\text{Kbps}$ , entonces:  $10 \cdot \log(1228800/9600) \cong 21\text{dB}$
- Ruido térmico:  $N_0 = 10 \log (K \times T \times W)$

Siendo:  $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  la constante de Boltzmann

$T$ = temperatura expresada en grados Kelvin. Usualmente se usa el valor de  $290^0\text{K}$

$W$ = ancho de banda del espectro ensanchado

#### ***Parámetros del equipamiento:***

- Potencia de transmisión de la BS:



- ✓ Máxima potencia de transmisión de la BTS:  $20W \equiv 43dBm$  para las BTS's Huawei
- ✓ Máxima potencia para los canales de tráfico: depende de la configuración
- Potencia de transmisión de la MS:
  - ✓ Aproximadamente es de 23 dBm (200mW)
  - ✓ Todos los canales de reversa comparten la potencia total. Los canales de reversa en cdma2000 1x incluyen R\_PICH, R\_SCH, R\_FCH. En diferentes situaciones la MS dispondrá de potencia para cada canal de acuerdo a la siguiente regla:

Tipo de canal	R-FCH	R-SCH(1x)	R-SCH(2x)	R-SCH(4x)	R-SCH(8x)	R-SCH(16x)
Máxima Potencia (dBm)	21,55	19,17	20,5	21,29	21,91	22,35

- Ganancia de antena de la BTS: se utilizan antenas omnidireccionales con ganancia de  $11dB_i \rightarrow 13dB_i$ . O en forma más común antenas direccionales  $15dB_i \rightarrow 18dB_i$ .
- Ganancia de antena de la BS: generalmente se asume que la suma de la ganancia de antena y las pérdidas de conexión del móvil es de 0dBm. En el caso de FWT<sup>49</sup> asumiremos 2,75 dB.
- Umbral de demodulación  $E_b/N_t$

Velocidad de MS	Tasa de datos				
	Servicio de voz a 9.6Kbps	Servicio de datos a 19.2Kbps	Servicio de datos a 38.4Kbps	Servicio de datos a 76.8Kbps	Servicio de datos a 153.6Kbps
0 Km/h	3,5	3,4	2,59	2,15	1,54
3 Km/h	5,57	4,11	3,01	2,47	1,98
8 Km/h	6,34	4,96	3,64	3,01	2,51
30 Km/h	7,13	5,96	4,78	4,28	3,8
100 Km/h	6,78	5,37	4,26	3,57	2,68

<sup>49</sup> FWT: "fixed wireless terminal". Terminal fijo inalámbrico



- Figura de ruido: se trata de un índice que evalúa el desempeño del LNA (low noise amplifier) y su valor varía de un proveedor a otro. El valor típico para una BTS Huawei es de **3.2 dB**. El valor típico para una MS es de **6 a 8 dB**.
- Pérdidas en el alimentador y conector: en el conector se consideran pérdidas de **0.2 dB**. En los cables alimentadores son una función de la longitud de los mismos, así como de la frecuencia de trabajo.

	450 MHz
7/8 pulg (dB/100m)	2,7
5/4 pulg (dB/100m)	1,9
1/2 pulg (dB/100m)	7,6

- Sensibilidad del receptor de la BTS

Para asegurar la calidad de una comunicación, se requiere determinar el mínimo nivel de señal que el receptor requiere. Este nivel es una función del umbral de demodulación y de la figura de ruido. La sensibilidad está también afectada por el nivel de interferencia. Si el nivel de interferencia se incrementa, la sensibilidad del receptor decrece.

$$S_{BTS} = 10 \log(K \cdot T \cdot W) + NF_{BTS} + \frac{E_b}{N_t} - 10 \log(W / R_b)$$

$$NF_{BTS} = \text{Figura de ruido del receptor}$$

### **Parámetros ambientales:**

- “Shadow fading margin”

En general el fenómeno de propagación radioeléctrica se estudia en tres escenarios de velocidad del terminal móvil: muy lento, lento, y rápido. En el primero escenario, muy lento, se utiliza el modelo de potencia inversa  $1/d^n$ , donde el exponente  $n$  en aplicaciones celulares típicas es cercano a 4. Superpuesto a este modelo se encuentra la contribución de las variaciones lentas debido al efecto de sombra (shadowing) y las variaciones rápidas debido al efecto de multitrayectoria (multipath).



Considerando la aplicación específica de cdma450 como servicio rural fijo, es razonable no considerar variaciones rápidas, y podemos considerar en nuestro estudio como que estas variaciones rápidas han sido filtradas. Entonces lo que queda son las variaciones lentas, más el rango dependiendo de la pérdida de trayecto (path loss). La potencia recibida en unidades logarítmicas puede ser representada por la expresión:

$$P(d) = P_{1Km} - 10n \log(d_{Km}) + X(0, \sigma_L)$$

Donde  $P(d)$  es la potencia recibida a la distancia de  $d(Km)$ ,  $P(1Km)$  es la potencia recibida a 1Km,  $n$  es la potencia de decrecimiento de la señal, y  $X$  es una variable aleatoria Gaussiana de valor medio cero y desviación estándar  $\sigma_L$ , llamada variabilidad de localización.

La variabilidad de la señal recibida por lo general se asume que tiene un comportamiento descrito por una distribución Gaussiana. Cuando se realiza un análisis de planificación de cobertura lo que se hace es especificar la calidad de cobertura estableciendo un umbral suficientemente alto (L%), que puede ser por ejemplo 90%, 95%, etc.

Generalmente la cobertura es evaluada en la franja de cobertura. La calidad del área de cobertura completa se obtiene extrapolando la calidad del área de cobertura a su área interior. La figura ilustra el concepto de área de cobertura asociada a un nivel de probabilidad dado. La figura 6.1 ilustra tres contornos correspondientes a niveles de probabilidad el 50%, 90%, y 95%. La probabilidad significa que, si fuera posible viajar a lo largo de la franja de cobertura, la probabilidad especificada sería observada. Lo usual es establecer un umbral superior al 75%. En la práctica lo que se realiza es reservar un margen de potencia para contrarrestar el efecto de sombra (shadow fading margin).

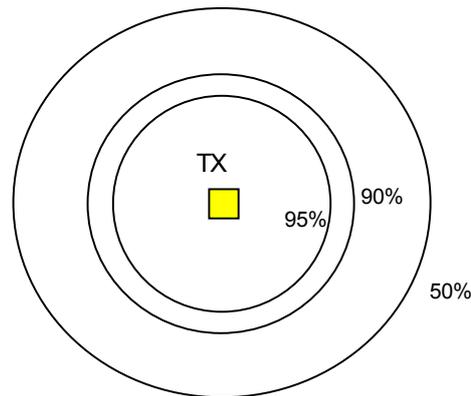


Figura 6.1: Probabilidad de cobertura en el borde de la celda [4]

El margen para contrarrestar el efecto de sombra se calcula como:

$$Mf(dB) = \text{NORMSINV}(\text{probabilidaddecoberturadeborde}) \cdot \sigma$$

Donde  $\text{NORMSINV}()$  es la función inversa de la distribución estándar. El margen usual utilizado en el dimensionamiento por parte de Huawei es de **7dB**.

➤ **Pérdidas de entorno**

Tiene gran impacto en la propagación, principalmente debido a pérdidas de penetración en vehículos y edificaciones. Su valor típico está entre 6 y 10 dB. Para 450 MHz se consideran pérdidas de penetración de **16 dB**.

➤ **Pérdidas por el cuerpo humano**

Con la utilización de terminales portátiles estas pérdidas suelen considerarse de 3 dB. Para la presente aplicación se considera un valor de **0 dB** por cuanto los terminales no se utilizan de manera cercana al cuerpo como es el caso de equipos portátiles.

**Parámetros específicos de CDMA:**

- **Margen de Interferencia:** El sistema CDMA es una clase de sistema autointerferente, el cual está relacionado cercanamente con la cobertura y



capacidad. Con el incremento de carga, la interferencia de otros usuarios dentro del sistema también crece, reduciendo la sensibilidad del receptor. En el cálculo del presupuesto del enlace, esto es representado por el margen de interferencia. En el enlace reverso el ruido por interferencia puede ser calculado con la fórmula:

$$\text{Ruido sobre térmico (NoiseRaise)}=10 \cdot \log\left(\frac{1}{1-\eta_{RL}}\right) \Rightarrow -10\log(1-\eta_{RL})$$

$\eta_{RL}$  = es la carga del sistema

Para una carga del **60%** el margen de interferencia resulta ser de **4dB**. Para el enlace directo, debido a la complejidad, suele utilizarse simulación.

- **Margen de control de Potencia:** El nivel de señal varía rápidamente debido a la sobreposición de diferentes señales de propagación. Esto se conoce como el fenómeno de atenuación rápida (fast fading). El control de potencia rápido reduce el efecto de atenuación para velocidades menores a 30Km/h. De esta manera el requerimiento de  $E_b / N_t$  para la demodulación puede ser reducido. En el cálculo del presupuesto del enlace el cálculo está basado en el umbral de demodulación bajo la condición de un control de potencia ideal. En un contexto real la capacidad de demodulación se deteriora por la restricción de la máxima potencia de transmisión.

Bajo una condición de caminata, el valor típico del margen de control de potencia es de 1dB a 1.5dB. Para el caso específico de la presente aplicación podría considerarse **0dB**.

### ***Presupuesto de propagación del enlace reverso [6]***

El procedimiento a seguir en el proceso de planificación de CDMA es estimar la máxima pérdida de trayecto permitida para que la señal en el receptor pueda ser demodulada manteniendo una calidad aceptable. Conociendo este nivel máximo



permitido es posible determinar a continuación el máximo radio de cobertura. La máxima pérdida de trayecto permitida puede ser estimada con la fórmula siguiente:

$$PL_{BL} = P_{out\_MS} + Ga_{MS} - Lf_{MS} + Ga_{BS} - Lf_{BS} - S_{BS} - Lb - MI + Ga_{soft} - Mf - Lp$$

$Pl_{Bl}$	: Máxima pérdida de trayecto permitido
$P_{out\_MS}$	: Máxima potencia transmitida en el canal de servicio del MS
$Ga_{MS}$	: Ganancia de antena de MS
$Lf_{MS}$	: Pérdida en el alimentador del MS
$Ga_{BS}$	: Ganancia de antena de la BS
$Lf_{BS}$	: Pérdida en el alimentador de la BS
$S_{BS}$	: Sensitividad de la BS
$Lb$	: Pérdida por efecto del cuerpo humano
$Ga_{soft}$	: Ganancia de handoff
$Mf$	: Margen de atenuación de sombra (shadow fading)
$MI$	: Margen de interferencia
$Lp$	: Pérdida de entorno (clutter loss)

## 2.2. Modelo de propagación de radio para zonas con visibilidad

Una fase extremadamente crítica es la elección del modelo de propagación a utilizar. La condición particular montañosa de de la zona en donde se está aplicando la tecnología dificulta la elección del modelo de propagación a ser utilizado.

No se ha encontrado una recomendación explícita de un modelo a ser aplicado en nuestra zona; la práctica común es la de utilizar simuladores con el modelo de propagación que se haya incluido en el mismo para uso genérico. Los modelos más comunes utilizados es el de Okumura Hata (OH) [4], [5], que además se encuentra expuesto en el anexo 1. Otros simuladores utilizan Longley Rice [5], disponible en forma de programa en <http://flattop.its.bldrdoc.gov/itm.html> .

El modelo de Okumura Hata tiene los siguientes límites de validez:

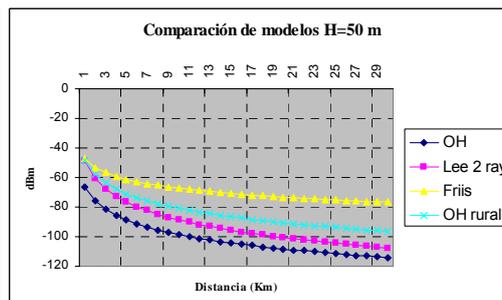
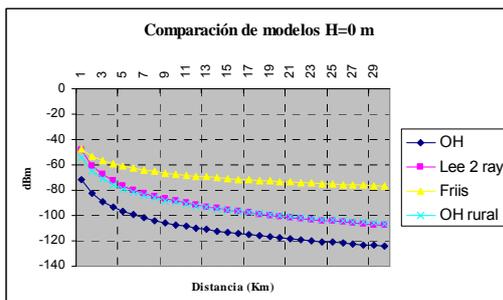
- Frecuencia:  $150 \leq f[MHz] \leq 1500$
- Altura de la antena en la BTS:  $30 \leq h_t[m] \leq 200$
- Altura de la antena en el móvil:  $1 \leq h_m[m] \leq 10$
- Rango de validez del modelo:  $1 \leq d[Km] \leq 20$



En una zona topográfica como el de la aplicación en la provincia del Azuay, en donde el operador ha utilizado sus estaciones repetidoras para instalar las BTS's los desniveles hacia las zonas de cobertura superan fácilmente los 200m, por lo que el modelo OH es utilizado fuera de su rango de validez probada; surge entonces la necesidad de realizar una validación del modelo antes de ser utilizado de manera confiable. Al no contarse con modelos probados en nuestra zona se ha realizado una comparación entre tres modelos sencillos; luego de una validación con mediciones de campo se ha justificado el modelo utilizado en la simulación.

Los siguientes gráficos muestran una comparación entre los modelos, al predecir el nivel recibido en el enlace directo para CDMA450 en un sistema de Huawei, para diferentes valores de altura del terreno en la ubicación de la BTS, se han tomado alturas de: 0m, 50m, 100m, 200m, 500m, 1000m, 1500m, 2000m, y una altura de MS de 1,5 m:

- Okumura Hata (OH) aplicado a pequeñas ciudades con corrección para áreas suburbanas [4].
- Okumura Hata con corrección para áreas rurales abiertas (OHr) [4].
- Modelo de 2 rayos tipo B justificado por W. Lee [5, pag.138]
- Modelo de Friis (modelo de pérdidas de espacio libre) [7].



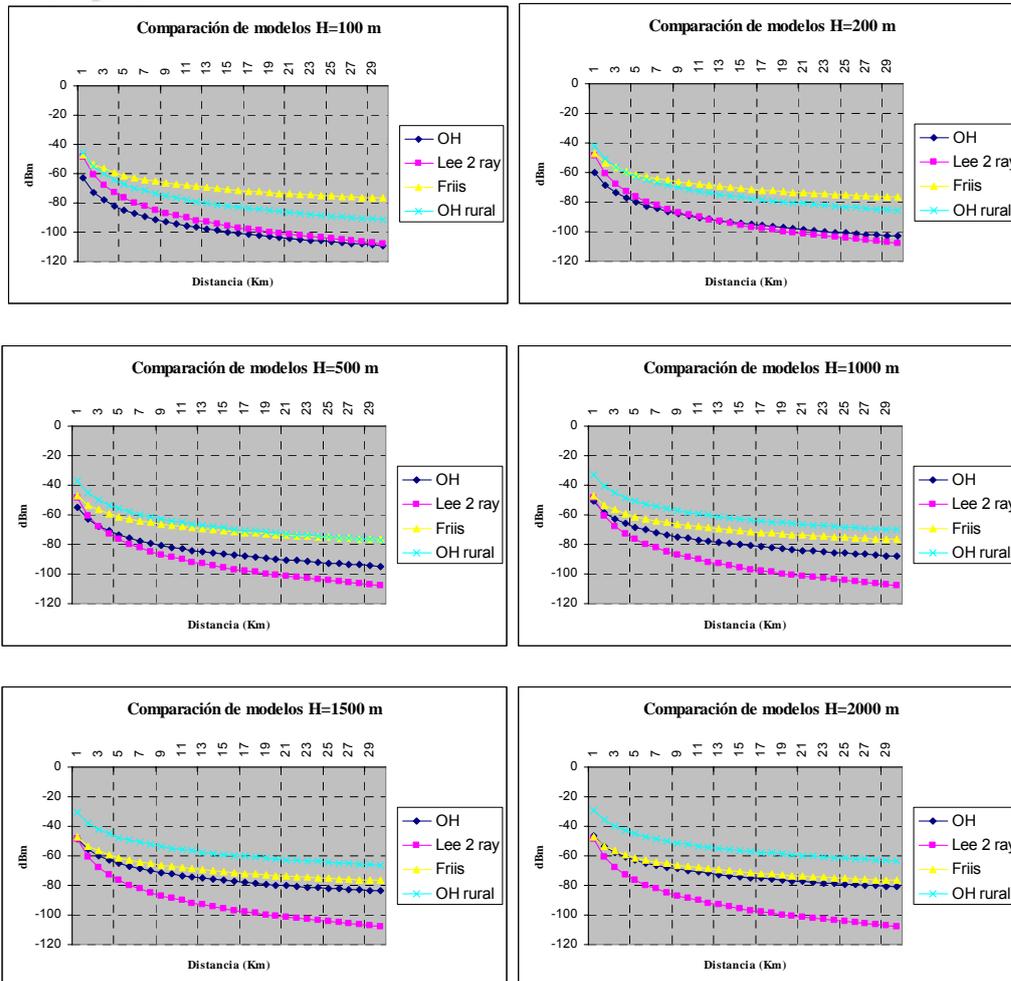


Figura 6.2: Comparación de modelos de propagación

Los modelos de Friis y el de 2 rayos de Lee son de tipo determinístico, y el modelo de Okumura Hata es semiempírico. A partir de la comparación se observa lo siguiente:

- Para un desnivel de terreno de 0m, es decir un terreno plano el modelo de OH y el de 2 rayos se aproximan mucho. Al modelo de Friis podemos tomarlo como un límite superior muy optimista.
- Para un desnivel de 200m, en el límite de su validez de, OH con corrección para zonas suburbanas se aproxima al modelos de 2 rayos, los dos modelos mantienen mucha aproximación. OHr con corrección para zonas rurales abiertas se aproxima a los niveles de predicción de Friis.



- Sobre los 200m, OHr con corrección para zonas rurales comienza a fallar. Para desniveles superiores de 500m, su predicción es inconsistente al superar la predicción de Friis.
- Sobre los 1000m, OH con corrección para zonas suburbanas se aproxima a la predicción de Friis. Para la zona en que se realiza la simulación se ha exagerado un desnivel de 2000m, para el cual OH y Friis son coincidentes.

En el terreno andino de la zona en estudio los desniveles utilizados en la anterior comparación se presentan en la realidad, y no constituyen una exageración. Cuando la altura de la ubicación del móvil supera los 10m sobre el terreno OH se aproxima a la predicción de Friis. Sin embargo, si las condiciones del terreno son equivalentes a que el móvil se ubique en un pico con altura superior a 10m, la predicción de OH falla prevaleciendo la predicción de Friis.

Lo expuesto pone de manifiesto la dificultad de contar con un modelo de propagación exacto en condiciones de terreno en el que las condiciones cambian mucho en pocas distancias de recorrido. Con desniveles superiores a 200m, que van a ser la mayoría de los casos a analizar OH está fuera de su rango de validez, por lo que se requiere de una validación en el sitio.

Un muestreo realizado en el terreno no revela una tendencia marcada que sugiera el uso de un modelo específico, los resultados se acercan a uno u otro modelo dependiendo de las condiciones del punto específico del sitio en prueba. Sobre desniveles superiores a 200m parece ser razonable utilizar las predicciones de Friis y el de 2 rayos como límites extremos. Dentro de este rango, OH con corrección de zonas suburbanas parece ser el de mejor comportamiento. Lo expuesto es válido para zonas de terreno con visibilidad.

### **2.3. Modelo de propagación de radio para zonas sin visibilidad**

La propagación en terreno montañoso es afectada por obstrucciones como son colinas y picos. La pérdida de trayecto resultante está determinada por las pérdidas por difracción. La teoría de Kirchhoff sobre difracción se ha encontrado útil para



predecir la pérdida de trayecto a lo largo del camino de transmisión que contiene obstáculos montañosos u obstrucciones similares. Para un borde filoso, de acuerdo con [5] las pérdidas por refracción se pueden estimar con la ecuación:

$$L_r = 20 \cdot \log(F)$$

Donde  $F$  es el coeficiente de difracción y se calcula de la manera siguiente:

$$F = \frac{S + 0.5}{\sqrt{2} \cdot \text{sen}(\Delta\phi + \pi / 4)}$$

$\Delta\phi$  es la diferencia de fase con relación con respecto al rayo directo:

$$\Delta\phi = \text{tg}^{-1}\left(\frac{S + 0.5}{C + 0.5}\right) - \frac{\pi}{4}$$

Siendo  $C$  y  $S$  las integrales de Fresnel, expresadas como

$$C = \int_0^v \cos\left(\frac{\pi}{2} x^2\right) dx ; S = \int_0^v \text{sen}\left(\frac{\pi}{2} x^2\right) dx$$

Donde  $v$  es un parámetro adimensional definido por:

$$v = -h_p \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)}$$

$r_1$ ,  $r_2$  son las distancias de separación, y  $h_p$  es la altura del punto filoso. Observar la figura 6.3

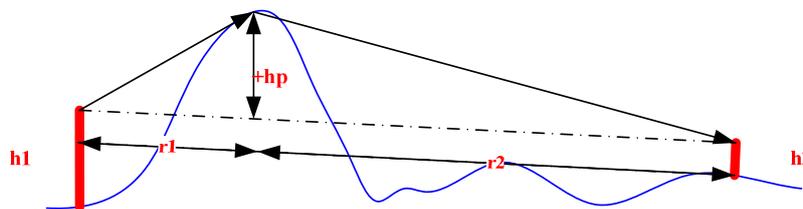


Figura 6.3: Comparación de modelos de propagación

Las integrales de Fresnel pueden ser evaluadas con las funciones de Matlab FresnelS y FresnelC a través de una evaluación numérica de las mismas.



De acuerdo con [5], con el propósito de simplificar el proceso de cálculo se recomiendan soluciones aproximadas de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} {}_0L_r &= 0dB && \text{si } 1 \leq v \\ {}_1L_r &= 20\log(0.5 + 0.62v) && \text{si } 0 \leq v \leq 1 \\ {}_2L_r &= 20\log(0.5e^{0.95v}) && \text{si } -1 \leq v \leq 0 \\ {}_3L_r &= 20\log(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1v + 0.38)^2}) && \text{si } -2.4 \leq v \leq -1 \\ {}_4L_r &= 20\log\left(-\frac{0.225}{v}\right) && \text{si } v < -2.4 \end{aligned}$$

### 3. Pérdidas máximas permitidas: radio de área de cobertura de BTS

El cálculo del presupuesto de enlace es necesario para dimensionar el sistema CDMA. Para el efecto se especifican las siguientes consideraciones adicionales: Para un canal de tráfico el valor de  $E_b/N_t$  objetivo se determina a través de simulación. El margen de atenuación por sombra corresponde a la variación en el nivel promedio de señal causado por la sombra de las colinas o edificios. Se ha encontrado que la distribución de log normal es un buen estimado de la naturaleza estadística de la formación de sombra y se utiliza para calcular la probabilidad de la cobertura en cada punto en la celda. El margen normal de disipación depende de la confiabilidad y de la desviación estándar de la disipación normal. La desviación estándar variará de acuerdo al tipo de topografía y relieve, el tipo urbano denso tiene un valor más alto. Si queremos tener alta confiabilidad, será necesario aumentar el margen. En el caso de la ganancia de soft handoff (SHO), en terminales fijos inalámbricos el margen de disipación normal es mucho más reducido por cuanto los terminales estarán fijos y el ambiente no presenta mayores cambios en el tiempo. En un momento dado el MS usará la mejor señal del enlace directo (Down Link), provenientes de la Estación Base (BTS).

En el área rural, los sitios se encuentran separados entre sí y las posibilidades de soft handoff se reducen a la señal recibida desde los dos o tres sectores de la misma BTS, de tal forma que la ganancia SHO se considera de **3dB** [6].



	Ambiente suburbano, antena direccional, antena FWT interna	Ambiente suburbano, antena direccional, antena FWT extendida	Ambiente rural, antena direccional, antena FWT interna	Ambiente rural, antena direccional, antena FWT extendida
Velocidad de Datos del Servicio (kbps)	9,60	9,60	9,60	9,60
Potencia de Transmisión del Canal de Tráfico de la BTS (dBm)	33,98	33,98	33,98	33,98
Pérdidas de feeders de la BTS (dB)	0,93	0,93	0,93	0,93
Pérdidas de Jumper de la BTS (dB)	0,10	0,10	0,10	0,10
Pérdidas de Conectores de la BTS (dB)	0,50	0,50	0,50	0,50
Ganancia de Antena BTS(dBi)	15,00	15,00	15,00	15,00
<b>PIRE para el enlace directo (dBm)</b>	<b>47,45</b>	<b>47,45</b>	<b>47,45</b>	<b>47,45</b>
Densidad de Ruido Térmico del Ambiente (dBm/Hz)	-173,98	-173,98	-173,98	-173,98
Figura de Ruido FWT (dB)	8,00	8,00	8,00	8,00
Eb/Nt requerido para el enlace directo (dB)	2,49	2,49	2,49	2,49
Ganancia del Procesamiento Directo (dB)	21,07	21,07	21,07	21,07
Sensibilidad de Receptor Terminal (dBm)	-123,66	-123,68	-123,66	-123,68
Ganancia de Antena FWT (dB)	2,15	11,00	2,15	11,00
Pérdidas de Cable y Conector del feeder del FWT (dB)	0,00	0,00	0,00	0,00
Pérdidas de Cuerpo FWT (dB)	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Intensidad Mínima de Señal Recibida Requerida (dBm)</b>	<b>-125,81</b>	<b>-134,68</b>	<b>-125,81</b>	<b>-134,68</b>
Ganancia de SHO	3,00	3,00	3,00	3,00
Margen de Disipación de Sombra (dB)	5,40	5,40	5,40	5,40
Margen de Interferencia (dB)	6,64	6,64	6,64	6,64
Pérdida de Penetración de Edificio (dB)	15,00	12,00	12,00	12,00
<b>Pérdidas Máximas Permitidas por Propagación (dB)</b>	<b>149,22</b>	<b>161,09</b>	<b>152,22</b>	<b>161,09</b>
Morfología	Suburbano	Suburbano	Rural	Rural
Modelo de Propagación	OH	OH	OH	OH
Frecuencia del Centro Portador del Sistema (Mhz)	450,00	450,00	450,00	450,00
Altura Efectiva de BTS (m)	30,00	30,00	30,00	30,00
Altura Efectiva de FWT (m)	1,50	1,50	1,50	1,50
<b>Radio de BTS para Enlace Directo (km)</b>	<b>12,78</b>	<b>27,76</b>	<b>49,28</b>	<b>87,97</b>

Tabla 6.1 Presupuesto del enlace para el canal directo



	Ambiente suburbano, antena direccional, antena FWT interna	Ambiente suburbano, antena direccional, antena FWT extendida	Ambiente rural, antena direccional, antena FWT interna	Ambiente rural, antena direccional, antena FWT extendida
Velocidad de Datos del Servicio (kbps)	9,60	9,60	9,60	9,60
Potencia de Transmisión del FWT (dBm)	21,55	21,55	21,55	21,55
Pérdidas de feeders y conectores (dB)	0,00	0,00	0,00	0,00
Ganancia de Antena FWT (dBi)	2,15	11,00	2,15	11,00
Pérdida de cuerpo FWT (dB)	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>PIRE para el enlace reverso (dBm)</b>	<b>23,70</b>	<b>32,55</b>	<b>23,70</b>	<b>32,55</b>
Densidad de Ruido Térmico del Ambiente (dBm/Hz)	-173,98	-173,98	-173,98	-173,98
Figura de Ruido BTS (dB)	3,70	3,70	3,70	3,70
Eb/Nt requerido para el enlace inverso (dB)	3,50	3,50	3,50	3,50
Ganancia del Procesamiento reverso (dB)	21,07	21,07	21,07	21,07
Sensibilidad de Receptor Terminal (dBm)	-126,95	-126,95	-126,95	-126,95
Ganancia de Antena BTS (dB)	15,00	15,00	15,00	15,00
Pérdidas de feeder de la BTS (dB)	0,93	0,93	0,93	0,93
Pérdidas de jumper de la BTS (dB)	0,10	0,10	0,10	0,10
Pérdidas de conectores de la BTS (dB)	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Intensidad Mínima de Señal Recibida Requerida (dBm)</b>	<b>-140,42</b>	<b>-140,42</b>	<b>-140,42</b>	<b>-140,42</b>
Ganancia de SHO	3,00	3,00	3,00	3,00
Margen de atenuación por sombra (dB)	5,40	5,40	5,40	5,40
Margen de Interferencia (dB)	3,01	3,01	3,01	3,01
Pérdida de Penetración de Edificio (dB)	15,00	15,00	12,00	12,00
<b>Pérdidas Máximas Permitidas por Propagación (dB)</b>	<b>143,71</b>	<b>152,56</b>	<b>146,71</b>	<b>155,56</b>
Morfología	Suburbano	Suburbano	Rural	Rural
Modelo de Propagación	OH	OH	OH	OH
Frecuencia del Centro Portador del Sistema (Mhz)	450,00	450,00	450,00	450,00
Altura Efectiva de BTS (m)	30,00	30,00	30,00	30,00
Altura Efectiva de FWT (m)	1,50	1,50	1,50	1,50
<b>Radio de BTS para Enlace Reverso (km)</b>	<b>8,92</b>	<b>15,90</b>	<b>34,38</b>	<b>61,31</b>

Tabla 6.2 Presupuesto del enlace para el canal reverso

#### 4. Planificación de Capacidad

Debido a que la red CDMA2000 1X soporta servicios híbridos de voz y datos en paquete, requiere de un modelo de servicio más complicado y una técnica de planificación de capacidad. Se presenta el procedimiento de planificación de capacidad en esta sección.

Se analiza de manera principal la capacidad del enlace reverso, porque del análisis del equilibrio del enlace, se concluye que está limitada por el enlace reverso.

Se utilizan las siguientes suposiciones importantes en la planificación:



- La red se configura en la Configuración de Radio 3 (RC3) para enlace reverso de voz y datos. (RC4 puede configurarse para el enlace directo de servicio de datos cdma 1x)
- Cada abonado en el enlace invertido tiene un PCH, un FCH y cero o más SCHs.
- La tasa de energía FCH de enlace invertido para la energía SCH es el valor nominal definido y recomendado por el estándar IS-2000A.
- El FER meta es al 1% para FCH y 5% para SCH.
- Todos los abonados utilizan codificación convolucional y la longitud de trama de 20ms.

#### 4.1. Cálculo de Throughput

La red cdma2000 1X soporta los servicios de voz y datos. Para calcular los dos, se adopta el "throughput" para describir la carga de los dos servicios de voz y de datos.

$$S = A_v \times v \times \alpha_r$$

Donde:

**$S$  : Throughput (bit/s o kbit/s)**

**$A_v$  : Intensidad de tráfico.**

**Para servicio de voz, es el volumen de tráfico en hora pico, para el caso del estudio se asumen 70 mErlangs**

**Para el servicio de datos, se calcula en base del tiempo promedio de la sesión:  $A_v = \text{Tiempo promedio de la llamada en paquete} = \text{Tiempo de Sesión PPP} * \text{Tasa de Obligación de Sesión PPP}$ .**

**$v$  : Tasa de datos**

**$\alpha_r$  : Factor de actividad. El valor típico es 0.4 para servicio de voz y 1.0 para servicio de datos.**



Se calcula el throughput de los servicios de voz y datos 1X, basándose en la fórmula y el modelo de tráfico.

- **El throughput de todo el servicio de voz en RC3 es:**

$$S = 0.07 * 9.6 * 0.4 = 0.269\text{kbps}$$

- El throughput promedio del servicio de datos se calcula en base a los parámetros de la siguiente tabla:

Ítems	Fórmula	Resultados
Velocidad promedio de datos por usuario (kbps)		64,00
Factor Activo de Servicio de Datos		1.0
Throughput Promedio por Abonado (kbps)	$350 * 64 / 3600$	6,22
Gasto de Capa		0,20
Datos en la BH, incluyendo margen por codificación de capa (kbps)	$6.22 * (1 + 20\%)$	7,47
Proporción del Enlace Reverso		0,20
Aplicaciones de datos durante BH		0,50
<b>Throughput Enlace Reverso Kbps</b>	$7.47 * 20\% * 50\%$	<b>0,75</b>

Tabla 6.3 : Throughput promedio del servicio de datos

## 4.2. Capacidad máxima de la interfaz de aire de cdma2000 1x

### Capacidad por cada portadora CDMA

Como se ha indicado cdma 1x es un sistema auto interferido y tiene la posibilidad de realizar ajustes dinámicos de su capacidad. Las señales provenientes de los terminales llegan a la entrada del receptor BTS y se interfieren entre sí. Entonces, a medida que la carga del sistema crece, el ruido de interferencia del sistema también crecerá, situación que pone un límite a la capacidad de un sistema.

Con las expresiones señaladas en el capítulo 2 se puede determinar la capacidad de una portadora CDMA para una configuración S111.

Para una zona rural se pueden utilizar los siguientes parámetros en el cálculo de la capacidad.



		Rural
Parámetros comunes	Carga promedio del sistema	75%
	Tasa de bloqueo de servicio	2%
	Factor de interferencia	0,55
	Factor del sector del sitio S1/1	1,8
	Factor del sector del sitio S1/1/1	2,55
<b>Capacidad invertida de servicio de voz</b>		
Otros parámetros	Factor de actividad	0,4
	Umbral de demodulación (dB)	4,53
<b>Capacidad inversa de servicio datos</b>		
Otros parámetros	Factor de actividad	1
	Umbral de demodulación (dB)	2,7
<b>Capacidad inversa de servicio híbrido</b>		
<b>Throughput por sitio S1/1/1 (kbps)</b>		<b>403,6</b>

Tabla 6.4 Capacidad típica del enlace reverso por portadora

### 4.3. Determinación de los elementos de canal en la BTS (CE Channel Element)

Un elemento de canal (CE) está compuesto por todos los recursos de hardware y software necesarios para cursar una llamada. En las tarjetas de procesamiento de los canales en la BTS, el manejo de los elementos de canal CE del enlace directo son independientes de los CE del enlace reverso entonces el análisis de la cantidad de CE se debe realizar en forma independiente para los dos enlaces ya que manejan diferentes tipos de canales:

- Cada CE directo es capaz de procesar un FCH de 9.6kbps o un SCH De 9.6kbps;
- Cada CE reverso es capaz de procesar un FCH de 9.6kbps o un SCH de 19.2kbps.
- En cada BTS, los CE son compartidos por los sectores activos es decir no existen CE dedicados a cada sector, esta funcionalidad optimiza los recursos CE.
- Para los canales reversos, 1 CE se usa para que cada sector procese el canal de acceso reverso.



- Para los canales directos, se reservan 3 CE para procesar el canal piloto directo, el canal de búsqueda y el canal de sincronismo.

Debido a que se tiene un procesamiento diferenciado de los canales del enlace directo y del enlace reverso es necesario determinar cual será el recurso limitante para el dimensionamiento de la capacidad de las tarjetas de las BTS. Lo común es que el servicio esté limitado por los recursos de CE en el enlace reverso.

- CE para servicio de voz (Erl) = Cantidad total de abonados por portador \* 0.07 Erl.
- CE para servicio de datos (Erl) = Throughput total de datos por portadora / 9600)
- Para el servicio de voz se considera un 10% de CE para soft handoff
- Para el servicio de datos se considera 0% de CE para soft handoff
- La cantidad de CE totales será la suma de los CE para voz + los CE para datos + CE para canal de acceso reverso, con la consideración de usar la tabla de Erlang B al 2%.
- Para dimensionamiento de la sobrecarga se utiliza un factor del 10% de los CE totales.

A continuación un ejemplo de cálculo para un sitio, procedimiento que será utilizado en el capítulo de resultados:

$$\text{CE (voz)} = 800 * 0.07 = 56 \text{ CE}$$

$$\text{CE (canal de acceso reverso)} = 1 \text{ CE}$$

$$\text{CE (datos)} = 40 * 747 / 9600 = 3.1125 \text{ CE}$$

$$\text{CE Totales (Soft Handoff + Erlang B)} = (((56 * 1.1) + 3.11 + 1) * 1.02) = 67.03 \text{ CE}$$

$$\text{CE Totales (Sobrecarga)} = 67.03 * 1.1 = 73.73 \text{ CE}$$

Para configurar la BTS los CE deben ser representados por números enteros por lo que se ajusta el valor total al entero superior: CE totales = 73.73; lo requerido es 74 CE.



## **5. Simulación: presentación de la herramienta MATradio**

Generalmente cuando la distribución de suscriptores en la celda el radio de cobertura del enlace directo es mayor que el radio de cobertura del enlace reverso. La influencia de la tasa de datos de servicio en el enlace directo es mayor que con el enlace reverso. En la etapa de planificación la cobertura debe ser analizada en combinación con la potencia del enlace directo. Otro factor importante a considerar en la cobertura del enlace directo es que es dependiente de la distribución de BTS's, y de los usuarios. De ahí la importancia de disponer de una herramienta de simulación que permita considerar diversas situaciones al planificador, antes de tomar una decisión.

Uno de los planteamientos realizados para el presente estudio fue el de desarrollar una herramienta de planificación. Se había planteado implementar una herramienta en Matlab o ArcGis; la inclinación desde un inicio fue el desarrollo en Matlab para propósitos académicos dada la cantidad de scripts disponibles para describir diferentes fenómenos radioeléctricos. Una condición adicional a considerar fue la librería de Matlab para el procesamiento de mapas "Mapping Toolbox"[1].

En el desarrollo, muy pronto aparecieron las dificultades de Matlab para manejar diferentes formatos de raster. Inicialmente se había propuesto el manejo de cartografía procesada a partir de la información del IGM, pero su ámbito es limitado para propósitos de análisis de propagación radioeléctrica, la siguiente figura muestra la cartografía obtenida por este método para la provincia del Azuay.

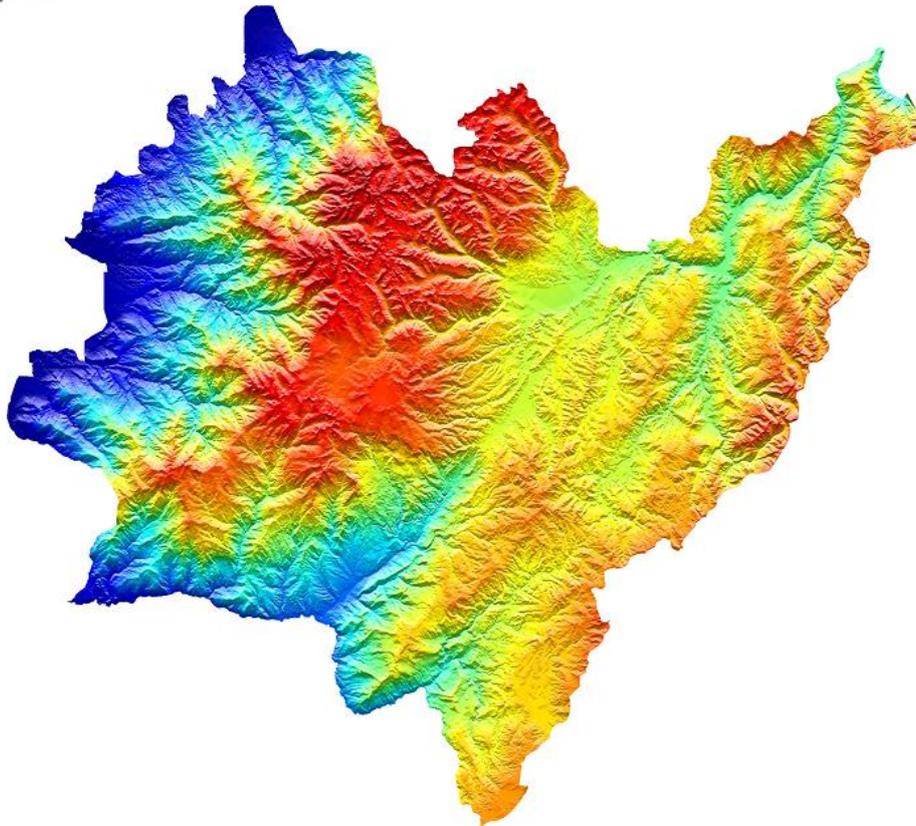


Figura 6.4: MDE de la provincia del Azuay obtenida a partir datos topográficos del IGM desplegado con Mirone

La necesidad de contar con una cartografía más amplia llevó la necesidad de utilizar la cartografía de la SRTM. Matlab requiere, para utilizar esta cartografía que se encuentre en formato DTED, el cual estuvo disponible en 2009. Para entonces la viabilidad de desarrollar una herramienta en Matlab resultaba poco alentadora, dado que la habilidad de Mapping Toolbox para manejar la cartografía resultaba poco eficiente y flexible para los efectos requeridos.

En forma casi accidental, llamado la atención hacia una simulación del tsunami de Indonesia, se encontró el programa MIRONE<sup>50</sup>. Este programa había sido desarrollado en Matlab e incluía una interface con la librería GDAL<sup>51</sup> que lo hace muy práctico para el manejo de cartografía.

<sup>50</sup> J. F. Luis. [Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data](#). Computers & Geosciences, 33, 31-41, 2007.

<sup>51</sup> Geospatial Data Abstraction Library (GDAL). [www.gdal.org](http://www.gdal.org)



### **5.1. La librería GDAL**

“Geospatial Data Abstraction Library” o **GDAL** es una biblioteca de software para la lectura y escritura de formatos de datos geoespaciales, publicada bajo la licencia X/MIT<sup>52</sup> para código abierto, por la fundación geoespacial de código abierto (Open Source Geospatial Foundation).

GDAL es una reconocida biblioteca de acceso a datos raster, soporta una gran cantidad de formatos y es multiplataforma. Su principal creador, Frank Warmerdam es probablemente uno de los más importantes desarrolladores a nivel mundial. GDAL es la biblioteca sobre la que se apoyan muchísimos otros proyectos tanto libres como propietarios, entre ellos GoogleEarth, etc. Disponible en [www.gdal.org](http://www.gdal.org).

### **5.2. El Programa MIRONE [2]**

Mirone es una herramienta de trabajo basada en Matlab, inicialmente desarrollada para Windows por el Dr. Joaqui F. Luis en la Universidad de Algarve en Portugal, es un programa de código abierto. Permite el despliegue y manipulación de una gran cantidad de formatos a través de su interface con GDAL. Su objetivo principal es facilitar a los usuarios una interface gráfica de fácil uso. El programa fue presentado en la revista “*Computers & Geosciences*” en 2007 [2].

Adicionalmente Mirone presenta una serie de herramientas enfocadas en tópicos geológicos como la modelación de tsunamis, modelación sísmica, movimiento de capas tectónicas, etc. El programa deja la libertad de que un requerimiento específico pueda ser realizado por simple programación en Matlab. Disponible en [w3.ualg.pt/~jluis/mirone/](http://w3.ualg.pt/~jluis/mirone/).

---

<sup>52</sup> Licencia del *Massachusetts Institute of Technology* no tiene derecho de propiedad



Mirone deja abierto el campo para el uso de Matlab ya que esta se constituye en una herramienta ponderosa para el desarrollo de software. La gran colección de funciones matemáticas existentes en Matlab facilitan la tarea, incluyendo interfaces gráficas de usuario.

Mirone fue diseñado para solucionar muchas de las necesidades específicas de aquellos que regularmente trabajan con formatos raster, pero está enfocado específicamente en el campo de la geofísica, que es extraña a la aplicación requerida para el presente trabajo, siendo en este punto en donde se propone MATradio.

El gráfico de la figura 6.5 es un ejemplo de la cartografía procesada en Mirone a partir de la proporcionada por la SRTM, resultan evidentes las áreas comunes presentadas en la figura 6.4 en la que solamente se presentaba la provincia del Azuay.

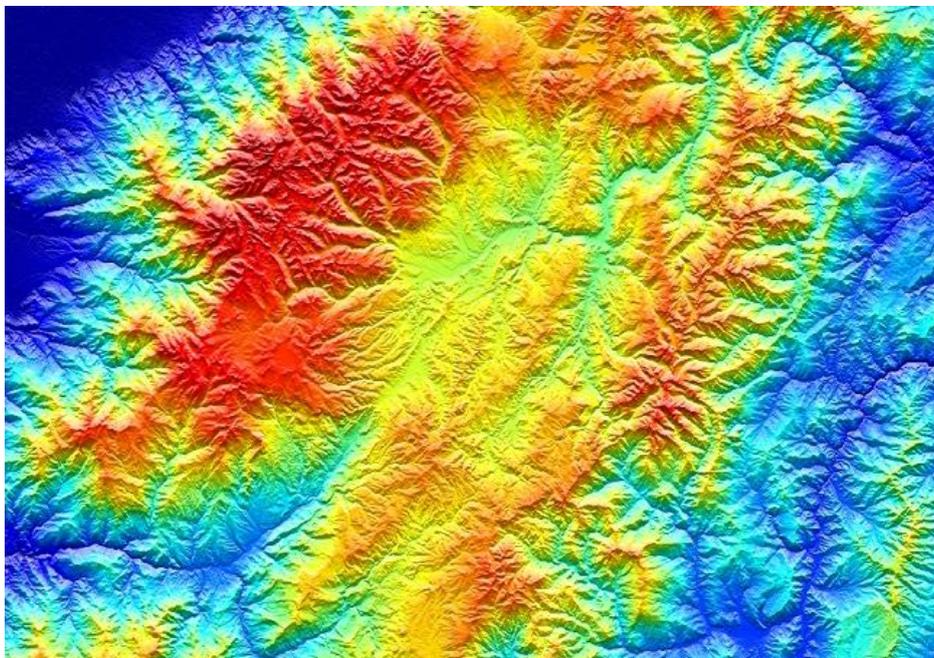


Figura 6.5: Cuencas de los ríos Paute y Jubones obtenida a partir datos de la SRTM V2 desplegado con Mirone



### **5.3. MATradio**

Mirone está orientado a la simulación de fenómenos de la Geofísica, pero realmente es una herramienta multipropósito para exploración de datos en formato raster. Para un ingeniero de telecomunicaciones resulta muy atractiva esta capacidad como para no buscar incluir un análisis de propagación radioeléctrica. MATradio hace esta propuesta incluyendo solamente los elementos necesarios para el cumplimiento del objetivo de la presente tesis; sin embargo el potencial de incluir cualquier requerimiento de investigación en el área radioeléctrica se encuentra abierta con la utilización de herramientas de Matlab, y el uso de programación relativamente sencilla.

Se ha escogido el nombre MATradio, porque se ha utilizado Mirone, con propósitos académicos, en el ámbito de los estudios desarrollados en la Maestría de Telemática (MAT) en la Universidad de Cuenca en el campo de la propagación de ondas radioeléctricas.

MATradio hace modificaciones simples a Mirone, explicadas con detalle en el anexo 2, para adaptarlo al requerimiento específico del estudio. Con MATradio se incluyen una serie de funciones que ayudan el análisis de propagación radioeléctrica. Solo para efectos de presentación se bloquean provisionalmente las funciones de análisis geofísico propios de Mirone.

### **5.4. Uso de funciones de Matlab para el análisis radioeléctrico**

Las librerías de Matlab [1] incluyen varias funciones poderosas para el análisis radioeléctrico. Adicionalmente existe una gran cantidad de funciones ya programadas que ayudan el desarrollo de la herramienta basada en Mirone. Dos



fuentes sumamente útiles constituyen los textos [3] y [4], y sus programas incorporados escritos en Matlab.

Como punto de partida el MDE debe ser leído por Matlab. De conformidad con lo expuesto en el capítulo 5 el MDE puede estar en diferentes formatos; Mirone ofrece la factibilidad de leer diferentes formatos.

Podemos leer con Matlab directamente un MDE expresado en un archivo de formato ASC. Por ejemplo podemos utilizar las siguientes sentencias:

```
[Z,R] = arcgridread('azuaycell1250.asc');  
%disp([Z])  
disp([R])  
geoshow(Z,R,'DisplayType','surface');  
xlabel('x (easting in meters)'); ylabel('y (northing in meters)')  
colormap(demcmap(Z))  
axis normal; view(2); axis equal; grid on  
zlabel('elevation in meters')
```

En este caso Z y R son matrices. Z contiene los datos de elevaciones tomados del MDE y R es una matriz de referencia de dimensión 3x2, y sirve además como matriz de transformación entre las filas y columnas de la matriz Z con las coordenadas geográficas:

$$[\text{lon lat}] = [\text{row col 1}] * R$$

En la práctica se usan las referencias tanto en forma matricial 3x2 o en forma vectorial 1x3. Para la conversión se usan los comandos de Matlab:  $\text{refvec} = \text{refmat2vec}(R,s)$ , donde R es la matriz de referencia, y s el tamaño de la matriz de datos; o a la inversa  $R = \text{refvec2mat}(\text{refvec},s)$ .

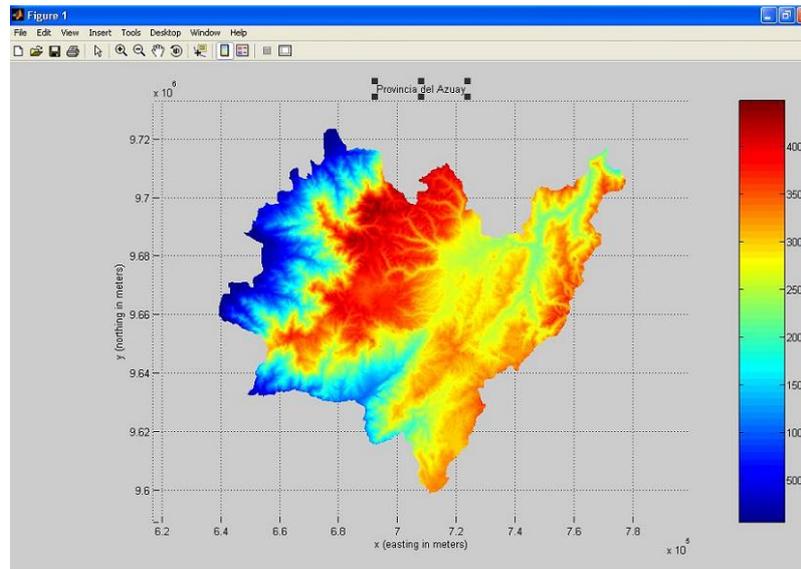


Figura 6.6: MDE de la provincia del Azuay obtenida a partir datos del IGM desplegado con Matlab

Las herramientas incluidas en las propias librerías de Matlab que han sido utilizadas están las siguientes:

## LOS2

Conjuntamente con “**mapprofile**” son tal vez las herramientas más poderosas con que cuenta Matlab para apoyo del análisis radioeléctrico en un modelo digital de elevaciones. La función `los2` calcula la visibilidad mutua entre dos puntos en un modelo digital de elevaciones desplegado. El perfil se calcula sobre la matriz `Z`; el resultado es desplegado en una nueva figura, en la cual se indican claramente los puntos del perfil que tienen visibilidad al punto de referencia, así como los puntos que no lo tienen. Matlab muestra el perfil en un sistema de coordenadas Cartesianas con el origen en la ubicación del observador.

Sintaxis:

```
vis=los2(map,refvec,lat1,lon1,lat2,lon2)
```



Calcula la visibilidad mutua entre dos puntos. Los dos puntos son identificados como vectores de latitudes y longitudes en unidades de grados. El resultado es un valor lógico para la variable vis de 1 cuando los puntos son visibles, y 0 cuando no hay visibilidad. Map es la matriz de alturas, en nuestro caso la matriz Z, refvec es el vector de referencia de la matriz Z. Si se escribiera la función de la forma:

$$\text{vis} = \text{los2}(\text{map}, \text{refvec}, \text{lat1}, \text{lon1}, \text{lat2}, \text{lon2}, \text{alt1}, \text{alt2})$$

El parámetro alt1 y alt2 son alturas que se ponen sobre los dos puntos en análisis, están especificado en metros sobre el nivel del suelo, esta situación es equivalente a colocar el punto en una torre.

$$\text{vis} = \text{los2}(\text{map}, \text{refvec}, \text{lat1}, \text{lon1}, \text{lat2}, \text{lon2}, \text{alt1}, \text{alt2}, \text{alt1opt})$$

El comando puede completarse con una opción opt: AGL si la altitud de los puntos se toma como encima del nivel del suelo. MSL cuando se trata sobre el nivel del mar. Si no se lo pone se asume que es AGL.

$$\text{vis} = \text{los2}(\text{map}, \text{refvec}, \text{lat1}, \text{lon1}, \text{lat2}, \text{lon2}, \dots, \text{alt1}, \text{alt2}, \text{alt1opt}, \text{alt2opt}, \text{actualradius})$$

Realiza el cálculo de visibilidad en una esfera de radio específico. Si se omite, se asume el radio de la tierra.

$$\text{vis} = \text{los2}(\text{map}, \text{refvec}, \text{lat1}, \text{lon1}, \text{lat2}, \text{lon2}, \dots, \text{alt1}, \text{alt2}, \text{alt1opt}, \text{alt2opt}, \text{actualradius}, \text{effectiveradius})$$

asume un radio mayor para propagación de línea de vista. Esta situación considera la curvatura del camino se señal provocado por la refracción en la atmósfera. Por ejemplo, radio propagación en la atmósfera es comúnmente tratada como propagación en línea recta en una esfera de 4/3 el radio de la tierra,



en este caso los dos últimos argumentos serán  $R_e$  y  $4/3 R_e$ , siendo  $R_e$  el radio de la tierra.

Una forma más completa de obtener información con el uso del comando es:

`[vis,visprofile,dist,z,lattrk,lontrk] = los2(...)`

El cual proporciona los siguientes vectores de respuesta:

- vis: 1 o 0 dependiendo de si existe visibilidad entre los dos puntos.
- visprofile: es un vector que contiene 1's en donde los puntos intermedios tienen visibilidad, y 0's si no lo tienen.
- dist: es la distancia a lo largo de la línea de visibilidad
- z: contiene las alturas del perfil
- lattrk,lontrk: son las latitudes y longitudes a lo largo de la línea de visibilidad

`los2(...)` sin argumentos de salida, despliega el perfil de visibilidad entre dos puntos en una nueva figura.

### **Mapprofile:**

Mapprofile calcula o dibuja un perfil de valores entre dos puntos definidos en un archivo raster. La sintaxis `[z,rng,lat,lon]=mapprofile` devuelve los valores del perfil sin graficarlos; z contiene los valores del perfil, rng es el vector asociado de distancias desde el punto de partida, lat o lon corresponden a las latitudes o longitudes. `[z,rng,lat,lon] = mapprofile(Z,refvec,lat,lon)` , toma como entrada la matriz Z, los tres elementos del vector refvec, y el vector sobre el que se desea obtener el perfil. `[z,rng,lat,lon] = mapprofile(Z,refvec,lat,lon,rngunits)` especifica las unidades en el rango.



**Viewshed:**

$$[\text{visZ}, \text{visrefvec}] = \text{viewshed}(\text{Z}, \text{refvec}, \text{lat1}, \text{lon1})$$

Calcula las áreas visibles desde un punto sobre un MDE, Z es una grilla de datos de elevaciones expresadas en metros; refvec es un vector de referencia de tres elementos que referencia los datos de la grilla. La ubicación del observador se ingresa como una magnitud escalar de latitud y longitud en unidades de grados. La matriz resultante visZ contiene 1's en las ubicaciones visibles desde la ubicación del observador, y 0's donde la línea de vista está obstaculizada por el terreno.

$$\text{viewshed}(\text{Z}, \text{refvec}, \text{lat1}, \text{lon1}, \text{oalt})$$

coloca al observador a determinada altura en metros sobre la superficie. Esto es equivalente a ubicar al observador en una torre. Si se omite, se entiende que el observador está en la superficie.

$$\text{viewshed}(\text{Z}, \text{refvec}, \text{lat1}, \text{lon1}, \text{oalt}, \text{talt})$$

analiza la visibilidad de localizaciones a una determinada altura sobre el piso. Esto es equivalente a ubicar los puntos bajo análisis a una determinada altura sobre la superficie. También es válida la opción AGL o MSL como con la función LOS2. Para análisis de radio propagación también es posible incluir la corrección de 4/3 el radio de la tierra.

## **5.5. Simulación**

Las facilidades para el manejo de cartografía que ofrece Mirone, y el uso de las funciones antes señaladas constituye la base del análisis radioeléctrico realizado



por MATradio. En todo modelo de propagación radioeléctrica es fundamental el conocimiento del perfil del terreno, MATradio cuenta con dos alternativas: el perfil dinámico del terreno que es una adaptación (detalladamente explicada en el anexo 2) de la función “perfil dinámico” que trae Mirone; y el perfil estático propio de Matlab con la utilización de la función LOS2.

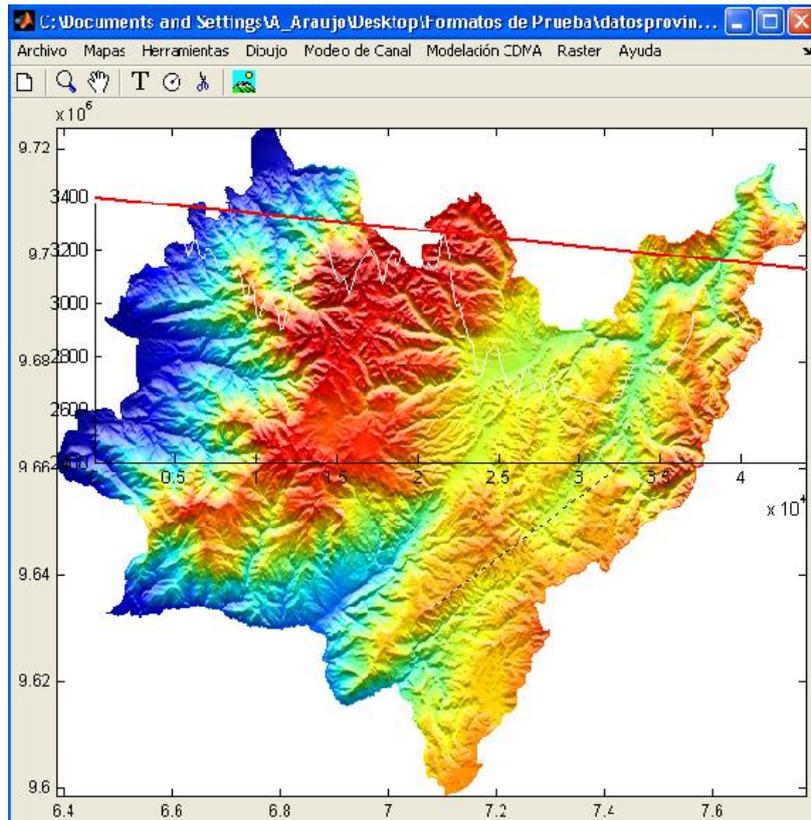


Figura 6.7: Perfil dinámico obtenido entre las estaciones repetidoras de Jarata y Guallil

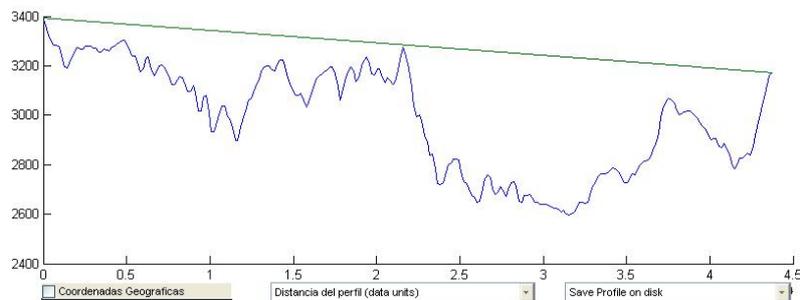




Figura 6.8: Perfil estático Jarata-Guallil

Obtenido el perfil del terreno lo que sigue es la aplicación del modelo de propagación adecuado a las condiciones del mismo. Es necesario considerar el enfoque que debe tener la aplicación del modelo, ya que es diferente la situación si se analiza una condición punto a punto, es decir la de un enlace de radio; o si el análisis es entre un punto y un área. La cantidad de cálculos que deben ser realizados obliga a tomar una estrategia.

Por otro lado el modelo a utilizar debe ser uno de cálculo simplificado, básicamente limitarse a un cálculo aritmético sencillo. Okumura-Hata (OH) es el modelo más utilizado por su sencillez. El modelo Longley-Rice fue útil en la predicción de pérdidas de propagación de gran alcance [5], pero su aplicación era limitada en la planificación de sistemas móviles. Longley publicó un modelo modificado que reconoce las diferencias entre el modelo estacionario y el análisis de un sistema móvil, pero su aplicación no es tan simple como el de OH. El modelo de Longley-Rice se distribuye en forma de un programa informático escrito en FORTRAN<sup>53</sup>.

El modelo OH está basado en datos empíricos que pueden ser aplicados para VHF y UHF (existen estudios que lo extienden a bandas superiores). Las predicciones de pérdida de trayecto para áreas rurales abiertas, suburbanas, y áreas urbanas deben ser distinguidas en el modelo utilizando. OH incluye sus propias correcciones para cada caso; MATradio incluye además el modelo de 2 rayos, de acuerdo al procedimiento de Lee [5], que es sumamente sencillo.

Para la aplicación de OH y el modelo de dos rayos se determina como condición previa la existencia de línea de vista mediante la función LOS2 de Matalab. De no existir línea de vista se utilizan los modelos de propagación por refracción.

---

<sup>53</sup> FORTRAN: software de programación muy utilizado en ingeniería



MATradio utiliza el modelo de Durkin que en realidad es un procedimiento a seguir en esta situación.

En el capítulo siguiente se hace una exposición detallada de los métodos utilizados, y los resultados obtenidos.

## **Referencias**

- [1] Mapping Toolbox 2, User's Guide, The MathWorks, Matlab, US. MA. <http://www.mathworks.com>
- [2] J. F. Luis. [Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data](#). Computers & Geosciences, 33, 31-41, 2007
- [3] W. Tranter, K. Shanmugan, T. Rappaport, K. Kosbar; **Communication Systems Simulation with Wireless Application**; Prentice Hall, NJ, USA, 2004.
- [4] F. Pérez Fontán, P. Mariño Espiñeira; **Modelling the Wireless Propagation Channel**, A simulation approach with Matlab; Universidad de Vigo, 2008 John Wiley & Sons Ltd. España.
- [5] William C.Y. Lee, **Mobile Communications Engineering**, McGraw-Hill, USA 1997.
- [6] Huawei Technologies, **Cdma2000 1x Radio Network Design and Planning**, Huawei Training Program, China 2009.
- [7] Roger L. Freeman, **Telecommunication Transmission Handbook**, John Wiley & Sons, USA 1991.



## Capítulo 7

### Resultados

#### 1. Introducción

Con base en la información teórica presentada en los primeros capítulos, considerando la información técnica de los equipos instalados por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones obtenida a partir de las publicaciones que la empresa Huawei [1] pone a disposición del público, y una vez que se cuenta con la información en formato raster, tanto topográfica como demográfica, es posible obtener resultados como los que se habían planteado como objetivo para el desarrollo de la presente tesis. La variedad de resultados que podrían obtenerse dependen de la necesidad específica de una investigación en particular, por lo que los resultados presentados constituyen una muestra de la información que podría derivarse con la aplicación de condiciones específicas de investigación.

Como se ha expuesto a lo largo de los diferentes capítulos los insumos y herramientas esenciales que conducen a la obtención de resultados; cada insumo obtenido y desarrollado a partir de diferentes fuentes son los siguientes:

- **Información demográfica:** modelo raster de densidad poblacional de la provincia del Azuay. Este modelo se encuentra en formato ASCII (.ASC), y por las razones expuestas en la denuncia de tesis no incluye el cantón Cuenca. La generación del modelo fue realizado con herramientas del programa ArcGis. Dada la forma indirecta en que los modelos fueron obtenidos (ligando los reportes del FODETEL por un lado, y la ubicación geográfica realizada en la cartografía del IGM de aquellas poblaciones identificables), es necesario considerar que el presente modelo es aun una aproximación; lo ideal hubiera sido contar con un censo pasterizado de la población, pero estos modelos no están disponibles en el país, y su obtención rebasa las condiciones razonables en la delimitación del alcance del presente trabajo. Sin embargo la propuesta



metodológica planteada, bajo las limitaciones expuestas, podría ser una aproximación válida sujeta a posibles mejoras en el futuro.

- **Información topográfica:** se formó un mosaico de celdas SRTM V2 (S3W79, S4W79, S3W80, S4W80) luego se seleccionó el área de interés que incluye el área de la provincia del Azuay. El MDE resultante se ha expresado en formato GEOTIFF y ASC, obtenido con rutinas desarrolladas en matlab. Las celdas originales están en formato hgt o ASC. Cabe señalar que se obtuvieron resultados consistentes con SRTM V4, pero su utilización en este trabajo en particular estuvo limitada por la capacidad del hardware utilizado.
- La ubicación geográfica de cada BTS. Los resultados simulan 3 etapas de despliegue de la tecnología en la provincia del Azuay.
- La herramienta MATradio con el que se genera un nuevo modelo raster con la cobertura radioeléctrica. Las tres matrices derivadas de los modelos raster: **densidad poblacional, MDE, y el raster de cobertura** son utilizadas por Matlab para calcular la penetración potencial que podría alcanzarse con la implementación de la tecnología. Y de hecho, la disponibilidad de estas tres matrices constituyen el objetivo básico de la tesis; su sola obtención, junto con la metodología y herramientas desarrolladas acondicionadas, constituyen el resultado del presente trabajo.

MATradio utiliza el MDE para generar el raster de cobertura radioeléctrica. La intersección de la matriz resultante, con la de población brinda el resultado deseado, siendo este resultado el objetivo final de la tesis.



## **2. Modelo raster de densidad poblacional**

El modelo Urbano/Rural utilizado por el SIISE<sup>54</sup>, define como "áreas urbanas" a los asentamientos o "núcleos urbanos" que son capitales provinciales y cabeceras cantonales o municipios según la división político administrativa (DPA) vigente en el país, sin tomar en cuenta su tamaño. Las "áreas rurales" incluyen las cabeceras parroquiales, otros centros poblados, las periferias de los núcleos urbanos y la población dispersa. Se trata de la definición oficial; por ello, todos los resultados de los Censos de población publicados por el INEC<sup>55</sup> asumen esta definición. Si bien no refleja adecuadamente el proceso de urbanización, esta definición es necesaria para propósitos de políticas públicas y para asegurar la comparación de los resultados del SIISE con las publicaciones oficiales.

El modelo Ciudad/Campo considera como "ciudad" o "urbano" a un asentamiento de 5.000 o más habitantes, independientemente de su jerarquía administrativa, y "rurales" o "campo" a la población dispersa y a los centros poblados con menos de 5.000 habitantes. En esta definición, como en la anterior, las periferias de las ciudades son consideradas rurales. Esta definición permite corregir, en parte, dos anomalías presentes en la oficial: por un lado, el caso de cabeceras cantonales que son muy pequeñas y, por otro, el caso de asentamientos urbanos grandes que bajo la definición administrativa no serían considerados como tales.

Considerando la forma en la que el servicio de telefonía fue introducido, tomando en cuenta las DPA más importantes, se ha dado preferencia a las cabeceras cantonales la definición Urbano/Rural se adapta mejor al presente análisis.

Partiendo de la información disponible en el SIISE, y los datos de infraestructura de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones se ha formado la tabla 7.2, en ella se reflejan los datos poblacionales a nivel de parroquia, así como la penetración telefónica actual, y la que potencialmente podría ser alcanzada. La composición de población rural/urbano en la provincia del Azuay, sin considerar al cantón Cuenca, se divide en 80.64% de población rural, y 19.36% de población urbana.

---

<sup>54</sup> SIISE: Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador

<sup>55</sup> INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos



Aproximadamente 146.694 habitantes de esta zona podrían ser considerados que habitan en zonas rurales.

Cantón	Poblacion Rural	Población Urbana	% de población rural
Chordeleg	8.485	2.374	78,14%
El Pan	2.652	423	86,24%
Girón	9.065	3.518	72,04%
Guachapala	2.308	817	73,86%
Gualaceo	27.905	10.682	72,32%
Nabón	14.074	1.047	93,08%
Oña	2.548	683	78,86%
Paute	18.092	5.014	78,30%
Pucará	19.445	937	95,40%
San Fernando	2.566	1.395	64,78%
Santa Isabel	13.786	4.229	76,53%
Sevilla de Oro	4.460	774	85,21%
Sigsig	21.308	3.327	86,49%
<b>Subtotal</b>	<b>146.694</b>	<b>35.220</b>	<b>80,64%</b>
<b>Total</b>		<b>181.914</b>	

Tabla 7.1: Composición de población urbano/rural en la provincia del Azuay

El hecho de que parte de la población rural ya se encontraba con servicio telefónico antes de la implantación de los proyectos inalámbricos se ve reflejado en la tabla 7.2, ya que la población a atender para cumplir las metas del Plan Nacional de Conectividad es de 98.375 habitantes.





Los datos expuestos en las tablas 7.1 y 7.2 no son utilizados en el presente trabajo para la generación del modelo raster de población. Como fue mencionado en capítulos previos las fuentes de información para la generación del modelo los constituyen los datos del FODETEL, y su georeferenciación realizada sobre las cartas del IGM de las poblaciones o sectores identificables; la razón de hacerlo es que esta información se encuentra más distribuida (lo ideal sería contar con la georeferenciación de las unidades censales). En este sentido los datos de las tablas 7.1 y 7.2 deben ser tomados únicamente para validación de los datos utilizados.

En el Anexo 3 se detallan las poblaciones de la provincia del Azuay con su correspondiente dato de población, y la coordenada ligada a la misma. Se han identificado 500 poblaciones o sectores, con una población de 111.647 habitantes, señalando que no se considera ningún sector del cantón Cuenca en la provincia del Azuay. Esta cifra representa el 76.1% de la población clasificada como rural por el SIISE, pero es mayor que el número de habitantes que debería ser servidos (98.375) para alcanzar los objetivos del Plan Nacional de Conectividad.

Dado que las clasificaciones obedecen a diferentes definiciones no son directamente comparables, pero si dan una idea de que la clasificación lograda para generar el modelo puede ser una buena representación de la realidad.



### Modelo raster de población obtenido

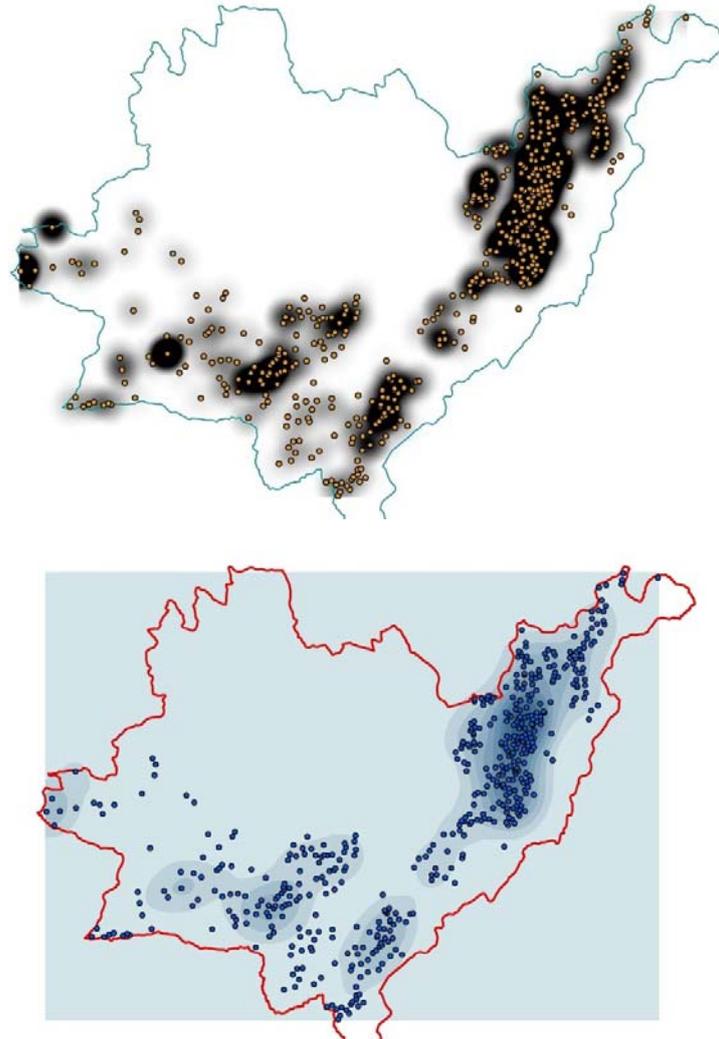


Figura 7.1: Poblaciones graficadas a partir de un formato shape y generación del raster de densidad poblacional

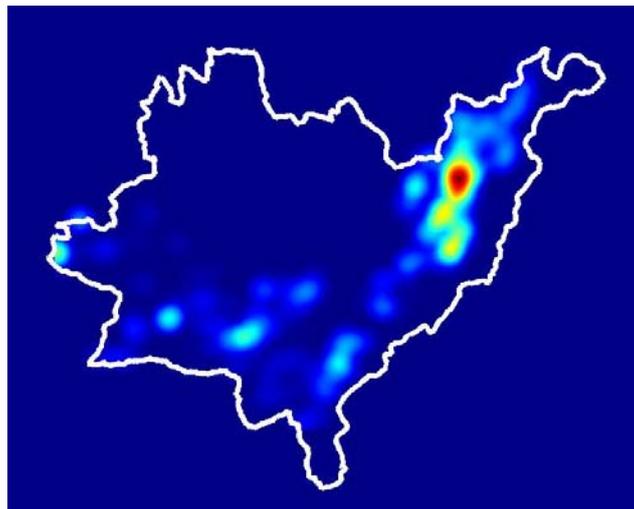
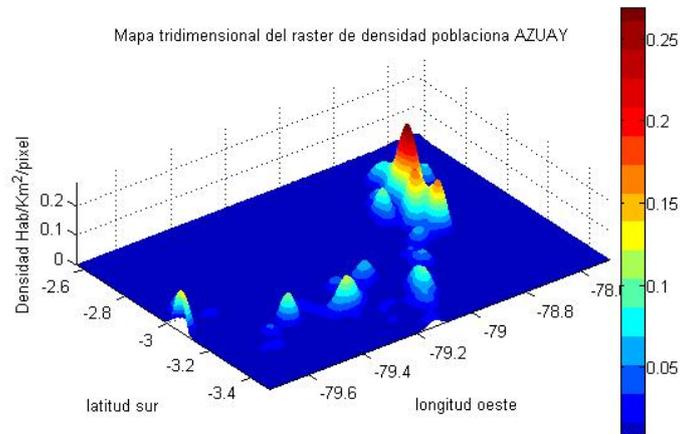


Figura 7.2: Representación del raster de densidad poblacional

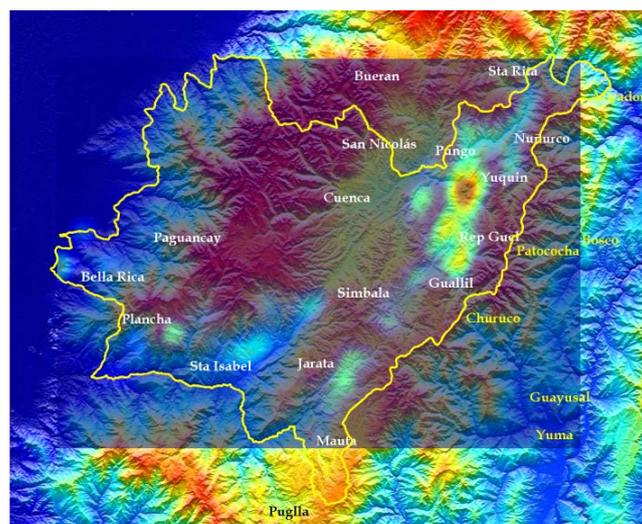
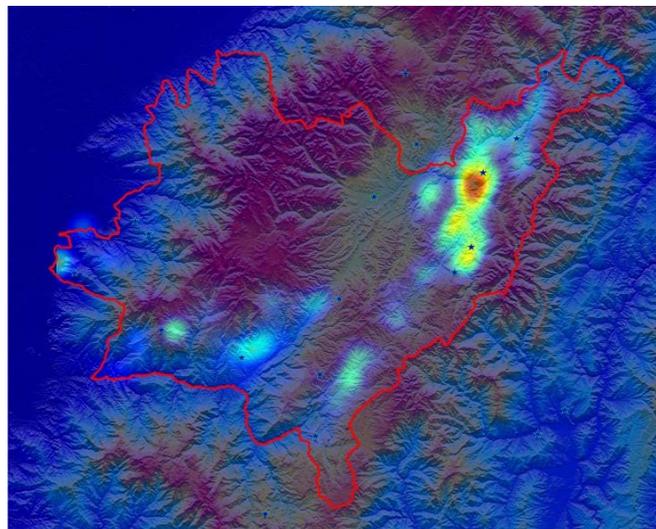
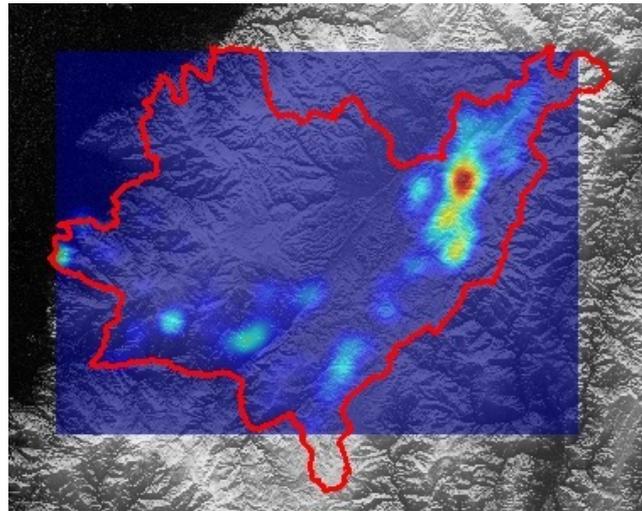


Figura 7.3: Representación del raster de densidad poblacional sobre el MDE



### **3. Modelo Digital de Elevaciones MDE**

MATradio está preparado y tiene la propiedad de trabajar con múltiples formatos de MDE al tener a Mirone [2] como su estructura básica. Sin embargo con el propósito de generar los formatos raster de resultado del presente trabajo se ha visto conveniente trabajar con un archivo MDE expresado en formato ASC o texto. Este archivo o raster cumple dos características fundamentales:

- Su extensión es apenas lo suficientemente amplia como para contener los límites geográficos de la provincia del Azuay.
- El MDE base que cumple la condición anterior es tomado de los datos de la SRTM V2, y revisada con los datos de la SRTM V4. Como se mencionó previamente, los datos se encuentra expresados en formato ASC o texto.
- Al estar expresado en formato de texto, su edición es sencilla con la utilización de un editor simple. La cabecera de este raster es utilizado para conformar los formatos raster de los resultados de población, y cobertura radioeléctrica. En este punto es necesario comentar que matlab puede escribir una matriz en un formato de texto, y no existen funciones para escribir un raster en formato de texto.

Como se ha mencionado, durante el proceso se formó un mosaico de celdas SRTM V2 (S3W79, S4W79, S3W80, S4W80) luego se seleccionó el área de interés que incluye el área de la provincia del Azuay. El MDE resultante se ha expresado en formato GEOTIFF y ASC. Las celdas originales están en formato hgt o ASC. Cabe señalar que se obtuvieron resultados consistentes con SRTM V4, pero su utilización en este trabajo en particular estuvo limitada por la capacidad del hardware utilizado.

La ubicación geográfica de cada BTS. Los resultados simulan 3 etapas de despliegue de la tecnología en la provincia del Azuay.

Los archivos raster resultantes se han denominado:



- **mdeazuay.asc**
- **mdeazuay.tiff**

Sus características expresadas en su cabecera son las siguientes:

```
ncols      1846
nrows      1480
xllcorner  -79.8612
yllcorner  -3.6837
cellsize   0.000833333333333333
NODATA_value -9999
```

Las esquinas del raster proyectado son las siguientes:

```
Xmin= -79.8612      Xmax= -78.3229
Ymin= -3.6837      Ymax= -2.4504
```

#### **4. Modelo raster de cobertura CDMA450 en la provincia del Azuay**

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones ha desplegado una red de telefonía inalámbrica basado en tecnología cdma2000 1x en la frecuencia de 450MHz, cdma450. Este despliegue lo ha realizado en 2 etapas que se encuentran operativas al momento; y se encuentra proyectando una tercera etapa para mejorar la cobertura a ciertas áreas rurales, que por la topografía del terreno aun no tienen cobertura de esta tecnología, ni ningún otro tipo de servicio móvil o fijo.

La fase 1 de despliegue de CDMA450 en la provincia del Azuay se lo realizó utilizando la infraestructura civil y de transporte de la que disponía la empresa; se inició ubicando las BS en los sitios de Guallil, Ñuñurco, Señor Pungo (Cañar), Jarata, Santa Isabel, Loma Plancha. En la fase 2 se incorporan los sitios de Santa Rita, Yuquín, Guel, Simbala, Bella Rica. En la fase 3 se proponen los sitios de Pahuancay, Cascarilla, Mauta, y Ladera (Domejeo), este último sitio se encuentra en la Provincia de El Oro.



Durante la simulación de cobertura es necesario considerar además dos BSs ubicadas en la provincia del Cañar dada la incidencia que pueden tener en la provincia del Azuay. Estas son Buerán y San Nicolás.

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	SECTORES	MODELO ANTENA	POLARIZACIÓN	GANANCIA (dB)	AZUMH DE RADIACIÓN MÁXIMA	ANCHO DE BANDA CANAL TÍPICO DE	MÁXIMA POTENCIA DE SALIDA Equipo	RANGO DE OPERACIÓN
<b>FASE 1</b>										
GALLIL	-3,07500	-78,81700	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15	40°-270°-335°	1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
ÑUÑURCO	-2,76149	-78,67210	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15	30°-165°-265°	1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
JARATA	-3,31439	-79,13139	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15	40°-120°-185°	1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
SANTA ISABEL	-3,27486	-79,31406	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15	10°-90°-105°	1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
LOMA PLANCHA	-3,21000	-79,50200	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15	105°-270°-335°	1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
SEÑOR PUNGO	-2,80500	-78,82200	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15	00°-105°-270°	1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
<b>FASE 2</b>										
SANTA RITA	-2,60570	-78,60540	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15	300°-120°-210°	1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
YUQUIN	-2,84146	-78,75009	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15		1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
GUEL	-3,01564	-78,77812	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15		1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
SIMBALA	-3,13724	-79,08636	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15		1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
BELLA RICA	-3,07654	-79,70486	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15		1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
<b>FASE 3</b>										
MAUTA	-3,45800	-79,14200	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15		1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
CASCARILLA	-2,96100	-78,91900	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15		1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
LADERA	-3,33469	-79,51239	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15		1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)
PAHUANCAY	-2,98500	-79,53100	3	DX-450-470-65-15i-0F	DUAL ±45°	15		1,2288	20,00	(454 MHz - 457,475 MHz) (464,400 - 467,475 MHz)

Tabla 7.3: Datos técnicos de BS de acuerdo al plan de despliegue en Azuay



Los siguientes gráficos obtenidos de la simulación con MATradio, y un posterior proceso de ensamblaje de las matrices parciales para obtener un formato raster total denominado:

- **cobeturacdma450.asc**
- **cobeturacdma450.tiff**

muestran la evolución de la cobertura de CDMA450 en la provincia del Azuay a medida que se despliegan las diferentes fases planificadas. La figura 7.5 muestra la cobertura que se dispondrá una vez concluida la fase 3.



Figura 7.4: Representación del raster de cobertura fase1 y fase 2

Desde el punto de vista de extensión geográfica cubierta, el modelo de Okumura Hata predice una cobertura territorial superior al **54.44%** de la superficie de la provincia del Azuay excluida el cantón Cuenca, y una cobertura poblacional de **66.67%** en el sector rural de la provincia del Azuay.

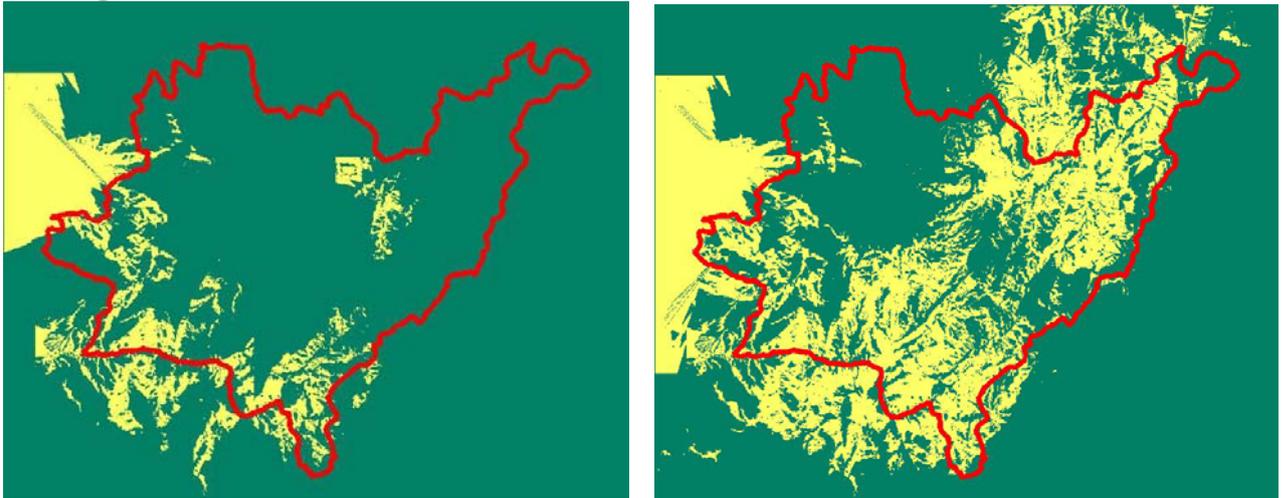


Figura 7.5: Representación del raster de cobertura fase3 y cobertura con 3 fases

A continuación se presenta un resumen de los cálculos de cobertura realizado a partir del procesamiento de los formatos raster y matrices obtenidas. Los cálculos se realizaron en Matlab utilizando algebra matricial simple. El filtrado de las zonas geográficas en la estimación del área geográfica cubierta, debido a que la cobertura real rebasa los límites políticos se realizaron en ArcGis debido a las herramientas que dispone para el efecto. Los resultados se resumen en la tabla 7.5.

	Cantón	Area	Porcentaje del raster
1	Sevilla de Oro	318	1,36%
2	Paute	267	1,14%
3	Cuenca	3099	13,29%
4	Guachapala	46	0,20%
5	El Pan	134	0,57%
6	Gualaceo	364	1,56%
7	Chordeleg	91	0,39%
8	Santa Isabel	772	3,31%
9	Sigsig	657	2,82%
10	San Fernando	138	0,59%
11	Girón	358	1,54%
12	Nabón	626	2,68%
13	Oña	291	1,25%
14	Camilo Ponce	106	0,45%
15	Pucará	741	3,18%
	Total provincia Azuay	8.008	34,34%
	Area excluido el cantón Cuenca	4.909	<b>21,05%</b>
	Area raster base	23.321	100,00%
	Pixels total raster base (1846 x 1480)	2.732.080	

Tabla 7.4: Composición de áreas geográficas para la simulación

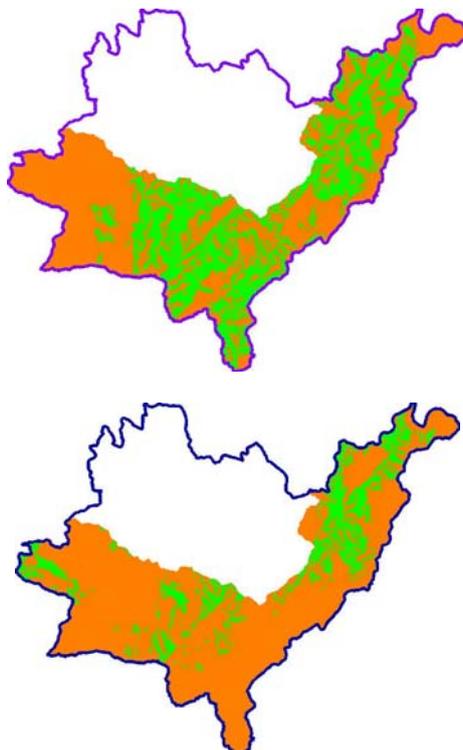


Fase de implementación	Cobertura geográfica		Cobertura poblacional rural	
	pixels	% de área excluido el cantón Cuenca	Habitantes	% de población rural
Fase 1	210.981	36,69%	52.983	<b>47,46%</b>
Fase 2	95.536	16,61%	37.062	<b>33,20%</b>
Fase 1 + Fase 2	253.438	44,07%	69.378	<b>62,14%</b>
Fase 3	88.829	15,45%	10.063	<b>9,01%</b>
Fase 1 + Fase 2 + Fase 3 (Azuay)	313.106	54,44%	74.433	<b>66,67%</b>

	pixels	% de raster base
Azuay	313.106	<b>11,46%</b>
Cañar	90.720	3,32%
Azuay +Cañar	771.331	28,23%

<b>Población rural considerada</b>	<b>111.647</b>
------------------------------------	----------------

Tabla 7.5: Cobertura geográfica y poblacional. 54.44% de cobertura geográfica y 66.67% de cobertura poblacional



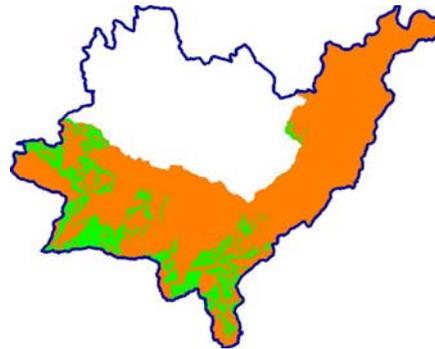


Figura 7.6: Área en la provincia del Azuay cubierta con fase 1, fase 2 , fase 3 respectivamente

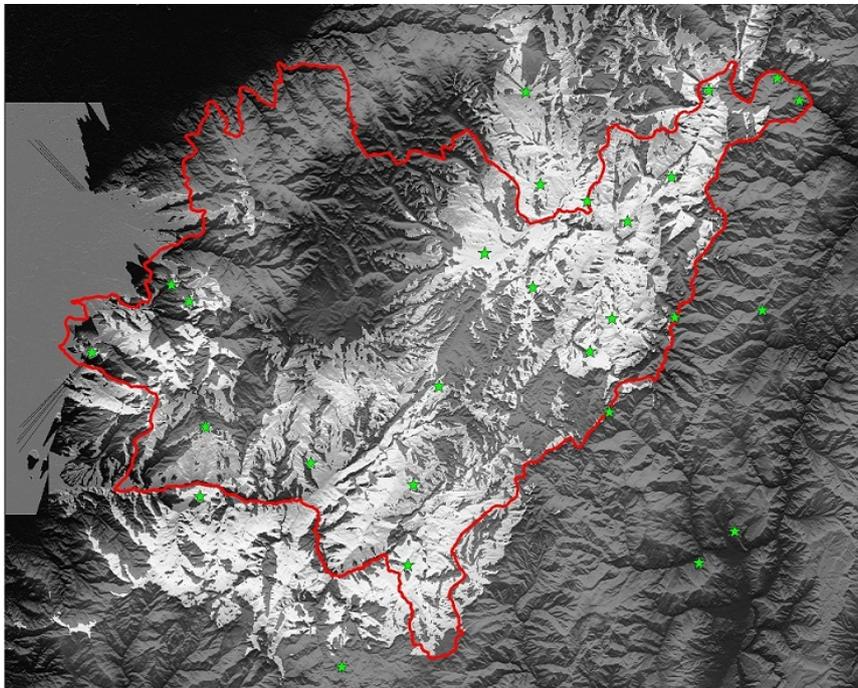


Figura 7.7: Cobertura con 3 fases representada sobre el MDE

## 5. Población sin cobertura en la simulación

Si la estimación de la cobertura poblacional rural es del 66.67%, cabe preguntarse en donde se encuentra la población sin cobertura. La respuesta podría dar pistas de los sectores en donde el operador tiene presencia deficitaria, en donde debe promover nuevos proyectos.



Las figuras 7.8, 7.9, y 7.10 muestran de manera gráfica como la población sin cobertura ha ido disminuyendo con el despliegue de cada fase. Contrastar estos gráficos con la figura 7.2.

Del análisis de los gráficos se observa que la población que no tiene cobertura es dispersa con muy pocas concentraciones, y se encuentra inmersa en áreas de cobertura. En la realidad, su estado de falta de cobertura debería ser comprobada con pruebas prácticas, ya que fenómenos como la refracción no fueron considerados en este estado de la simulación, y podrían ayudar a mejorar la cobertura.

Sin embargo existen zonas que deberían ser consideradas por el operador en futuros proyectos, ya que se evidencian zonas sin cobertura con cierta concentración; se pueden citar los siguientes sectores rurales: Amaluza en la parte Norte, Jima en la parte central Oriental, podría considerarse una mejora en los sectores de Santa Isabel, y probablemente Chordeleg. Una zona que evidencia una clara falta de cobertura es el sector Pucará-Shaglie.

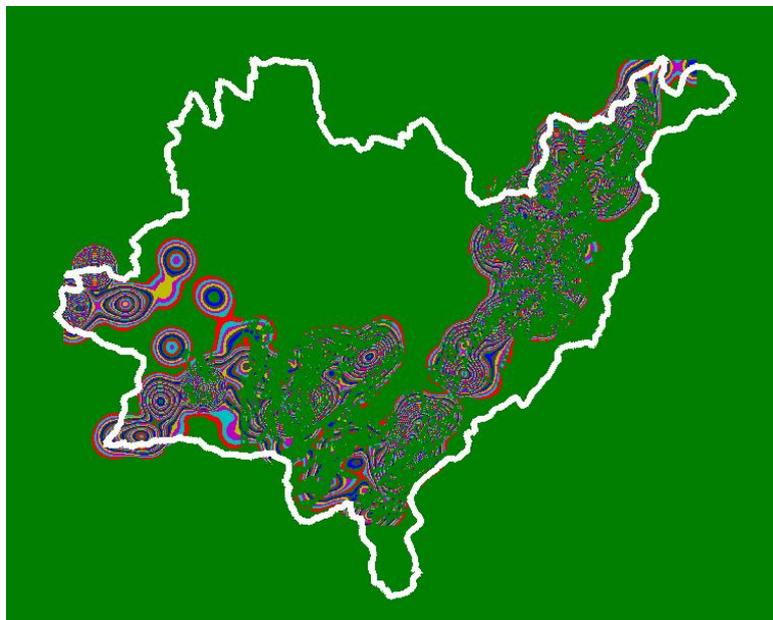


Figura 7.8: Población sin cobertura luego de implementada la fase 1

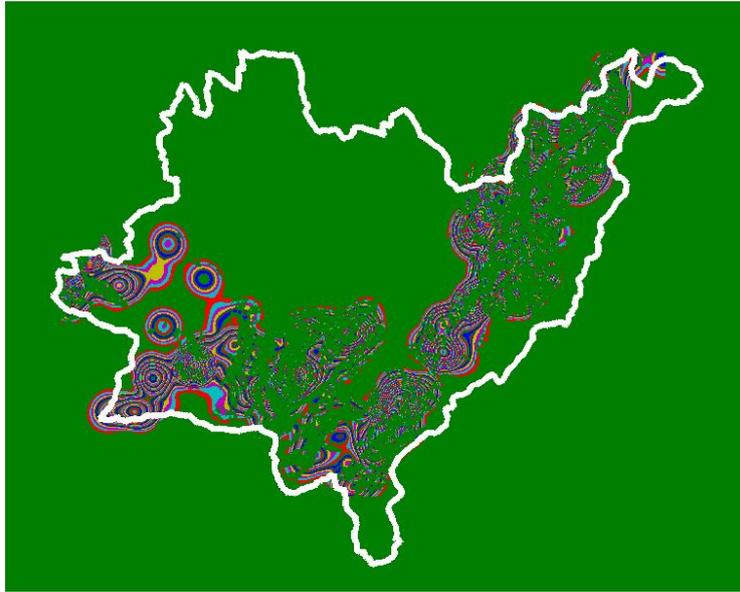


Figura 7.9: Población sin cobertura luego de implementada la fase 1 y fase 2

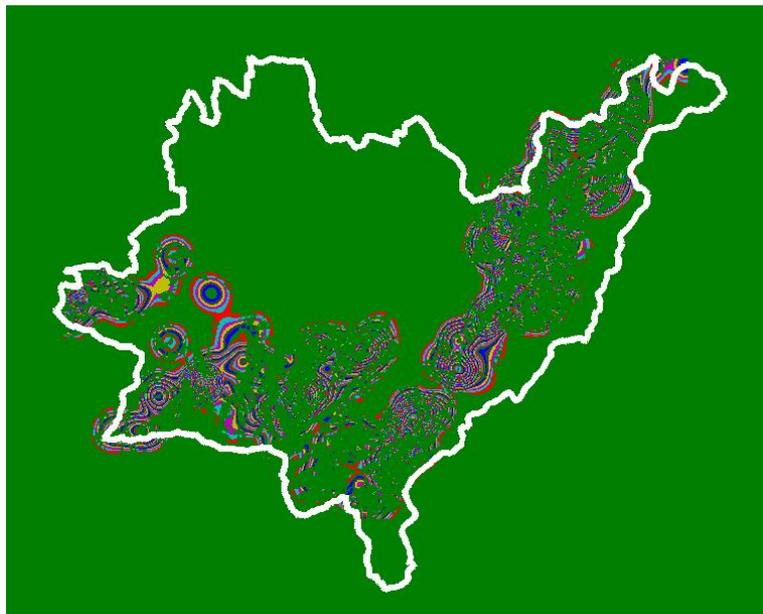


Figura 7.10: Población sin cobertura luego del despliegue de las tres fases



## 6. Modelo raster del pronóstico de nivel radioeléctrico para CDMA450 en la provincia del Azuay

De manera paralela, y en forma análoga al de cobertura, se ha generado un modelo raster de pronóstico de nivel radioeléctrico por cada una de las fases desplegadas. La visualización gráfica de estos modelos resulta muy útil y evidencia la gran cobertura que tiene el sistema en la zona rural de la provincia del Azuay. Los resultados de la cobertura representada es concordante con la expuesta en el punto 4.

En realidad la utilidad del modelo raster de nivel radioeléctrico se lo verifica al cargarlo en MATradio, ya que el modelo opera como una plantilla a nivel provincial que permitirá contar con un pronóstico del nivel en un punto geográfico deseado.

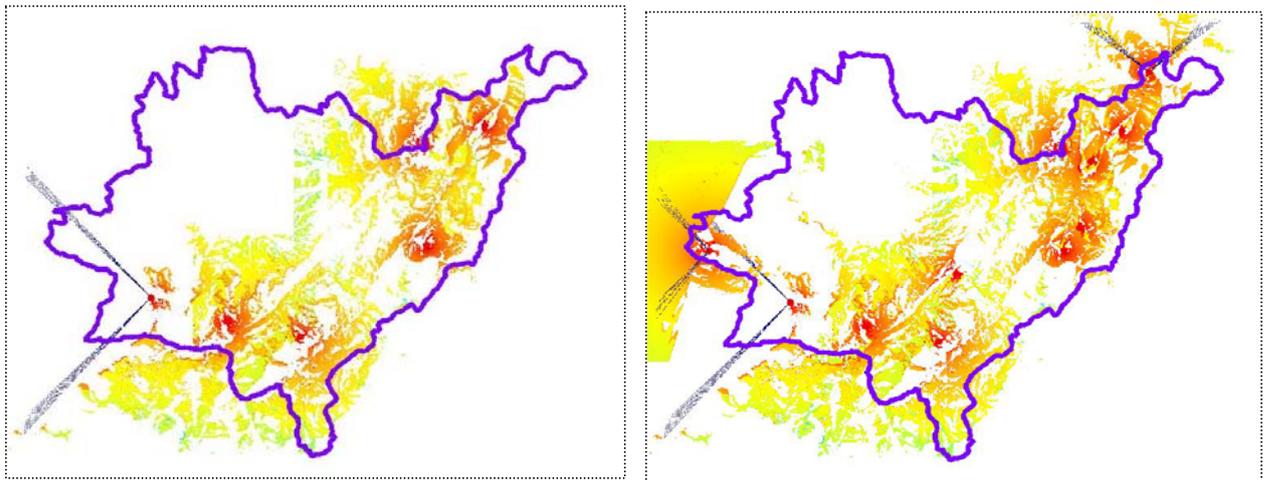


Figura 7.11: Raster de nivel fase 1, fase1 y fase 2

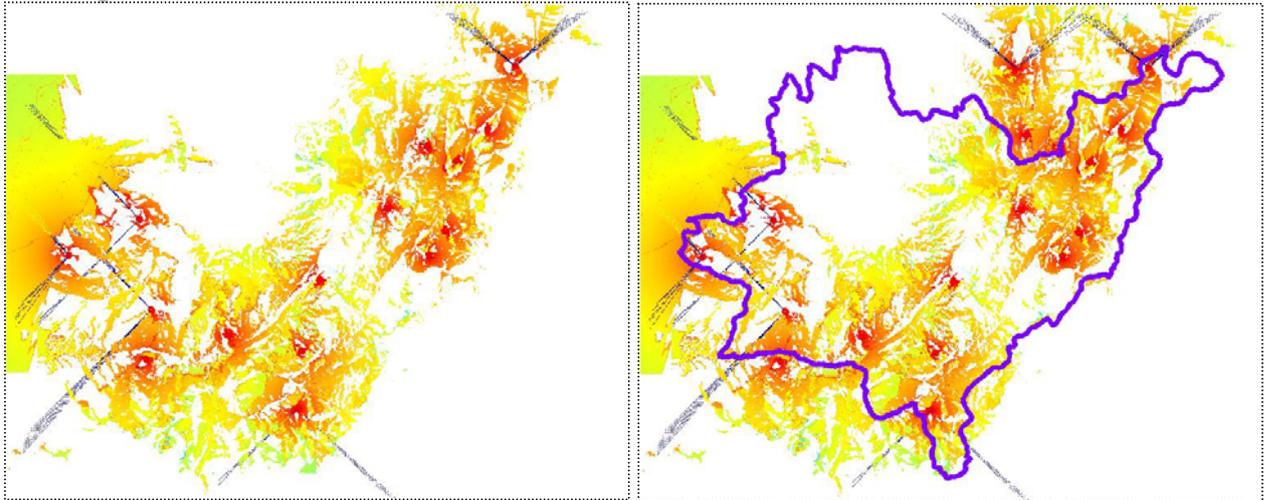
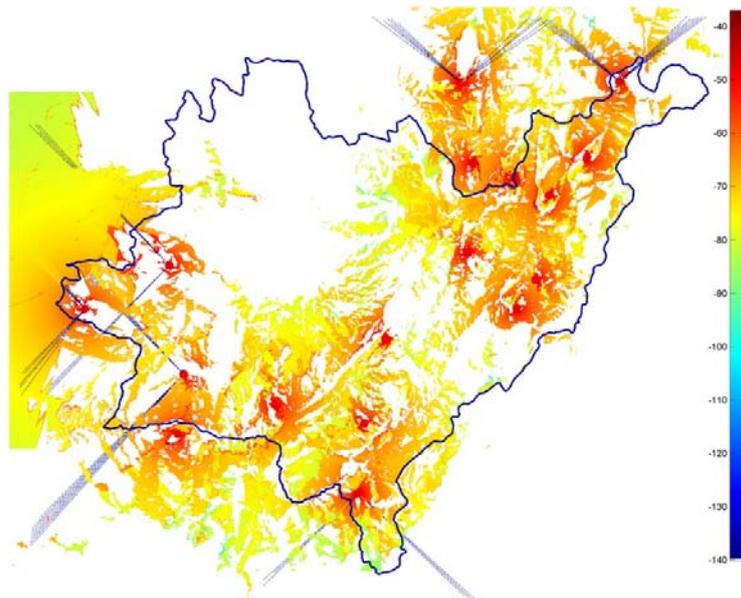


Figura 7.12: Raster de nivel fase 1 + fase1 + fase 3

La siguiente es una simple representación del raster de nivel y las poblaciones rurales bajo estudio; con el simple propósito de evidenciar en forma gráfica la cobertura de éstas con el despliegue progresivos de la cobertura.



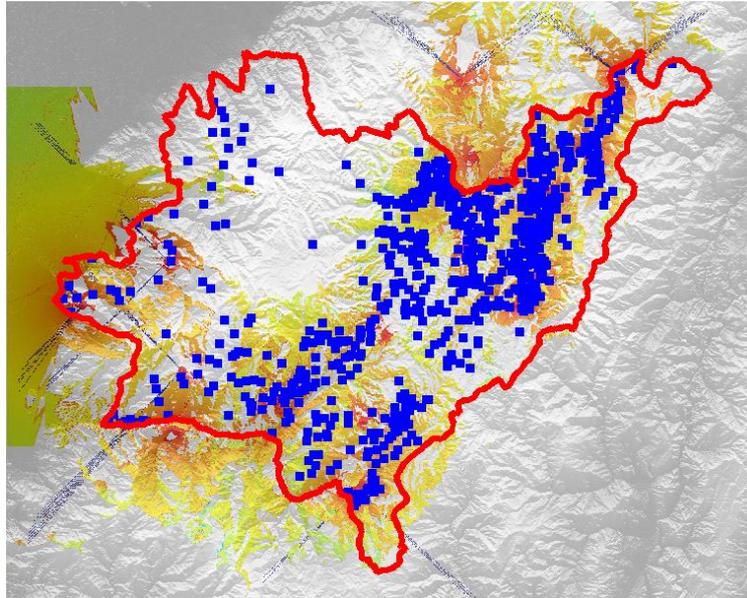


Figura 7.13: Raster de nivel fase 1 + fase1 + fase 3 representada sobre el MDE y poblaciones rurales

## 7. Conclusiones

El objetivo global de la tesis consistente en evaluar la aplicabilidad de la Tecnología CDMA450 como una solución para satisfacer las necesidades de acceso universal en la zona austral del Ecuador, tomando como referencia la provincia del Azuay, ha sido cumplido mediante la modelación raster de la población, y la cobertura que ha permitido el despliegue de la tecnología en sus diferentes fases. Este modelo de cobertura se encuentra sustentado en la aplicación de un modelo de propagación radioeléctrica, y la aplicación de un modelo raster de elevaciones altamente confiable. El manejo de los diferentes modelos rasterizados se los realiza con la herramienta MATradio, desarrollada en Matlab a partir del programa Mirone.

Los modelos obtenidos permiten concluir:

- Tomando como condición primordial la topografía del terreno en el análisis; el análisis de la aplicabilidad de CDMA450 se ha realizado tomando como punto de partida esta condición. La libre disponibilidad de cartografía de



alta precisión así lo permiten. MATradio utiliza la versatilidad de Mirone para manejar diferentes formatos de MDE, y herramientas poderosas de Matlab [3] que permiten realizar un análisis de cobertura. Se han desarrollado además funciones en Matlab, y que se han incluido en MATradio que permiten realizar un análisis punto - punto de cobertura, o punto – área. La capacidad de cálculo matricial de Matlab permite ejecutar estas aplicaciones en un tiempo sensiblemente corto, e mismo que podría ser optimizado al disponer de funciones compiladas.

Conforme a la propuesta realizada se tomó como base la información demográfica que dispone el FODETEL, a esta información se agregaron los datos de ubicación geográfica para el análisis. Las limitaciones en esta fase del desarrollo del trabajo fue la exclusión de las poblaciones que se encuentran en el cantón Cuenca, y que las poblaciones incluidas en los datos del FODETEL sean identificables en la cartografía del IGM.

La implementación de la tecnología CDMA450 en la provincia del Azuay para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones sustentándose en su infraestructura preexistente como ha sido su estrategia de despliegue le ha permitido contar con un alto nivel de cobertura provincial, incluyendo zonas de provincias vecinas que de manera inevitable se incluyen en la zona de cobertura.

El bajo costo de despliegue optimiza los costos de Servicio Universal para telefonía.

- El desarrollo de MATradio basado en el programa Mirone y Matlab, así como la disponibilidad en forma gratuita de cartografía de alta precisión demuestran que el desarrollo de herramientas de simulación es posible en nuestro medio a costos bajos. MATradio por si solo, si bien no alcanza el nivel de simulación de aplicaciones comerciales, al estar desarrollado en



Matlab, deja el campo abierto a implementaciones futuras de diferentes modelos. Particularmente el autor siente que podría ser de gran ayuda en el ámbito académico local.

- Los resultados obtenidos se han expresado en formato raster coherente en dimensiones y muestras con el MDE base utilizado: raster de población, raster de cobertura, raster de nivel. Al analizar la cobertura de una BS en particular, resulta sesillo establecer su incidencia en la demanda presente.
- Se ofrecen los MDE obtenidos de las fuentes de información topográfica que se propusieron en un inicio: (1) La cartografía que suministra el Instituto Geográfico Militar en escala 1:50000. (2) La información topográfica proporcionada por la misión SRTM. Para los propósitos de la presente aplicación se utilizó la segunda ya que fuente ya que fue necesario contar con información más allá de los límites geográficos.
- Con una cobertura poblacional en la zona rural estimada en un **66.67%** se corrobora el potencial de la aplicación de la tecnología CDMA450 en la zona rural de la provincia del Azuay. En la práctica el resultado podría ser mejor, ya que en la modelación se han utilizado parámetros más bien conservadores.

## **8. Recomendaciones**

- El término fundamental en el presente trabajo ha sido el concepto de **raster**. Los diferentes formatos con que se los ha representado: MDE, población, cobertura, etc. demuestran su utilidad para el manejo y obtención de información. Es necesario difundir el concepto y su extenso campo de aplicación.



- Incentivar el uso de los modelos digitales. Sean estos de elevaciones, o de otro tipo de información en la investigación y simulación de fenómenos bajo estudio.
- Incentivar la continuación, revisión, corrección, discusión del presente trabajo, que no pretende ser más que un punto de partida para el desarrollo local de herramientas académicas de gran utilidad

## **9. Estudios por desarrollar**

Como cualquier tema investigativo, en su fase de planteamiento resulta difícil, por no decir imposible predecir el rumbo que tomará la misma con el propósito de alcanzar el objetivo planteado. Cuando se planteaba el presente tema dudaba si el alcance planteado era correcto y realizable en un contexto razonable que lo justifique como tema de graduación. El solo hecho de contar con un raster poblacional hubiera sido un tema suficiente para un trabajo de sistemas de información geográfica; o la investigación y preparación de la cartografía. De la misma manera lo hubiera sido la preparación y validación de los modelos de cobertura radioeléctrica. Si a todo esto se suma el hecho de desarrollar la herramienta misma; desde mi punto de vista personal tenía serias sospechas de que lo planteado sobrepasaba un marco normal para el propósito para el que fue planteado.

Siempre se tuvo la duda de si el peso mayor del trabajo iba a estar en el componente de información geográfica, o en el peso matemático de la aplicación radioeléctrica. Sin embargo la duda sólo pudo ser resuelta con la ejecución del trabajo; y aun así la opinión puede ser sesgada ya que quien lo ejecutó tiene mayores fortalezas en el segundo campo citado y no en el primero. Si la situación hubiera sido contraria, la respuesta también podría ser diferente.

En el fondo lo que llevó a plantear el tema con el alcance expuesto fue la consulta realizada sobre desarrollos previos a nivel local, así como la sospecha personal,



de difícil explicación, de que el objetivo era realizable con el alcance planteado. En todo caso el trabajo iba a clarificar las metodologías de simulación con la utilización de los MDE.

Con base el desarrollo realizado, MATradio podría ser tomado como punto de partida, y no como la herramienta misma; pues mejores herramientas y desarrollos podrían ser planteados a partir de este conocimiento inicial, muchos campos de investigación quedan abiertas, y no solo en la aplicación de modelos de propagación radioeléctrica. Particularmente se sugiere continuar con lo siguientes trabajos:

En el campo de los sistemas de información geográfica:

- Obtención de mejores modelos poblacionales a través de una mejor georeferenciación de las zonas censales. Siendo ideal que este componente sea incluido en nuevos censos de población.
- Preparar y desarrollar interfaces eficientes para el manejo de MDE's capaces de manejar los modelos que están por liberarse. En poco tiempo estará disponible para Ecuador la información de la SRTM con una resolución de 30m.
- Generación de modelos para ambientes urbanos; esenciales para la modelación de tecnologías como Wimax y LTE.
- Validación de la información de la SRTM para aplicaciones en que esta tenga limitaciones.

En el campo de la simulación radioeléctrica:

- Validación sistemática de los modelos de propagación, con el propósito de llegar a una recomendación para nuestra zona.
- Implementación de nuevas herramientas que satisfagan necesidades específicas del usuario. A partir de MATradio, y las herramientas de



Mirone, así como las disponibles en Matlab, su implementación es sencilla. Cualquier desarrollo en otra plataforma más versátil es igualmente válida.

- Optimizar los tiempos de ejecución de la simulación con el propósito de mejorar la misma al incluir parámetros en tiempo real.

## Referencias

- [1] Huawei Technologies, **Cdma2000 1x Radio Network Design and Planning**, Huawei Training Program, China 2009.
- [2] J. F. Luis, [Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data](#). Computers & Geosciences, 33, 31-41, 2007
- [3] Mapping Toolbox 2, User's Guide, The MathWorks, Matlab, US. MA. <http://www.mathworks.com>



## **ANEXO 1**

### **EL CANAL DE RADIO**

La naturaleza del canal de radio afecta la transmisión de información a través de este. Uno de los mayores retos que enfrentan los ingenieros en el diseño de sistemas de radio móvil ha sido la modelación en forma precisa del canal de radio y sus características. Los modelos de propagación son clasificados en dos categorías:

- Modelos de propagación de gran escala
- Modelos de propagación de pequeña escala

Estos modelos han sido ampliamente utilizados a fin de establecer los efectos de los canales en la transmisión y recepción de señales inalámbricas. Las propiedades que se toman en cuenta en el diseño del canal incluyen fading, efecto Doppler, difracción, línea de vista y retardo de propagación. Las propiedades ambientales que afectan al canal de radio incluyen los terrenos rurales, urbanos, montañas, ambientes externos e internos, y condiciones de clima que incluyen el factor de humedad.

Dependiendo del nivel de señal recibida, los canales pueden presentar fast o slow fading. Si el promedio local de la señal varía lentamente con el desplazamiento, se presenta fading de gran escala. Si hay cambios rápidos de señal con pequeños desplazamientos, ocurre fading de pequeña escala.

Dependiendo del rango de frecuencia, los tipos de canales de radio pueden variar. Para una frecuencia de portadora entre 3 MHz a 3 GHz (VHF y UHF), el canal de radio es predominantemente de ondas espaciales, debido a los efectos de reflexión y difracción.



Los modelos de propagación de canal son empíricos o teóricos. Los modelos empíricos o estadísticos están basados en resultados experimentales, pero generalmente no constituyen modelos completos del canal, y de aquí que no son precisos. Estos modelos son utilizados en ambientes de macroceldas. Los modelos teóricos o deterministas adolecen de eficiencia computacional y son utilizados en ambientes de microceldas o en modelos de propagación interior. El modelo idealizado para canales inalámbricos es el modelo AWGN. Este no es posible en la realidad donde existen numerosos factores externos que afectan el desempeño del canal.

### Definición de Tipos de Celda

Dependiendo del ambiente de radio, los modelos de propagación pueden ser modelos interiores o exteriores. Los modelos exteriores son luego clasificados en modelos de macrocelda y modelos de microcelda. Los tipos de celda están clasificados en función del radio de celda. Macroceldas (celdas grandes) tienen radios de celda típicos de 1 Km a 30 Km, las microceldas tienen hasta 1 Km de radio, las picoceldas tienen hasta 500m. Un modelo de propagación típico se muestra en la figura A1.

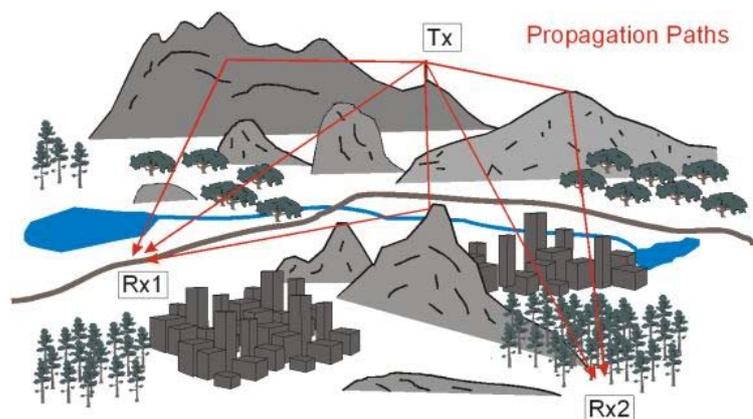


Figura A1: Modelo Típico de Propagación Macrocelular



Para una planeación de frecuencia precisa, una de las características más importantes que se requiere conocer son las pérdidas de propagación. Las pérdidas de espacio libre (propagación) es la degradación de la señal causada por la diseminación de la señal a medida que crece la distancia entre la fuente y su destino.

La potencia recibida en espacio libre está dada por la Ecuación de Espacio Libre de Friis

$$P_r(d) = P_t \cdot G_r \cdot G_t \left( \frac{\lambda}{4\pi \cdot d} \right)^2 \quad (0.2)$$

Donde  $P_t$  es la potencia transmitida,  $G_r$  es la ganancia de la antena en recepción,  $G_t$  es la ganancia de antena en transmisión,  $\lambda$  es la longitud de onda y  $d$  la distancia entre el transmisor y el receptor. Esta ecuación muestra que la potencia recibida cae con una relación cuadrática de la separación T-R. La pérdida en espacio libre está dado por  $P_r / P_t$ .

La propagación en un ambiente inalámbrico está afectada por difracción, scattering, reflexión, refracción como se muestra en la figura A2. La señal recibida final es por lo general una suma de todos los componentes de estos efectos. Es muy difícil modelar un canal inalámbrico en forma precisa debido a los diversos factores que influyen en el canal.

Señales de reflexión tiene lugar cuando las señales que se originan en el transmisor no alcanzan el receptor directamente. En su lugar la señal se refleja en superficies, edificios y otros obstáculos antes de alcanzar el receptor. Como resultado las señales recibidas presentan un cambio de fase, situación que contribuye a incrementar o decrementar el nivel de señal recibida dependiendo de si la señales interferentes llegan de un modo constructivo o destructivo. Este fenómeno es usualmente conocido como fading multitrayecto donde múltiples

componentes de la señal son recibidos en la sección receptora con fase cambiada. Las señales incidentes y reflejada están relacionadas por el Coeficiente de Reflexión de Fresnel ( $\Gamma$ ) que depende del ángulo de incidencia, frecuencia y polarización. Dependiendo de la presencia de una componente de línea de vista, estas señales son luego clasificadas como una distribución Rayleigh o Ricean.

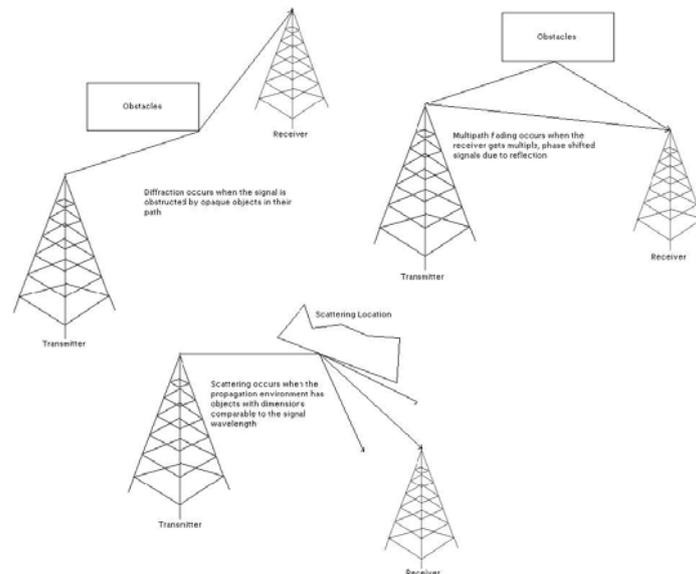


Figura A2: Mecanismos Típicos de Propagación

## Difracción, Reflección and Scattering

La difracción es la curvatura de la señal alrededor de obstáculos opacos cuyas dimensiones son significativamente mayores que la longitud de onda de la señal. Esta situación se explica por el principio de Huygens que establece que todos los puntos de un frente de onda pueden ser considerados como una nueva fuente de wavelets secundarios, y estos wavelets producen un nuevo frente de onda en dirección de la propagación. En los bordes del obstáculo, se produce atenuación debido a que las señales de radio son scattered. La difracción es usualmente vista en condiciones de ausencia de línea de vista NLOS.



La refracción juega un mayor rol cuando la transmisión se hace a través de grandes distancias, El índice de refracción de la atmósfera no es constante y esto contribuye a curvar las ondas.

### **Modelos de Propagación Empírica para ambientes de Macrocela**

El Ambiente de Canal Móvil está caracterizado por terrenos irregulares. Además, en grandes celdas, las condiciones para probación LOS usualmente no son satisfechas. Un modelo de gran escala preciso debe considerar las características del terreno. El modelo es también dependiente de la altura de la antena en la estación base, así como en el receptor. Esta ha sido una de las mayores áreas de investigación y hoy se cuenta con una gran cantidad de modelos. Los modelos están basados usualmente basados en valor rms de retardo, factores de reducción de la ganancia de antena o la presencia de componentes LOS.

### **Modelo Okumura-Hata**

En el presente escenario de la ingeniería, Okumura-Hata es el modelo más ampliamente utilizado en sistemas de radio móvil terrestre VHF y UHF. Este modelo está completamente basado en datos medidos por lo que no requiere de una explicación analítica. La implementación práctica del modelo requiere de una extensa recolección de datos. Okumura desarrolló un conjunto de curvas que dan la atenuación relativa al espacio libre. La mayoría de los datos recogidos para este modelo estuvieron basados en terrenos dentro y alrededor de Japón. Los resultados de estos datos han sido compilados en diagramas a partir de los cuales las medidas pueden ser realizadas. Hata aproximó estas curvas para dar una formulación y dio una definición empírica a estos modelos. También introdujo factores de corrección para acomodar las condiciones del terreno.



El modelo Okumura-Hata es válido en una rango de frecuencias de 150-1000 MHz para una distancia entre transmisor y receptor de hasta 20 Km. La pérdida de trayecto en dB está dado por

$$A[dB] = 69.55 + 26.16 * \log(f[MHz]) - 13.82 * \log(h_{Tx}[m]) + (44.9 - 6.55 * \log(h_{Tx}[m])) * \log(d[Km]) - \beta \quad (0.3)$$

Donde  $f$  es la frecuencia en MHz,  $h_{Tx}$  es la altura de la antena receptora en  $m$ ,  $d$  es la distancia entre el transmisor y el receptor en  $km$ , y  $\beta$  es un factor de corrección.

$$\beta_{urbano} = \begin{cases} [1.1 * \log(f[MHz]) - 0.7] * h_{Rx}[m] - [1.56 * \log(f[MHz]) - 0.8], & \text{para pequeñas ciudades} \\ 8.298[\log(1.54 * h_{Rx}[m])]^2 - 1.1, & \text{para áreas urbanas y } f \leq 300MHz \\ 3.2 * [\log(11.75 * h_{Rx}[m])]^2 - 4.97, & \text{para áreas urbanas y } f \geq 300MHz \end{cases} \quad (0.4)$$

Donde  $h_{Rx}$  es la altura de la antena receptora en  $m$  y  $\beta_{urbano}$  es el factor de corrección para ambientes urbanos. Para otros ambientes que incluyen áreas suburbanas y rurales, un factor de corrección adicional es sumado al valor urbano.

$$\beta_{new} = \begin{cases} \beta_{urbano} - 2 * [\log(f[MHz]/28)]^2 - 5.4, & \text{para áreas suburbanas} \\ \beta_{urbano} - 4.78 * [\log(f[MHz])]^2 + 18.33 * \log(f[MHz]) - 35.94, & \text{para áreas rurales algo abiertas} \\ \beta_{urbano} - 4.78 * [\log(f[MHz])]^2 + 18.33 * \log(f[MHz]) - 40.94, & \text{para áreas rurales abiertas} \end{cases} \quad (0.5)$$

El modelo Okumura-Hata ha sido extendido por COST<sup>56</sup> dando lugar al modelo COST 231-Hata para frecuencias entre 1500 MHz y 2000 MHz.

<sup>56</sup> European CO-operative for Scientific and Technical Research (EURO-COST)



$$A[dB] = 46.3 + 33.9 * \log(f[MHz]) - 13.82 * \log(h_{Tx}[m]) + (44.9 - 6.55 * \log(h_{Tx}[m])) * \log(d[Km]) - \beta + \xi \quad (0.6)$$

$$\beta = [1.1 * \log(f[MHz]) - 0.7 * h_{Rx}[m] - [1.56 * \log(f[MHz]) - 0.8] \quad (0.7)$$

$$\xi = \begin{cases} 3 & \text{para el centro de ciudades grandes} \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases} \quad (0.8)$$

La desventaja incluye la imposibilidad para utilizar estas curvas para extrapolar situaciones específicas.



## **ANEXO 2**

### **MATradio**

MATradio es una adaptación del programa Mirone 1.4.0 como herramienta para simular fenómenos de propagación radioeléctrica bajo las condiciones y modelos que el usuario programe.

Mirone es una herramienta basada en Matlab que permite desplegar y manipular muchos formatos raster gracias a su interface con la librería GDAL. Mirone se enfoca en el campo de la geofísica y las ciencias de la tierra. Es un programa desarrollado por el Dr. Joaquim Luis de la Universidad de Algarve: J. F. Luis. [Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data](#). Computers & Geosciences, 33, 31-41, 2007.

La ventaja de Mirone es que se encuentra escrito en Matlab, un lenguaje fácil de programar y que dispone de muchísimas funciones matemáticas que pueden ser utilizadas en el desarrollo. Mirone, conjuntamente con la librería Maptools de Matlab son aprovechados para lograr la adaptación MATradio. Se utiliza la facilidad de Matlab para generar una interfaz gráfica; pero Mirone está diseñado para optimizar los recursos de procesamiento, esto permitió que la mayor parte de trabajo para el presente trabajo se los haya realizado con MATradio utilizando un computador portátil HP Pavilion Ze4500 con un procesador AMD Athlon XP-M.

**GDAL** (Geospatial Data Abstraction Library <http://www.gdal.org/index.html>): es una librería para traducción de formatos de datos geospaciales de tipo raster, se distribuye bajo la modalidad "Open Source" por la [Open Source Geospatial Foundation](#), La **Fundación para el Código Abierto Geoespacial** ha sido creada para apoyar y construir el software geoespacial de la más alta calidad. El objetivo de la fundación es animar el uso y desarrollo colaborativo de proyectos liderados por la comunidad. Este sitio sirve como portal para usuarios y desarrolladores para



compartir ideas y contribuir al desarrollo de los proyectos. Este sitio ira creciendo y evolucionando tal y como ocurre con la fundación.



## Archivo

Es un menú en el cual se encuentran funciones para entrada y salida de datos:

- Preferencias
- Nueva Ventana
- Abre Raster/Imagen: Raster ASCII
  - ✓ ESRI BIL
  - ✓ Modelo Digital de Elevaciones:
    - DTED
    - Geotiff MDE
    - SRTM 1
    - SRTM 3
- Revisión Rápida
- Abre sesión
- Graba Imagen Como:
  - Formato genérico
  - Formato Geotiff
- Copia al Clipboard:
  - Solamente la Imagen
  - Imagen y Recuadro
- Graba Raster como:
  - Geotiff
  - ESRI .hdr
- Graba sesión
- Archivos recientes



### **Preferencias:**

Permite predeterminar las especificaciones de trabajo: sistema de coordenadas, carpeta de trabajo, etc.

### **Nueva ventana:**

Función de Mirone. Abre una nueva ventana vacía desde la cual se abre otro archivo. Las funciones habilitadas en las ventanas son las mismas.

### **Abre Raster/Imagen:**

Función de Mirone. Automáticamente se detectan y se lee la mayoría de formatos que los reconoce. Sin embargo, podría necesitarse leer un formato en particular; en este caso se debe elegir el formato en particular que se desea leer. Mirone contiene las opciones que le permite GDAL, lo que le permite leer una gran variedad de formatos. MATradio trabaja básicamente con cuatro formatos: SRTM V2, SRTM v4, Geotiff, ASCII. El formato .BIL se utiliza para el intercambio de información con ArcGis. Se pueden además leer imágenes con formatos genéricos (png, jpeg, tiff, etc...).

### **Revisión rápida**

Función de Mirone: La herramienta está diseñada para el manejo de rasters muy grandes. El raster seleccionado es muestreado durante la etapa de lectura con el propósito de obtener una vista de 200 filas por columnas. De esta manera, rasters arbitrariamente grandes pueden ser revisados, pero la calidad de la vista previa se irá degradando. Dibujar un rectángulo en el raster; al hacer doble clic en el rectángulo permite editarlo. Se puede controlar el tamaño del rectángulo haciendo clic derecho y seleccionando los límites del rectángulo. Usando la opción de corte del raster se extrae la región dentro del rectángulo con resolución completa.



### **Abre Sesión**

Función de Mirone: Abre una sesión de trabajo previamente grabada. Una sesión incluye las actividades, gráficos y diseños que se hayan realizado sobre el mapa.

### **Graba Imagen Como**

Función de Mirone. Graba la imagen desplegada en un formato de imagen común. MATradio utiliza preferentemente los formatos jpg y tiff; así como GeoTiff,y ESRI .hdr. MATradio no graba rasters en formato ASCII.

### **Copia al Clipboard**

Función de Mirone. Copia la imagen contenida y la coloca en el clipboard de windows. La imagen se pega con el típico comando ctrl-v. Hay do opciones: copiar solamente la imagen, o copiar tanto la imagen como el recuadro

La captura se hace a 300 DPI lo que facilita su inserción en documentos de Word. La copia y captura de líneas entre imágenes abiertas en diferentes mapas también se puede realizar, para lo cual es necesario activar el modo de edición dando doble clic sobre una línea por ejemplo; la utilidad de esta acción es que el elemento se copia conservando sus coordenadas en la segunda imagen.

### **Graba sesión**

Función de Mirone. Graba el estado actual de un proyecto, incluyendo los elementos gráficos en un archivo de Matlab .mat. Esta sesión puede ser abierta con “Abrir Sesión”. Es muy útil para guardar respaldos; el raster no es guardado en realidad, solamente la información para volver a generar la imagen. Si el raster no es encontrado en un archivo, obviamente la sesión no se regenerará.

### **Archivos recientes**

Guarda un historial de los últimos archivos leídos, y que fueron reconocidos por Mirone.



## **Imagen**

Este menú facilita funciones para el manejo y procesamiento de la imagen:

- Paleta de colores
- Corte
- Invertir Imagen
- Restaura Imagen Original
- Iluminación
- Cubrir
- Límites del Mapa
- Pintar Imagen
- Cambio de Dimensión de la imagen
- Rotación de Imagen

## **Paleta de Colores**

Hay tres opciones:

- **Mostrar a un lado:** coloca la paleta actual en el lado derecho exterior de la imagen.
- **Mostrar dentro:** muestra la paleta actual en el lado derecho interno de la imagen desplegada.
- **Paleta flotante:** crea una nueva figura separada que contiene la paleta.

## **Corte**

Función de Mirone. Corta una imagen dentro de un rectángulo especificado. Al elegir esta opción el puntero toma la forma de una cruz, entonces al presionar el botón izquierdo del Mouse y deslizar el mismo, se define el rectángulo que se va a recortar. La operación termina al presonar el botón izquierdo nuevamente. Otra forma más precisa es dibujar el rectángulo controlando pacientemente los límites del mismo, entonces dar clic derecho y realizar el corte deseado, sea este de imagen solamente, o del raster.

## **Invertir Imagen**



Función de Mirone. Invierte la imagen de arriba a abajo, o de izquierda a derecha.

### **Restaura Imagen Original**

Función de Mirone. Restaura la imagen original. Se utiliza la opción cuando luego de realizados múltiples trabajos, se requiere iniciar un nuevo proyecto nuevamente.

### **Iluminación**

Función de Mirone. Esta función presenta una imagen de iluminación del raster leído. Una herramienta asoma en una ventana y permite determinar la inclinación y azimuth de la fuente de luz. Entre las opciones disponibles, la opción "False Color" permite iluminar un raster GMT, <http://imina.soest.hawaii.edu/gmt/>, permite lograr un modelo con tres diferentes direcciones de iluminación, y compone la imagen final RGB (red, green, black). Dependiendo de la magnitud del raster, los cálculos pueden tomar cierto tiempo, los mismos se realizan en Matlab.

### **Cubrir**

Función de Mirone. Se requieren dos ventanas abiertas; la segunda ventana se abre utilizando la opción "Abrir nueva ventana". La figura de la segunda ventana se puede utilizar para cubrir la primera con esta función; para el efecto se puede indicar el nivel de transparencia de la figura utilizada para cubrir.

### **Límites del Mapa**

Función de Mirone. Se utiliza para georeferenciar una imagen que no está referenciada. Una manera más eficiente de hacerlo es utilizar la opción "**Register Image**" disponible al pulsar el botón derecho del Mouse sobre un rectángulo.

### **Pintar la Imagen**

Función de Mirone. Opción similar al programa Paint de Windows.



### **Cambio de dimensión de la imagen**

Función de Mirone. Redimensiona la imagen, redimensionando el tamaño de la ventana.

### **Rotar la imagen**

Función de Mirone. El usuario puede especificar el ángulo, método de interpolación, y tamaño de la imagen de salida, mirando una imagen previa del resultado.

### **Modo de Imagen**

Función de Mirone: Convierte imágenes entre RGB e imágenes indexadas:

- RGB truecolor: convierte una imagen a RGB
- 8-bit color: convierte una imagen RGB en una imagen indexada por un proceso denominado cuantización de color. El resultado de esta operación es de calidad variable dependiendo de la calidad de la imagen.
- Gray scale: convierte una imagen a una escala de grises.
- Black and White: convierte a una imagen en blanco y negro.
- Original Image: revierte cualquier operación anterior.

### **Mejorar imagen**

Función de Mirone. Herramienta sofisticada para lograr mejoras en cualquier tipo de imagen.

### **Herramientas**



- Extraer Perfil:
  - Perfil Estático
  - Perfil Dinámico
- Mediciones:
  - Distancia en Km
  - Azimuth
  - Area
  - Area por color

### Extraer Perfil

Función de Mirone modificada en MATradio. Existen dos opciones: Perfil Dinámico y perfil estático. Se han modificado estas funciones para facilitar la visualización de la existencia de línea de vista entre dos puntos. Dar click izquierdo para indicar el primer punto, ubicar el cursor en el punto de prueba que usted desee, obteniéndose un perfil interactivo. Cuando decida obtener el perfil simplemente de doble click en la ubicación deseada. El resultado se muestra en una nueva ventana en donde se grafica el perfil en un plano cartesiano. El perfil dinámico corresponde a una versión interactiva del programa grtrack GMT. El perfil puede ser grabado como archivo. El perfil en coordenadas x,y se obtiene por interpolación lineal y como consecuencia podría tener cierta diferencia con el arco sobre la superficie terrestre que reflejan la menor distancia sobre una esfera. Alternativamente se puede dibujar una línea entre los puntos requeridos y se puede extraer el perfil deseado.

### Mediciones

Función de Mirone. Es una herramienta de medición que permite medir distancias en las unidades preseleccionadas, los azimuths en grados, y el área en Km<sup>2</sup>. Iniciar con un clic izquierdo, y luego proceder con tantos clicks como sean necesarios para definir un área. Un doble clic incluye el último punto y muestra el resultado. Los clicks derechos remueven los puntos ingresados previamente. Área por color muestra el área ocupada cada color en una imagen RGB.



## **Dibujo**

Funciones de Mirone. Todos los elementos gráficos dibujados con las opciones de este menú pueden cambiar sus características como estilo de línea, color, ancho de línea, borrado, etc. Para acceder a estas propiedades se da un clic derecho sobre la entidad a ser editada. Se citarán las funciones más relevantes.

- Líneas
- Interpolación de líneas
- Dibujo a mano alzada
- Dibuja polígono
- Importa línea
- Importa puntos
- Importa símbolos
- Importa texto
- Importa archive en formato shape
- Círculo
- Rectángulo
- Símbolos
- Inserta texto

### **Importar línea**

Busca un archivo de texto con la información x,y de la línea que será dibujada en la figura.

### **Importar puntos**

Busca un archivo de texto con la información x,y de cada punto que será dibujado en la figura.

### **Importa texto**



Importa un texto desde un archivo de texto. El archivo debe contener las coordenadas x,y en las primeras dos columna, seguidas por el archivo de texto.

### **Importa un archivo en formato SHAPE**

Carga un archivo shape de ESRI ArcGis. El archivo es dibujado como un polígono sobre el gráfico presente. En el presente trabajo se ha utilizado esta opción para dibujar los límites geográficos.

### **Círculo**

Permite dibujar pequeños círculos en coordenadas geográficas o en coordenadas cartesianas. Hay dos opciones: con la primera, el primer click izquierdo define el centro del círculo, y el segundo su circunferencia. La segunda opción permite dibujar un arco de un gran círculo.

### **Cobertura de Radio**

- Cargar puntos
- Modelo Okumura Hata
  - Curvas de Hata
  - Comparación de modelos
  - Estimación nivel punto a punto
  - Estimación de nivel en una area
  - Formación de matriz de cobertura
- Modelo de Kirchoff
- Modelo de Durkin

### **Modelación CDMA**



- Respuesta Eb/N0
- Simulación cdma2000 DL
- Simulación IS-95 UL
- Simulación IS-95 DL

## **Raster**

- Calculadora de Raster
- Cortar el Raster
- Rotar el Raster
- Generar ASCII
- Llenar Nans
- Herramientas SRTM:
  - Mosaico
  - Encuentra huecos
  - Graba como SRTM



*Universidad de Cuenca*

## **ANEXO 3**

### **Poblaciones AZUAY**



	Parroquia	nam	Vivienda	Poblacion	x_coord	y_coord	Longitude	Latitudo
1	San Felipe de Ona	Paredones	100	133	705630,5279	9614104,0620	-79,14896	-3,48945
2	San Felipe de Ona	Chacapata	75	75	706088,6933	9614933,5275	-79,14485	-3,48194
3	San Felipe de Ona	El Rodeo	87	130	708132,6077	9615419,3783	-79,12647	-3,47751
4	San Felipe de Ona	Onashapa	100	80	707580,7780	9616158,3630	-79,13145	-3,47084
5	San Felipe de Ona	Ona	255	332	705240,4925	9616381,0435	-79,15251	-3,46887
6	San Felipe de Ona	Mantaucu	22	13	706452,0176	9616801,8726	-79,14162	-3,46504
7	San Felipe de Ona	Pucara	26	20	703136,8981	9616962,8094	-79,17145	-3,46364
8	San Felipe de Ona	Tutupano	31	24	710181,1715	9617060,7554	-79,10807	-3,46263
9	San Felipe de Ona	Shilla	33	45	704278,8561	9617255,9446	-79,16118	-3,46097
10	San Felipe de Ona	Jalincapa	34	33	708576,4652	9617489,7504	-79,12251	-3,45878
11	San Felipe de Ona	Baijon Chico	57	49	711404,1586	9617871,9362	-79,09708	-3,45528
12	San Felipe de Ona	Cocha de Baijon	44	44	708882,0635	9618043,0080	-79,11977	-3,45377
13	San Felipe de Ona	Baijon Grande	159	200	709765,2689	9618637,1688	-79,11184	-3,44839
14	San Felipe de Ona	Chiquero	21	10	709800,9209	9619584,3655	-79,11153	-3,43982
15	San Felipe de Ona	Hornillos	50	41	710438,4102	9619775,0579	-79,10580	-3,43809
16	El Progreso	Poetate	48	91	693320,0967	9620837,3991	-79,25985	-3,42877
17	Cochapata	Udushapa	70	107	709737,3211	9621444,1849	-79,11214	-3,42301
18	El Progreso	La Merced	35	118	695866,4907	9621461,9305	-79,23695	-3,42308
19	Susudel	Pullcanga	23	59	700156,9243	9622041,0766	-79,19835	-3,41777
20	El Progreso	Cria	66	211	696825,8459	9623134,8199	-79,22835	-3,40794
21	Susudel	Susudel	112	234	701768,9235	9623484,6276	-79,18387	-3,40469
22	Cochapata	Namarin	124	194	710689,1683	9623686,4232	-79,10361	-3,40271
23	El Progreso	Yanalpa	22	76	695360,3296	9624267,3792	-79,24155	-3,39772
24	Cochapata	Cochapata	591	855	712401,7766	9624828,2264	-79,08823	-3,39236
25	Cochapata	El Rodeo	68	171	708568,9422	9625276,3069	-79,12272	-3,38838
26	Cochapata	Comuna Belen	90	160	714853,8559	9625369,6065	-79,06617	-3,38742
27	El Progreso	Corraleja	85	147	696324,4281	9625583,8592	-79,23290	-3,38580
28	El Progreso	Campana Cucho	24	31	697599,1237	9625753,1472	-79,22143	-3,38425
29	Cochapata	Granadilla	41	97	708787,4959	9626257,6449	-79,12077	-3,37950
30	Cochapata	Ulucata	47	87	710814,1422	9626692,0404	-79,10254	-3,37554



31	Cochapata	Comuna Bayan	48	53	715629,2778	9626713,3020	-79,05922	-3,37526
32	Susudel	Sanglia	44	115	704848,4927	9626830,7198	-79,15622	-3,37438
33	Cochapata	Tambo	62	87	712447,2552	9627564,4189	-79,08786	-3,36762
34	Cochapata	Comuna Sigsipamba	92	173	717558,5836	9628488,6614	-79,04189	-3,35917
35	El Progreso	Portetillo	38	94	694932,0141	9628758,6920	-79,24548	-3,35712
36	Cochapata	Saracapa	20	61	720142,5976	9628839,9982	-79,01865	-3,35595
37	Nabon	Casadel	147	243	710078,9110	9628944,1297	-79,10920	-3,35518
38	Las Nieves	Camara	37	58	707798,7509	9629058,0337	-79,12971	-3,35419
39	Cochapata	Charcay de Cochapata	85	169	713524,8634	9629203,3965	-79,07820	-3,35278
40	El Progreso	Yacudel	71	151	697423,9982	9629778,9528	-79,22307	-3,34785
41	El Progreso	San Vicente	22	15	699674,0746	9629783,3222	-79,20283	-3,34777
42	Nabon	Charcay de Nabon	62	139	714231,3237	9629830,5216	-79,07185	-3,34710
43	Nabon	Comuna Charqup	123	213	718730,2464	9630005,3124	-79,03138	-3,34544
44	El Progreso	El Progreso	130	232	699402,2175	9630429,7091	-79,20528	-3,34193
45	Nabon	Taru	28	50	711322,1894	9630464,9649	-79,09804	-3,34141
46	Las Nieves	Las Nieves	165	269	709521,2579	9630477,4415	-79,11424	-3,34133
47	Santa Isabel	Jubones	107	375	686980,0689	9630507,7950	-79,31706	-3,34143
48	Nabon	Nabon	496	1291	715014,5890	9630694,3645	-79,06482	-3,33927
49	El Progreso	Cusho	30	44	695193,3311	9630757,2958	-79,24316	-3,33904
50	Nabon	Tambo Loma	31	35	715541,1931	9631054,1154	-79,06009	-3,33601
51	Nabon	Shamanga	34	67	715392,3511	9631532,4946	-79,06144	-3,33169
52	Nabon	Patadel	91	280	717037,2052	9631813,4054	-79,04664	-3,32912
53	El Progreso	Rambran	36	68	700220,1123	9632279,4714	-79,19796	-3,32519
54	Nabon	Membrillo	50	73	716267,4838	9632612,0208	-79,05358	-3,32191
55	Nabon	La Cruz	95	224	718065,1635	9632617,7572	-79,03741	-3,32183
56	Las Nieves	La Paz	176	414	704363,0391	9632757,8684	-79,16069	-3,32080
57	Nabon	Santa Lucia	49	115	714532,7945	9632838,3950	-79,06919	-3,31989
58	Pucara	La Union	30	86	652532,1209	9632907,8953	-79,62707	-3,32020



59	El Progreso	Ucumari	24	58	697062,3406	9632954,9275	-79,22638	-3,31914
60	Pucara	Las Palmas	51	189	649683,8065	9632958,2051	-79,65271	-3,31978
61	Santa Isabel	Salupa Grande	52	180	690058,1577	9632997,7646	-79,28940	-3,31886
62	Pucara	Tres Banderas	34	112	656799,2545	9633125,1655	-79,58868	-3,31818
63	Pucara	Chilcapaya	57	158	658319,3819	9633284,1078	-79,57500	-3,31673
64	Nabon	Tiopamba	100	291	714585,7537	9633297,1114	-79,06873	-3,31575
65	Pucara	Vivar	42	78	653668,0599	9633418,1396	-79,61686	-3,31557
66	Pucara	Sarayunga	125	334	657753,1246	9633634,3928	-79,58010	-3,31357
67	Pucara	Gramalote	111	328	654727,6615	9633820,0372	-79,60733	-3,31193
68	Abdon Calderon (La Union)	Salupali Chico	43	132	691003,9387	9633920,4489	-79,28090	-3,31050
69	El Progreso	El Molino	36	48	698940,5195	9633969,1139	-79,20950	-3,30994
70	Nabon	Puca	42	85	712778,1945	9634025,7735	-79,08500	-3,30919
71	El Progreso	Cocha Seca	69	113	701255,6111	9634101,8286	-79,18867	-3,30870
72	Nabon	Moras Loma	48	52	717486,9414	9634296,7346	-79,04264	-3,30666
73	Las Nieves	Purin	48	11	704329,2964	9634599,7244	-79,16102	-3,30414
74	Santa Isabel	El Tablón	41	115	677053,6462	9634682,6437	-79,40644	-3,30382
75	Nabon	La Playa	39	92	716076,6019	9634699,4443	-79,05534	-3,30304
76	San Rafael de Sharug	San Sebastian	22	82	663285,7187	9634718,2739	-79,53033	-3,30369
77	Pucara	Santa Cecilia	35	135	650868,8310	9634840,7951	-79,64207	-3,30274
78	Nabon	Chunasana	145	434	714946,0385	9634915,3235	-79,06551	-3,30111
79	El Progreso	Yaritzagua	45	70	696823,9550	9634933,4386	-79,22855	-3,30125
80	Las Nieves	Puca Chico	20	30	709850,1816	9635216,3850	-79,11136	-3,29847
81	Santa Isabel	Lancay	87	132	690607,8993	9635312,7372	-79,28449	-3,29792
82	Santa Isabel	Tugula	39	145	682316,7689	9635465,0811	-79,35909	-3,29667
83	Nabon	Lluchin	54	113	718231,0178	9635704,6907	-79,03597	-3,29391
84	Santa Isabel	Peña Blanca	32	85	684811,8465	9635996,1980	-79,33665	-3,29183



85	Nabon	Shiñan Pamba	72	230	721085,8467	9636308,4288	-79,01030	-3,28840
86	Nabon	Guandug Loma	83	201	714921,1291	9636337,1678	-79,06576	-3,28825
87	Nabon	Ayaloma	66	193	717441,4972	9636380,0991	-79,04309	-3,28782
88	Nabon	Yuquispungo	104	218	717435,1845	9636773,2521	-79,04315	-3,28427
89	Santa Isabel	Guayaba	69	196	682529,8761	9636788,4245	-79,35719	-3,28470
90	Nabon	Shina	162	392	719412,7920	9636874,5106	-79,02536	-3,28331
91	Abdon Calderon (La Union)	Portovelo Grande	123	368	693015,3271	9637521,1912	-79,26286	-3,27791
92	Santa Isabel	Dandñn	29	124	681949,8155	9637564,8576	-79,36242	-3,27768
93	Santa Isabel	Patapata	76	143	689900,0251	9637620,6528	-79,29089	-3,27706
94	San Rafael de Sharug	San Rafael de Sharo	51	122	661215,9926	9637869,7978	-79,54899	-3,27521
95	Las Nieves	Trigopamba	24	40	700554,4323	9637952,7091	-79,19504	-3,27389
96	Santa Isabel	Santa Isabel	583	1470	687032,1178	9638087,6630	-79,31670	-3,27288
97	Nabon	Pavan	112	316	722042,4627	9638108,3752	-79,00173	-3,27211
98	Nabon	Quillosisa	77	218	722658,7342	9638268,3026	-78,99619	-3,27065
99	Nabon	San Miguel de Ranas	119	262	716799,8979	9638343,5039	-79,04890	-3,27008
100	Nabon	Pucalpa	79	200	718686,2280	9638359,5144	-79,03193	-3,26990
101	Santa Isabel	Quillosisa	48	105	689448,6861	9638364,9304	-79,29497	-3,27034
102	Nabon	El Calvario	72	187	716364,3172	9638557,9421	-79,05282	-3,26815
103	Santa Isabel	Ashidel	20	69	684847,2623	9638601,2076	-79,33637	-3,26827
104	Santa Isabel	Chalcalo	31	98	680949,1954	9638821,9946	-79,37145	-3,26633
105	Nabon	San Francisco	70	134	716240,7230	9638915,0563	-79,05394	-3,26492
106	Nabon	San Vicente	71	125	717276,4695	9639437,8743	-79,04463	-3,26018
107	Abdon Calderon (La Union)	Abdon Calderon	565	1303	691041,4889	9639439,8793	-79,28065	-3,26059
108	Abdon Calderon (La Union)	Catavina	33	93	692992,9012	9639689,5675	-79,26310	-3,25830
109	Santa Isabel	Guabopamba	49	163	687502,8148	9639934,6840	-79,31250	-3,25617
110	Pucara	Deuta	32	56	672613,7999	9639944,6121	-79,44646	-3,25630



111	Abdon Calderon (La Union)	Portovelo Chico	92	197	691413,2090	9639966,4745	-79,27732	-3,25582
112	Abdon Calderon (La Union)	Cercaloma	97	330	689836,5381	9640042,4988	-79,29150	-3,25516
113	Abdon Calderon (La Union)	San Antonio	75	188	693751,6623	9640191,6538	-79,25628	-3,25375
114	Abdon Calderon (La Union)	Toachiri Chico	90	188	694484,5011	9640432,2275	-79,24969	-3,25156
115	San Rafael de Sharug	Guarumal	170	683	660593,7396	9640649,6589	-79,55463	-3,25008
116	Asuncion	Lentag	235	498	696217,1409	9641223,6519	-79,23411	-3,24438
117	Abdon Calderon (La Union)	Huashapamba	25	71	688223,0664	9641236,9028	-79,30604	-3,24438
118	Pucara	Limón	22	51	673788,5023	9641324,1311	-79,43591	-3,24380
119	Abdon Calderon (La Union)	Gualandelec	74	235	691543,7418	9641519,0635	-79,27616	-3,24178
120	Pucara	Marco	45	149	667032,5892	9641909,8994	-79,49671	-3,23860
121	Asuncion	Loma Lentag	76	143	696959,2460	9642015,8916	-79,22745	-3,23720
122	Abdon Calderon (La Union)	Bellavista	58	108	692001,0995	9642101,9991	-79,27206	-3,23650
123	Santa Isabel	San Alfonso de Bateas	73	212	679335,1576	9642103,7616	-79,38602	-3,23667
124	Asuncion	San Jose	29	29	694625,1428	9642193,7079	-79,24845	-3,23563
125	Santa Isabel	Canaribamba	134	341	684562,8976	9642214,6010	-79,33898	-3,23560
126	Giron	Gigantones	71	224	699075,9457	9642469,9959	-79,20841	-3,23306
127	Giron	Silvan	42	20	715749,4423	9642527,9021	-79,05842	-3,23226
128	Santa Isabel	Salinas	93	207	681177,3649	9642603,7211	-79,36945	-3,23213
129	Giron	El Tablon	22	22	702932,7857	9642727,9746	-79,17372	-3,23067
130	Santa Isabel	Tortapali	55	147	682903,0276	9642729,6636	-79,35392	-3,23096
131	Asuncion	Arushuma	46	141	692849,6749	9642880,5025	-79,26444	-3,22945
132	Pucara	Cerro Negro	112	386	660160,5215	9643083,5199	-79,55856	-3,22807
133	Pucara	Patococha	60	210	666167,5031	9643379,1056	-79,50451	-3,22532
134	Shaglli	La Libertad	56	175	677640,6560	9643443,2250	-79,40128	-3,22459
135	Asuncion	Rumiloma	20	63	693329,7600	9643651,1258	-79,26013	-3,22247
136	Giron	Cachi	38	77	704797,8494	9643720,4057	-79,15696	-3,22166
137	Pucara	Pucara	803	2560	670027,3418	9643996,2353	-79,46979	-3,21969
138	Asuncion	Naranjito	30	57	694584,3664	9644046,5732	-79,24885	-3,21888
139	Asuncion	Santa Rosa	62	92	693290,4326	9644276,5811	-79,26049	-3,21682
140	San Fernando	Balzapamba	26	52	696830,6754	9644936,2575	-79,22865	-3,21080
141	Asuncion	Asuncion	238	552	693474,9384	9644992,2431	-79,25884	-3,21034



142	Jima	La Moya	38	68	732152,2875	9645216,1059	-78,91092	-3,20766
143	Giron	Rumipamba	43	80	702685,1956	9645241,8711	-79,17599	-3,20794
144	Giron	El Rodeo	20	32	706471,6187	9645317,3143	-79,14193	-3,20720
145	Jima	Bura Pamba	47	71	726903,4041	9645817,4447	-78,95814	-3,20232
146	Giron	Pungu Grande	58	176	700648,3312	9646156,5927	-79,19433	-3,19970
147	Jima	Zhamar	83	221	729902,1658	9646368,2782	-78,93118	-3,19729
148	Asuncion	Tuncay	38	116	689226,5216	9646420,7366	-79,29709	-3,19749
149	Giron	El Pungu Chico	45	97	702025,4736	9646499,4307	-79,18194	-3,19658
150	Pucara	Minas	49	182	674547,8277	9646545,1506	-79,42915	-3,19658
151	Jima	Gima	644	1058	726892,5925	9647012,2729	-78,95826	-3,19152
152	Jima	San Pedro de Ganillacta	54	100	728052,3426	9647082,6268	-78,94783	-3,19086
153	Pucara	La Dolorosa de Chuqui	70	242	672859,2190	9647372,7790	-79,44436	-3,18911
154	Pucara	Bretana	54	167	669940,5827	9647679,8282	-79,47062	-3,18638
155	Giron	Leocapag	141	283	703671,0704	9647879,9646	-79,16716	-3,18407
156	San Fernando	Pacay	52	161	696979,9470	9647902,4968	-79,22736	-3,18397
157	Giron	Moisol	32	41	707047,4658	9648002,7921	-79,13679	-3,18290
158	Shaglli	Sarama Grande	64	180	678083,0453	9648077,1292	-79,39737	-3,18267
159	Giron	Leocapag Chico	48	84	704679,3231	9648123,9957	-79,15810	-3,18185
160	Santa Isabel	Huasipamba	60	169	685979,0167	9648218,3453	-79,32633	-3,18128
161	Shaglli	Sarama Chico	93	211	678635,6115	9648466,8794	-79,39240	-3,17914
162	Giron	Parcupamba	40	75	705000,1110	9648468,4300	-79,15521	-3,17873
163	Jima	Pizata	71	136	727757,2890	9648497,5270	-78,95051	-3,17808
164	Jima	Cushig	25	71	731405,5647	9648579,0475	-78,91770	-3,17727
165	Jima	Tacadel	60	177	722932,5518	9648693,0774	-78,99391	-3,17639
166	Giron	Santa Teresita de Sinchay	141	224	707347,1801	9648823,4678	-79,13411	-3,17548
167	Shaglli	San Pablo de Shaglle	149	331	681437,1559	9649005,4653	-79,36720	-3,17423
168	Shaglli	Manzano	83	147	679324,3844	9649328,5729	-79,38622	-3,17134
169	San Gerardo	Cauquil	43	108	701352,2722	9649833,7513	-79,18805	-3,16644





170	San Fernando	Fatima	52	122	694235,3007	9650406,3139	-79,25209	-3,16137
171	Giron	Giron	268	580	706012,9288	9650461,9344	-79,14614	-3,16069
172	Jima	San Vicente	42	74	723948,6609	9650738,6316	-78,98481	-3,15788
173	San Jose de Raranga	Yaquir	20	30	733810,4252	9650861,9997	-78,89611	-3,15659
174	Shaglli	Santa Rosa	26	88	674977,4622	9651013,8038	-79,42535	-3,15616
175	San Gerardo	Santa Ana	21	47	701918,7193	9651110,9556	-79,18298	-3,15488
176	San Jose de Raranga	San Vicente de Gulashi	35	52	725561,3997	9651168,3578	-78,97031	-3,15397
177	San Fernando	San Jose de Nova	28	56	696140,6561	9651233,7185	-79,23496	-3,15386
178	San Gerardo	Bestion	38	99	700576,6878	9651421,9246	-79,19505	-3,15209
179	Giron	Zapata	197	364	709317,4809	9651443,8187	-79,11643	-3,15175
180	Giron	Fatima	45	94	703182,7615	9651472,9591	-79,17161	-3,15159
181	Giron	Pucalpa	58	128	702501,4485	9651537,5656	-79,17774	-3,15102
182	San Jose de Raranga	Banguir	29	79	733905,6883	9651658,2825	-78,89526	-3,14939
183	Giron	El Chorro del Carmen	86	185	704260,9881	9651671,0692	-79,16191	-3,14978
184	San Fernando	San Fernando	360	850	694697,4379	9651702,4031	-79,24795	-3,14965
185	San Gerardo	San Martin Chico	46	90	698021,8962	9651750,4192	-79,21804	-3,14916
186	Giron	Cofradia	180	392	707038,5565	9652214,2580	-79,13694	-3,14482
187	San Jose de Raranga	La Esmeralda	42	64	730445,9747	9652359,0601	-78,92639	-3,14312
188	San Jose de Raranga	Bauril	68	66	726469,2817	9652495,5856	-78,96216	-3,14195
189	Giron	Masta Grande	104	169	709634,7673	9652728,4690	-79,11359	-3,14013
190	San Gerardo	San Gerardo	66	161	699562,4849	9652933,1214	-79,20420	-3,13844
191	San Gerardo	San Martin	36	90	697568,5706	9653057,3575	-79,22214	-3,13735
192	Pucara	Narihui±a	85	290	662986,9237	9653179,9449	-79,53326	-3,13673
193	Giron	Santa Marianita	66	178	707409,1073	9653345,9656	-79,13362	-3,13458
194	Shaglli	Huertas	47	143	678547,7980	9653354,8523	-79,39326	-3,13494
195	Cuchil	Altar Urcu	20	0	743349,6654	9653498,1877	-78,81036	-3,13258
196	Chumblin	Chumblin	70	102	695486,0566	9653794,8863	-79,24088	-3,13071
197	Giron	Huagrín	36	67	702383,7863	9653814,0890	-79,17884	-3,13043
198	San Jose de Raranga	San José de Raranga	524	811	727236,9090	9653827,3352	-78,95528	-3,12990
199	Giron	Celata	47	96	707186,8842	9654199,1830	-79,13564	-3,12687





200	Giron	Portete El Verde	30	59	709364,3477	9654659,3044	-79,11606	-3,12268
201	San Gerardo	Cristal	64	27	698621,6363	9655728,4286	-79,21271	-3,11318
202	Shaglli	Pedernales	52	100	681646,2366	9655733,1476	-79,36542	-3,11339
203	Giron	Portete Chico	38	130	709604,1220	9655972,8829	-79,11392	-3,11080
204	Ludo	Hatobolo	84	150	734214,4489	9656012,6922	-78,89257	-3,11002
205	San Jose de Raranga	La Esperanza	76	49	729610,2298	9656240,9888	-78,93398	-3,10803
206	Shaglli	Hornillos	23	92	676119,4189	9656314,6729	-79,41515	-3,10820
207	Ludo	Serrag	134	227	731699,7759	9656341,5682	-78,91519	-3,10709
208	Shaglli	Chorro Huaycu	25	49	682225,1744	9656850,0613	-79,36022	-3,10328
209	Ludo	Cashapungru	138	251	733268,0114	9657065,1630	-78,90110	-3,10052
210	Camilo Ponce Enriquez	La Lspez	51	275	641262,5072	9658269,5482	-79,72878	-3,09095
211	Cuchil	Satunsaray	58	112	744215,1177	9658348,4439	-78,80267	-3,08872
212	Ludo	Morocho Quingua	41	61	733207,8078	9658400,7675	-78,90166	-3,08844
213	Ludo	Virgen Pamba	86	115	735560,5086	9658666,8248	-78,88051	-3,08600
214	Cuchil	Zhidcay	36	30	745686,0926	9658778,3454	-78,78945	-3,08480
215	Cuchil	Quimandel	65	105	743850,8230	9658958,5920	-78,80596	-3,08321
216	Ludo	Rosas Pamba	29	44	735898,4358	9659089,8843	-78,87748	-3,08216
217	Cuchil	San Antonio de Jacarcar	116	198	741097,6092	9659123,5821	-78,83072	-3,08177
218	Ludo	Ludo	484	799	734267,0795	9659219,1143	-78,89215	-3,08103
219	Ludo	Rumipamba	43	31	733676,6757	9659310,5439	-78,89746	-3,08021
220	Ludo	Buena Vista	118	179	738111,6970	9659360,3620	-78,85758	-3,07968
221	Ludo	Mala Taca	25	65	737188,4535	9659530,5838	-78,86588	-3,07816
222	Ludo	Sarar	114	231	739908,9066	9659683,8404	-78,84142	-3,07672
223	Cuchil	Cuchil	313	510	745068,5393	9659712,5076	-78,79502	-3,07637
224	Ludo	Rodeo	52	107	738876,9815	9659912,2950	-78,85070	-3,07468
225	Cuchil	Quinchote	29	81	744453,0760	9660019,1438	-78,80056	-3,07361
226	Ludo	Capishaca	73	141	734507,4687	9660082,9534	-78,89000	-3,07321
227	Sigsig	Sondeleg	59	106	746754,0315	9660560,2865	-78,77988	-3,06867
228	Ludo	Crpa	21	34	738580,5930	9660814,9391	-78,85339	-3,06652



229	Ludo	Collana	107	130	735459,5122	9660832,9089	-78,88145	-3,06641
230	Pucara	Gena	27	150	652204,1465	9660891,6272	-79,63036	-3,06711
231	Sigsig	Dacte	103	238	746455,2929	9661118,0300	-78,78257	-3,06364
232	Sigsig	Tasqui	107	116	743874,9019	9661206,6957	-78,80578	-3,06288
233	Camilo Ponce Enriquez	Ponce Enrriquez	1132	3020	639433,7818	9661445,9018	-79,74526	-3,06224
234	Camilo Ponce Enriquez	San Francisco de Muyuyacu	54	233	642521,2362	9661538,2194	-79,71749	-3,06137
235	Sigsig	Pueblo Viejo	43	96	748098,9881	9661568,7741	-78,76780	-3,05953
236	Sigsig	Callancay	53	111	746919,4138	9661747,3910	-78,77841	-3,05794
237	Sigsig	Sigsig	1029	1683	745383,9273	9662121,8942	-78,79223	-3,05458
238	Sigsig	Palupamba	48	78	744048,7736	9662148,9975	-78,80423	-3,05436
239	Camilo Ponce Enriquez	Santa Martha	73	225	646157,4194	9662207,0415	-79,68478	-3,05528
240	Sigsig	Gutseg	152	256	740837,5257	9662230,1191	-78,83311	-3,05369
241	Sigsig	Portul	46	88	747237,2495	9662707,9739	-78,77557	-3,04925
242	Sigsig	Curpon	113	251	746218,9586	9662822,7705	-78,78473	-3,04823
243	Sigsig	Tullupamba	96	222	743066,7029	9662912,4179	-78,81308	-3,04748
244	Pucara	San Gerardo	99	332	651545,1966	9662975,9327	-79,63631	-3,04827
245	Pucara	San Juan de Naranjilla	106	355	654848,9409	9662983,6753	-79,60659	-3,04816
246	Ludo	Tuctu	28	62	736485,1781	9662995,0187	-78,87227	-3,04685
247	Sigsig	Pucundel	43	53	742218,4301	9663416,5557	-78,82072	-3,04293
248	Pucara	La Unisn	21	85	650180,9687	9663443,0066	-79,64859	-3,04406
249	Shaglli	Cebadas	56	144	672979,5289	9663520,6476	-79,44349	-3,04308
250	Sigsig	Puchon	255	489	746503,7795	9663577,4967	-78,78218	-3,04140
251	Sigsig	Narig	192	288	744278,3405	9663716,3748	-78,80220	-3,04019
252	Sigsig	Shotor	175	477	746969,9826	9664306,5037	-78,77800	-3,03480
253	Camilo Ponce Enriquez	La Independencia	203	684	640698,0634	9664351,5514	-79,73392	-3,03594
254	Sigsig	Piblia	63	151	746109,2477	9664637,5182	-78,78575	-3,03182
255	El Carmen de Pijili	Mangan	42	100	671230,0180	9665089,6730	-79,45925	-3,02891





256	Sigsig	Chophsi	40	53	743821,9392	9665158,6062	-78,80633	-3,02716
257	San Bartolome	Guardeleg	38	99	736676,5186	9665193,4379	-78,87059	-3,02697
258	Principal	Principal	262	459	750094,5960	9665248,3502	-78,74992	-3,02623
259	San Bartolome	Taguan	30	80	738699,9702	9665487,2386	-78,85240	-3,02428
260	Pucara	Pucul	30	137	661122,5162	9665507,6497	-79,55018	-3,02526
261	Guel	Cuchibuzo	75	134	748305,3272	9665569,4926	-78,76602	-3,02336
262	San Bartolome	Ruisho	123	218	737418,7294	9665805,1857	-78,86392	-3,02143
263	Sigsig	Zhimbrug	138	266	744547,2690	9665811,5671	-78,79982	-3,02124
264	Sigsig	Chacopamba	86	140	745731,4605	9666250,7843	-78,78918	-3,01725
265	Guel	Guel	345	581	748053,1203	9666367,5716	-78,76830	-3,01615
266	Sigsig	Algarrobo	27	52	744440,6907	9666713,9472	-78,80079	-3,01308
267	Sigsig	Pamar	29	59	743355,8139	9666935,9903	-78,81055	-3,01110
268	Principal	Selel	59	200	748697,3669	9667109,9975	-78,76252	-3,00943
269	San Bartolome	San BartolomΘ	940	1630	739451,4637	9667292,1096	-78,84567	-3,00795
270	San Bartolome	Charasn	109	156	741681,6735	9667419,8732	-78,82562	-3,00675
271	San Bartolome	Cruz Loma	23	28	742833,3611	9667429,8248	-78,81526	-3,00664
272	San Bartolome	La Unisn	46	114	743197,1136	9667717,2329	-78,81199	-3,00404
273	Guel	Cachihuaycu	63	142	747718,1749	9668056,2911	-78,77135	-3,00089
274	San Bartolome	Sigsillano	46	97	741718,9698	9668283,2293	-78,82530	-2,99895
275	Luis Galarza Orellana (Delegsol)	Luis Galarza	474	996	748600,9434	9668373,8354	-78,76341	-2,99800
276	Luis Galarza Orellana (Delegsol)	Zhuiquin	141	308	749389,4454	9668715,8336	-78,75633	-2,99490
277	Sigsig	Garau	68	106	745258,7534	9668746,4059	-78,79347	-2,99469
278	San Bartolome	Guag±a	107	225	740838,0056	9668803,3473	-78,83323	-2,99426
279	Sigsig	Piruncay	97	202	744327,5399	9668847,7291	-78,80185	-2,99380
280	Guel	El TablSn	20	36	747261,9973	9668996,2303	-78,77546	-2,99240
281	San Bartolome	Pacchapamba	22	20	739840,1729	9669626,7414	-78,84222	-2,98683
282	San Martin de Puzhio	San Martϕn de Puzhio	252	350	749113,9904	9669672,6698	-78,75882	-2,98625





283	San Juan	Tunsha	76	161	742168,4378	9669751,9066	-78,82128	-2,98566
284	El Carmen de Pijili	Paguancay	42	46	663966,9017	9669833,5271	-79,52464	-2,98610
285	San Juan	Tejeña	24	70	742971,1057	9669882,3902	-78,81407	-2,98447
286	Simon Bolivar (Ganansol)	El Triunfo	35	66	745914,7045	9670199,1385	-78,78760	-2,98155
287	San Martin de Puzhio	Joyapa	124	209	748313,3309	9670265,8567	-78,76603	-2,98090
288	San Juan	Huachanda	42	97	743121,5328	9670540,1121	-78,81272	-2,97852
289	Camilo Ponce Enriquez	Shumiral	505	1702	646047,2004	9670574,2577	-79,68586	-2,97960
290	Zhidmad	Bella Unión	27	48	734790,0816	9670734,1172	-78,88765	-2,97691
291	Simon Bolivar (Ganansol)	El Tejar	24	36	745830,1641	9670821,2406	-78,78837	-2,97593
292	Simon Bolivar (Ganansol)	Gaúausol	72	73	746581,0196	9670841,7087	-78,78162	-2,97573
293	Simon Bolivar (Ganansol)	Chupacaj	50	48	746074,0357	9671188,9874	-78,78619	-2,97260
294	San Juan	Bacpancel	69	194	739224,1153	9671351,3876	-78,84779	-2,97125
295	San Juan	Zaractar	84	204	743962,8648	9671365,0794	-78,80517	-2,97104
296	Simon Bolivar (Ganansol)	Parpar	88	124	746289,1067	9671508,0971	-78,78426	-2,96971
297	San Juan	Guizadel	104	292	741398,3936	9671588,1010	-78,82824	-2,96907
298	Simon Bolivar (Ganansol)	Cosacopte	77	148	744685,7162	9671832,8985	-78,79868	-2,96680
299	San Juan	San Juan	1095	2629	742868,5047	9671891,6367	-78,81502	-2,96630
300	El Carmen de Pijili	El Carmen de Pijili	106	201	664232,0302	9672210,2467	-79,52229	-2,96460
301	Zhidmad	Huasisupana	33	92	735062,5522	9672334,4995	-78,88523	-2,96244
302	Chordeleg	Zoransol	94	233	747872,0483	9672537,6442	-78,77004	-2,96037
303	Zhidmad	Monjaspamba	94	242	734232,7666	9672698,7230	-78,89269	-2,95916
304	Simon Bolivar (Ganansol)	Ganzhón	126	262	745578,2903	9672939,2304	-78,79068	-2,95678
305	Chordeleg	Porrión	72	90	746612,1517	9673161,4724	-78,78138	-2,95476
306	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Chaucan	102	32	754350,9216	9673213,8509	-78,71180	-2,95414
307	Zhidmad	Chilla Gordeleg	80	135	732730,1521	9673483,1325	-78,90622	-2,95209
308	El Carmen de Pijili	Rosa de Oro	20	80	663478,1483	9673616,1135	-79,52909	-2,95189
309	San Juan	Pirca Grande	74	200	742380,1230	9673796,4659	-78,81945	-2,94909



310	San Juan	Uzhar	86	199	744475,1369	9674171,2826	-78,80062	-2,94567
311	San Juan	San Antonio	34	89	745169,5960	9674475,1809	-78,79438	-2,94291
312	Chordeleg	Shondeleg	105	266	747414,0995	9674656,1259	-78,77420	-2,94123
313	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Ingamullo	32	109	753028,7966	9674805,4632	-78,72372	-2,93978
314	La Union (Chordeleg)	El Quinche	157	392	748388,2014	9674863,6252	-78,76544	-2,93934
315	Chordeleg	Zhio	98	257	745348,2185	9674880,0137	-78,79278	-2,93924
316	Zhidmad	Gordeleg	49	69	732355,5369	9675001,1807	-78,90961	-2,93837
317	Zhidmad	San José de Dalcote	112	219	736692,4506	9675195,5733	-78,87062	-2,93654
318	San Juan	San Miguel	51	121	744187,1124	9675368,5076	-78,80323	-2,93485
319	La Union (Chordeleg)	Turapalte	119	231	749521,5868	9675435,5432	-78,75526	-2,93415
320	La Union (Chordeleg)	Zhabalula	87	222	748401,6647	9675765,1842	-78,76534	-2,93119
321	La Union (Chordeleg)	Musmus	44	116	747819,3858	9675801,9215	-78,77058	-2,93086
322	Chordeleg	Capillapamba	83	210	746162,4569	9675972,6409	-78,78548	-2,92935
323	Zhidmad	Zhidmad	301	502	733572,3366	9675999,8022	-78,89869	-2,92932
324	Gualaceo	Llintig	191	422	743780,2215	9676046,7475	-78,80690	-2,92872
325	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Gulag Grande	76	165	750042,3894	9676194,2789	-78,75059	-2,92728
326	Zhidmad	Dalcote Chico	93	166	735428,3773	9676252,9323	-78,88200	-2,92700
327	La Union (Chordeleg)	La Union	207	460	748724,9756	9676450,5746	-78,76244	-2,92498
328	Jadan	Tablon	38	49	737865,7989	9676705,8618	-78,86009	-2,92287
329	Gualaceo	La Arcadia	26	65	745434,9412	9676713,9032	-78,79203	-2,92266
330	Zhidmad	Cashapata	22	21	735089,0574	9676741,6600	-78,88506	-2,92259
331	Gualaceo	Maitur Grande	59	108	742770,9366	9676748,3021	-78,81599	-2,92240
332	Zhidmad	Huandug	41	55	733874,9730	9676826,9062	-78,89598	-2,92184
333	Jadan	Cutacay	21	18	736717,8669	9676849,1244	-78,87042	-2,92159
334	Gualaceo	Cristo Rey	111	211	743545,8667	9677067,6288	-78,80902	-2,91950
335	Chordeleg	Tamaute	36	75	746502,7135	9677106,0507	-78,78244	-2,91910
336	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Gulag Centro	90	155	749709,3599	9677136,0671	-78,75361	-2,91877





337	Gualaceo	Datacsi	80	193	742709,8913	9677228,6595	-78,81654	-2,91806
338	Chordeleg	Ramos	70	189	747817,9635	9677322,1633	-78,77062	-2,91712
339	Zhidmad	Guayñn	43	69	734021,2001	9677359,3051	-78,89467	-2,91703
340	Jadan	El Carmen de Jadan	200	337	736477,9722	9677374,6480	-78,87258	-2,91685
341	Chordeleg	Cashalao	75	185	747568,5391	9677553,7086	-78,77286	-2,91503
342	Gualaceo	Nallig	118	291	746243,3536	9677825,1092	-78,78478	-2,91260
343	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Shiquil	70	118	748420,4268	9678221,4691	-78,76521	-2,90898
344	Gualaceo	Ayaloma	64	174	744545,5364	9678263,5475	-78,80006	-2,90867
345	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Huinzhun Alto	93	134	750006,6977	9678263,5525	-78,75095	-2,90857
346	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Huinzhun Bajo	69	158	749440,6860	9678278,8592	-78,75604	-2,90844
347	Gualaceo	Chiquintur	87	93	746422,0954	9678429,6118	-78,78319	-2,90713
348	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Guallmincay	44	78	747463,0978	9678470,9191	-78,77383	-2,90674
349	Gualaceo	Maripamba	41	107	743998,8237	9678663,2695	-78,80498	-2,90507
350	Gualaceo	Quimzhi	140	307	745665,5071	9678750,6187	-78,78999	-2,90425
351	Jadan	Granda	122	249	736420,5886	9678899,8156	-78,87313	-2,90306
352	Remigio Crespo Toral (Gulag)	Las Nieves	38	107	748207,3908	9679010,8929	-78,76714	-2,90185
353	Luis Cordero Vega	Uchucay	86	28	754062,4732	9679228,3459	-78,71450	-2,89978
354	Luis Cordero Vega	San Francisco	77	237	749085,4362	9679312,1607	-78,75926	-2,89911
355	Jadan	Huacashun	42	109	736379,5230	9679377,6562	-78,87350	-2,89874
356	Luis Cordero Vega	Luis Cordero Vega	478	952	750132,8410	9679873,0846	-78,74985	-2,89402
357	Gualaceo	Gualaceo	894	2263	746774,0000	9680345,0000	-78,78014	-2,88978
358	Jadan	Soyala	32	59	735715,3326	9679925,3226	-78,87948	-2,89380
359	Jadan	Jadan	740	1727	736018,7454	9680452,8199	-78,87676	-2,88902
360	Luis Cordero Vega	Cabsha	87	140	748073,4990	9680461,6474	-78,76837	-2,88874
361	Jadan	Pucamuro	33	76	737748,4476	9680486,7962	-78,86121	-2,88869
362	Jadan	Lulcay	22	27	736783,0509	9680703,7599	-78,86990	-2,88674
363	Gualaceo	Jumpiran	33	51	745546,9091	9681217,9928	-78,79110	-2,88194
364	Luis Cordero Vega	Huazhalan	98	221	749780,9369	9681228,1380	-78,75304	-2,88178





365	Jadan	Santa Rosa de Chichin	67	180	740130,9827	9681385,3560	-78,83980	-2,88052
366	Luis Cordero Vega	Chahuar Loma	99	213	749597,3317	9681480,6128	-78,75469	-2,87950
367	Daniel Cordova	Zharban	73	132	751718,1879	9681482,6998	-78,73562	-2,87944
368	Jadan	El Progreso	40	69	735888,3814	9681584,5678	-78,87796	-2,87879
369	Gualaceo	Barrio Lindo	51	129	747357,0646	9681589,4098	-78,77484	-2,87855
370	Gualaceo	Bulzhun	172	433	746309,8888	9681848,3057	-78,78426	-2,87623
371	Daniel Cordova	Daniel Cordova	339	672	750878,4119	9681978,0404	-78,74318	-2,87498
372	Jadan	Vegas Pamba	29	62	736544,5681	9681987,5471	-78,87206	-2,87514
373	Gualaceo	Cahuashun Grande	110	348	743870,6973	9682090,7901	-78,80619	-2,87408
374	Daniel Cordova	Rosario Pamba	71	178	751681,3667	9682329,0003	-78,73597	-2,87179
375	San Vicente	Collay Grande	41	0	762623,2241	9682548,1940	-78,63760	-2,86961
376	Mariano Moreno	San Vicente	25	76	749844,1286	9682630,5828	-78,75249	-2,86910
377	Gualaceo	Bullcay El Carmen	360	1071	746671,2245	9682691,7686	-78,78102	-2,86860
378	Jadan	San Juan Pamba	53	100	741080,7929	9682702,7385	-78,83129	-2,86860
379	Mariano Moreno	Certag	83	253	748089,6384	9682930,0567	-78,76827	-2,86642
380	Gualaceo	Bullcay San Pedro	83	241	746977,0901	9683048,7827	-78,77828	-2,86537
381	Daniel Cordova	Pagran	271	729	751623,5963	9683105,2364	-78,73650	-2,86477
382	Gualaceo	San Pedro de Los Olivos	57	163	744819,0390	9683132,9844	-78,79768	-2,86464
383	Mariano Moreno	Sondeleg	69	150	748908,2607	9683164,7999	-78,76092	-2,86428
384	Mariano Moreno	San Gerardo	48	140	749521,6049	9683398,8994	-78,75541	-2,86216
385	Gualaceo	Cahuash-n	164	399	744230,5264	9683564,1393	-78,80298	-2,86076
386	Mariano Moreno	Yuquin	84	145	750731,1293	9684055,1549	-78,74454	-2,85620
387	El Cabo	Lugmapamba	59	90	743796,4940	9684059,0981	-78,80689	-2,85629
388	Mariano Moreno	Mariano Moreno	351	660	752461,7824	9684077,4285	-78,72898	-2,85597
389	Mariano Moreno	Callazay	56	79	752270,6425	9684292,9748	-78,73071	-2,85403
390	San Vicente	Collay Chico	20	0	763101,9639	9684516,4274	-78,63333	-2,85181



391	El Cabo	El Cabo	460	1020	746911,9250	9684638,1656	-78,77889	-2,85100
392	El Cabo	Bellavista	51	154	746014,9892	9684791,0599	-78,78696	-2,84963
393	Chican	Uzhupud	242	719	748412,7019	9685247,4016	-78,76541	-2,84547
394	San Vicente	La Merced	401	544	758768,8088	9685653,2702	-78,67231	-2,84161
395	San Vicente	Huagra Rancho	25	0	764616,9185	9685664,4464	-78,61973	-2,84140
396	San Cristobal	Pastopamba	67	122	738579,2812	9685840,1135	-78,85383	-2,84028
397	El Cabo	Tacapamba	150	249	746073,4829	9685968,0263	-78,78645	-2,83899
398	Mariano Moreno	Guapan	45	127	751572,7472	9686022,3256	-78,73701	-2,83840
399	Mariano Moreno	Zhordan	270	497	753846,4904	9686421,2929	-78,71658	-2,83476
400	San Cristobal	Malpata	40	85	740317,7755	9686518,0759	-78,83821	-2,83412
401	San Cristobal	El Descanso	21	51	736588,7165	9686623,5009	-78,87174	-2,83323
402	Chican	Uzhupud	27	93	749150,8348	9686798,5141	-78,75880	-2,83143
403	El Cabo	La Higuera	102	370	747076,1041	9686827,4160	-78,77745	-2,83121
404	San Vicente	Gausalpugru	486	574	759220,4562	9686836,5117	-78,66827	-2,83091
405	San Cristobal	La Ramada	68	208	738572,3753	9686864,7414	-78,85391	-2,83101
406	San Cristobal	La Victoria	64	133	736689,6493	9687081,1591	-78,87084	-2,82909
407	San Cristobal	Dos Cruces	35	73	739580,4666	9687106,8917	-78,84485	-2,82881
408	San Cristobal	Huachun	108	185	738199,8484	9687257,8983	-78,85727	-2,82746
409	San Vicente	La Nube	98	164	759565,9427	9687293,8921	-78,66517	-2,82677
410	San Vicente	Santa Teresita	202	323	761525,8643	9687342,2280	-78,64755	-2,82629
411	San Cristobal	San Cristobal	351	737	740916,2082	9687368,2326	-78,83285	-2,82642
412	Paute	Villa Flor	152	223	745270,1083	9687494,6878	-78,79370	-2,82520
413	San Cristobal	Gaguir	36	86	739680,0892	9687770,0650	-78,84397	-2,82281
414	Chican	Chican	353	748	748893,3039	9688027,8663	-78,76114	-2,82032
415	Chican	Huacarrumi	124	261	749532,7077	9688169,5065	-78,75539	-2,81903
416	Sevilla de Oro	San Bartolomé	87	181	761942,9365	9688506,2151	-78,64382	-2,81576





417	Chican	Cobshal	247	498	750679,2396	9689073,3780	-78,74510	-2,81084
418	Paute	Zhumir	177	397	747613,4756	9689573,6053	-78,77267	-2,80637
419	Paute	Vante Chico	36	41	746340,7827	9689701,7149	-78,78411	-2,80523
420	Paute	Vante Grande	103	186	743792,2867	9689878,5249	-78,80703	-2,80368
421	San Vicente	Latina	73	121	759920,3897	9689895,1793	-78,66203	-2,80325
422	Sevilla de Oro	Sevilla de Oro	92	272	761760,8929	9690200,4327	-78,64549	-2,80045
423	El Pan	Cedropamba	55	80	759815,0069	9690280,6398	-78,66299	-2,79976
424	Chican	Agua Blanca	96	211	749740,7906	9690437,0248	-78,75356	-2,79853
425	El Pan	Tulapa	24	58	759059,8915	9690513,6414	-78,66978	-2,79767
426	Paute	Pirincay	57	128	747946,5095	9690598,9933	-78,76969	-2,79709
427	Guachapala	Andacochoa	20	16	754319,3495	9691017,1993	-78,71241	-2,79320
428	Paute	Pucaloma	107	266	746185,5306	9691058,0926	-78,78553	-2,79297
429	Guachapala	Guasag	74	152	754446,9951	9691484,6836	-78,71127	-2,78897
430	Sevilla de Oro	La Unión	227	411	761702,0836	9691517,0500	-78,64604	-2,78855
431	El Pan	El Pan	145	238	759678,8596	9691541,1408	-78,66423	-2,78837
432	Chican	Algarrobo	36	63	749590,2357	9691654,1318	-78,75493	-2,78753
433	Chican	Maras	141	239	750516,8715	9691910,0597	-78,74661	-2,78520
434	Guachapala	Guablid	121	257	755528,7159	9692162,5200	-78,70155	-2,78283
435	Chican	Sashiu	34	78	751457,4285	9692257,0929	-78,73816	-2,78204
436	Guachapala	Agliñn	75	174	754741,1560	9692485,8606	-78,70864	-2,77992
437	Paute	Pirincay Alto	75	105	747945,2287	9692607,7376	-78,76974	-2,77893
438	Paute	Marco Loma	127	183	746198,8229	9692642,1116	-78,78544	-2,77865
439	Paute	Paute	246	315	749547,0137	9692830,8026	-78,75534	-2,77689
440	Paute	Calvario	57	153	747997,4290	9692925,2344	-78,76927	-2,77606
441	Sevilla de Oro	Cayguas	35	49	761043,3152	9693010,4678	-78,65199	-2,77506
442	El Pan	Cuipamba	34	55	760191,9396	9693050,6975	-78,65965	-2,77472
443	Guachapala	Guachapala	232	443	754892,4261	9693180,3149	-78,70729	-2,77364



444	Guachapala	Pari	81	169	751268,3295	9693226,0876	-78,73987	-2,77329
445	Guachapala	Chigtyg	81	196	751228,9107	9693737,2774	-78,74024	-2,76867
446	El Pan	San Francisco	97	141	759536,8764	9693813,2539	-78,66555	-2,76784
447	Sevilla de Oro	Osorancho	70	149	761292,3751	9694126,3677	-78,64977	-2,76497
448	Guachapala	Sacre	123	246	757104,2931	9694289,0405	-78,68743	-2,76358
449	Guachapala	San Pedro	43	51	753582,0485	9694416,8694	-78,71909	-2,76248
450	Paute	Guayñn	154	295	747738,0592	9694487,7083	-78,77163	-2,76194
451	Guachapala	Musaray	28	61	757531,6739	9694717,2389	-78,68359	-2,75970
452	Guachapala	Monjas	33	68	754662,3212	9694745,6837	-78,70939	-2,75949
453	Guachapala	Nunurcu	32	41	759048,8133	9695222,4007	-78,66996	-2,75511
454	Paute	Tejar	108	227	749289,7146	9695673,2260	-78,75770	-2,75120
455	Bulan	Mal Paso	21	50	748079,0203	9695757,2489	-78,76859	-2,75046
456	El Pan	Tabla	48	48	760978,7564	9696157,7898	-78,65263	-2,74662
457	Guachapala	Chalhuayacu	70	71	759568,4108	9696303,8933	-78,66531	-2,74532
458	Dug dug	Dug-dug	226	526	753024,4608	9696347,8769	-78,72414	-2,74504
459	Tomebamba	Tomebamba	155	390	758267,3738	9696506,9092	-78,67701	-2,74351
460	Bulan	Voluntad de Dios	74	97	746535,7766	9696702,5660	-78,78248	-2,74194
461	Bulan	Suman	100	310	748495,9501	9696834,8975	-78,76486	-2,74071
462	Bulan	Tuntac	58	114	747306,3770	9697014,8742	-78,77556	-2,73910
463	Guachapala	Don Julo	35	71	760818,1852	9697057,0009	-78,65409	-2,73849
464	Dug dug	Cogollahuaycu	75	179	754854,8821	9697081,2183	-78,70770	-2,73838
465	Dug dug	Lazul	119	253	752615,7901	9697445,6059	-78,72783	-2,73512
466	Tomebamba	Sintincay	61	176	758517,2490	9697508,5895	-78,67478	-2,73445
467	Bulan	Bulan	294	740	747093,7854	9697658,6264	-78,77748	-2,73329
468	Tomebamba	Santul	56	118	759683,8763	9697812,4904	-78,66430	-2,73168
469	Dug dug	Gunog	73	160	754515,6828	9697827,7677	-78,71076	-2,73163
470	Tomebamba	Naste	58	196	758320,4828	9697861,5811	-78,67656	-2,73126





471	Bulan	Tambillo	71	125	746634,8885	9698009,6418	-78,78161	-2,73012
472	Dug dug	Huachi	117	294	753324,6529	9698364,5907	-78,72147	-2,72680
473	Tomebamba	Toctehuaycu	43	105	760426,3002	9698429,9882	-78,65763	-2,72609
474	Guachapala	Las Juntas	34	71	761460,9880	9698710,8206	-78,64834	-2,72353
475	Bulan	Tablacay	53	146	748322,9182	9698974,9604	-78,76645	-2,72137
476	Palmas	Palmas	348	689	763123,0927	9699513,7676	-78,63341	-2,71624
477	Tomebamba	Tuncay	59	94	761444,4278	9699802,8036	-78,64851	-2,71366
478	Bulan	Padre Urcu	72	224	748319,9931	9699932,0309	-78,76649	-2,71272
479	Palmas	Cruz Pamba	87	176	763749,8359	9700187,9214	-78,62779	-2,71014
480	Guarainag	Las Juntas	131	203	762287,6931	9700806,3008	-78,64094	-2,70457
481	Tomebamba	Tuncay Alto	103	219	759277,2809	9701360,2860	-78,66801	-2,69962
482	Guarainag	Llamacon	113	170	762119,5995	9702050,6604	-78,64248	-2,69333
483	Palmas	Chalacay	156	286	765162,4652	9702251,7068	-78,61513	-2,69146
484	Bulan	Chiguin	20	14	747368,2247	9702779,2099	-78,77509	-2,68699
485	Guarainag	Selel	59	86	763227,6429	9703262,9023	-78,63254	-2,68235
486	Palmas	Osoyacu	229	362	766117,6286	9704170,3033	-78,60658	-2,67410
487	Guarainag	Bella Union	21	24	764401,1789	9704306,6263	-78,62201	-2,67290
488	Palmas	Jurupillos	60	184	765850,4818	9704996,8660	-78,60899	-2,66663
489	Guarainag	Guarainag	215	533	763312,8920	9705461,7498	-78,63181	-2,66247
490	Guarainag	Coyal Alto	38	31	763227,1066	9707099,0556	-78,63261	-2,64767
491	Palmas	Jordán	79	259	765882,8117	9707103,2199	-78,60874	-2,64759
492	Guarainag	Sahuapirca	21	35	764701,5218	9707363,4166	-78,61936	-2,64526
493	Amaluza	Paguancay	27	96	766437,9757	9708405,5057	-78,60377	-2,63581
494	Amaluza	Santa Rita	107	192	765476,0615	9709705,3954	-78,61244	-2,62408
495	Amaluza	La Ermita	45	106	764880,2138	9712564,6841	-78,61784	-2,59824
496	Amaluza	San Pablo	30	101	766542,1344	9713167,8765	-78,60292	-2,59276
497	Amaluza	Peñas Coloradas	30	50	769967,5317	9713389,7363	-78,57213	-2,59070
498	Amaluza	Cola de San Pablo	80	120	770150,5099	9714343,7180	-78,57051	-2,58207
499	Amaluza	Guarumales	92	208	778251,6685	9714780,6449	-78,49770	-2,57798
500	Amaluza	Arenales	77	73	770384,2636	9715874,2727	-78,56843	-2,56823