

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

TITULO: “*PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*”

Santiago Federico Sghirla Magno

Tesis previa la obtención del título de Maestría en Ciencias de Información Geográfica.

Quito

Junio de 2011

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Postgrados**

HOJA DE APROBACION DE TESIS

***“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DEL
MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS DE LA
REPUBLICA DEL ECUADOR”***

Santiago Federico Sghirla Magno

RICHARD RESL
Director de Tesis
Miembro del Comité de tesis

PABLO...
Miembro del comité de Tesis

STELLA...
Miembro del comité de Tesis

VICTOR...
Decano del Colegio de Ciencias
De Información Geográfica

Profesor 5
Decano del colegio de postgrados

Quito, junio de 2011

© Derechos de autor

Santiago Federico Sghirla Magno

2011

DEDICATORIA

A

Mis Padres, mis hermanos
y a Carla por su paciencia y apoyo

AGRADECIMIENTO

EL autor desea expresar su profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo.

A los miembros de la Compañía Consultora AGROPRECISION Cia. Ltda., Hernán Velásquez, Darío Boada, Jhonny Rodríguez, José Luis Navarrete, Carolina Rendón, Pamela Haro y Javier Zambrano, quienes que se tomaron este proyecto como un asunto personal, por sus importantes aportes.

A Ediltrudis Mendoza por su desinteresado apoyo en la temática de análisis de suelos en laboratorio, valiosos criterios que se aplicaron en la fase de campo.

A la Superintendencia de Telecomunicaciones-SUPERTEL y en especial al Ing. Gustavo Orna e Ing. Franklin Córdor quienes son los usuarios finales de la información, por la apertura y confianza brindada.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.1. Antecedentes.....	¡Error! Marcador no definido.
2. OBJETIVO GENERAL	11
2.1. Objetivos Específicos	11
3. REVISIÓN DE LITERATURA	11
3.1. FACTORES ABIÓTICO DE INTERVIENEN EN LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE LOS SUELOS	12
3.1.1. Clima.....	12
3.1.1.1. Temperatura	12
3.1.1.2. Humedad.....	13
3.1.2. Geología.....	14
3.1.3. Geomorfología.....	14
3.1.4. Los Suelos	15
3.1.4.1. Salinidad de los suelos.....	16
3.1.4.1.1. Ciclo continentales:	17
3.1.4.1.2. Ciclos marinos de acumulación de sales:.....	17
3.1.4.1.3. Ciclos deltaicos de acumulación de sales:	17
3.1.4.1.4. Ciclos artesianos.....	18
3.1.4.1.5. Ciclos antropogénicos.....	18
3.1.5. Conductividad Eléctrica de los suelos	18
3.1.6. Textura del Suelo.....	19
3.1.7. El Uso Actual de los suelos.....	20
3.1.8. Riego.....	20
4. METODOLOGÍA	22
4.1. Flujograma del proceso	23
4.2. Tratamiento de la información secundaria.....	23
4.3. Establecimiento de Mapas de Aproximación de Conductividad Eléctrica de los Suelos del Ecuador	29
4.3.1. Clima.....	29
4.3.1.1. Temperatura	29
4.3.1.2. Humedad.....	35
4.3.2. Geología.....	41
4.3.3. Geomorfología.....	42
4.3.4. Suelos - Textura.....	47
4.3.5. Uso Actual.....	52

4.4. Obtención en Campo de Valores de Conductividad Eléctrica de los Suelos.	54
4.4.1. Levantamiento de Información en campo	55
4.4.1.1. <i>Materiales</i>	55
4.4.1.2. <i>Reactivos</i>	55
4.4.1.3. <i>Proceso Estipulado de Muestreo</i>	55
4.4.1.4. <i>Matriz para la recopilación de información</i>	56
4.4.2. Metodología de muestreo.....	56
4.5. Elaboración del mapa de Conductividad Eléctrica-CE	59
5. RESULTADOS.....	70
5.1. Mapa de conductividad eléctrica de los suelos	70
5.1.1. Mapa de Conductividad Eléctrica Archipiélago de Galápagos.....	73
6. CONCLUSIONES.....	88
7. RECOMENDACIONES.....	88
8. BIBLIOGRAFÍA	89

TABLA DE CUADROS

CUADRO 1. MATRIZ PARA EL INGRESO DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	24
CUADRO 2. REGÍMENES DE TEMPERATURA DEL SUELO Y RANGO.	31
CUADRO 3. REGÍMENES DE TEMPERATURA DEL SUELO Y RANGO.	32
CUADRO 4. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE GEOMORFOLÓGICAS Y CÓDIGO DEL MAPA.	43
CUADRO 5. RANGOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN BASE AL TIPO DE PARTÍCULA DEL SUELO.	48
CUADRO 6. TABLA DE DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE TEXTURAS, CODIFICACIÓN Y AGRUPACIÓN POR TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	49
CUADRO 7. PORCENTAJE DE ARCILLA CONTENIDO EN LAS DIFERENTES CLASES TEXTURALES.....	50
CUADRO 8. RANGOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN BASE AL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL SUELO ESTIMADO.	50
CUADRO 9. MATRIZ DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO.	56

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1. FLUJOGRAMA DEL PROCESO REALIZADO EN LA OBTENCIÓN DEL MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS DEL LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.	23
FIGURA 2. MATRIZ DE DATOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL DEL SUELO, MS EXCEL.	25
FIGURA 3. DATO DE CONDUCTIVIDAD EN FORMATO SHAPEFILE, ENTIDAD PUNTOS, DESPLAZADO POR DATUM	26
FIGURA 4. MATRIZ DE DATOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS, INTEGRADOS EN UNA GEODATABASE.	27
FIGURA 5. TABLA DE ATRIBUTOS DEL ARCHIVO INTEGRADO DE TODA LA INFORMACIÓN SECUNDARIA.	28
FIGURA 6. VISUALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE OBSERVACIÓN CON VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.	28
FIGURA 7. ESTACIONES METEOROLÓGICAS UBICADAS EN EL TERRITORIO ECUATORIANO CONTINENTAL; IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.	29
FIGURA 8. INTERPOLACIÓN MÉTODO DE KRIGING PARA TEMPERATURA MEDIA ANUAL IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.	31
FIGURA 9. RESULTADO DE INTERPOLACIÓN MÉTODO DE KRIGING PARA TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES. IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.....	34
FIGURA 10. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL DEL AIRE, OBTENIDO MEDIANTE INTERPOLACIÓN DE LAS TEMPERATURAS PROMEDIO ANUAL DE VARIAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS UBICADAS A NIVEL NACIONAL. IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.	35
FIGURA 11. COBERTURA DE ISOYETAS ESCALA 1:250 000 IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.	36
FIGURA 12. COBERTURA DE MESES SECOS O DÉFICIT HÍDRICO DEL PROYECTO IICA-MAG-CLIRSEN 2002.	37
FIGURA 13. MAPA DE DÉFICIT HÍDRICO MEDIO ANUAL ESCALA 1:1 000 000 DE PRONAREG-ORSTOM 1983.	38
FIGURA 14. MAPA DE DÉFICIT HÍDRICO MEDIO MENSUAL ESCALA 1:1 000 000 DE PRONAREG-ORSTOM.	39
FIGURA 15. MAPA BIOCLIMÁTICO NACIONAL PRONAREG-ORSTOM AÑO 1978.....	40
FIGURA 16. MAPA DE CLASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICO NACIONAL PROVINCIA DE GALÁPAGOS PRONAREG-ORSTOM AÑO 1978.	40
FIGURA 17. LEYENDA TEMÁTICA DEL MAPA DE CLASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA, PRONAREG-ORSTOM AÑO 1978.	41
FIGURA 18. MAPA GEOLÓGICO NACIONAL DE 1982 GEORREFERENCIADO EN EL SISTEMA DE REFERENCIA WGS 84.	42
FIGURA 19. COBERTURA GEOMORFOLÓGICA EN FORMATO SHAPEFILE SISTEMA WGS 84.	45
FIGURA 20. TABLA DE ATRIBUTOS DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS AGRUPADAS CON LAS CARACTERÍSTICAS DE SUELOS.	46
FIGURA 21. COBERTURA GEOMORFOLÓGICA CON UNIDADES AGRUPADAS Y CARACTERÍSTICAS DE SUELOS.	46
FIGURA 22. MAPA DE PAISAJES FÍSICOS.....	47
FIGURA 23. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EN LA TABLA DE ATRIBUTOS	51
FIGURA 24. COBERTURA DE TEXTURA DEL SUELO CON LOS RANGOS DE CONDUCTIVIDAD PRELIMINAR.	52
FIGURA 25. COBERTURA DE USO DEL SUELO FORMATO SHAPEFILE.....	53
FIGURA 26. COBERTURA DE IMÁGENES LANDSAT 7 TM AÑO 2000 UTILIZADAS PARA LA TEMÁTICA USO DE SUELO.	54
FIGURA 27. EQUIPO UTILIZADO PARA NAVEGAR EN TIEMPO REAL SOBRE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA GEORREFERENCIADA	57
FIGURA 28. ASISTENTE QUE DETERMINA EL SITIO DE MUESTREO ANALIZANDO LA INFORMACIÓN DISPONIBLE.	57

FIGURA 29. SENSOR DE MEDICIÓN UTILIZADO EN EL PROYECTO, GPS NAVEGADOR Y FICHA.	58
FIGURA 30. HUMEDECIMIENTO DEL SUELO CON AGUA DESTILADA Y LECTURA CON SENSOR.	59
FIGURA 31. UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN CAMPO.	60
FIGURA 32. UBICACIÓN DE LA INFORMACIÓN MUESTREADA EN CAMPO Y LA INFORMACIÓN SECUNDARIA. ..	61
FIGURA 33. COBERTURA GEOMORFOLÓGICA CON LOS MUESTREOS DE CAMPO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	62
FIGURA 34. SELECCIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS PARA ANÁLISIS.....	63
FIGURA 35. COBERTURA GEOMORFOLÓGICA CON PUNTOS DE VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS.....	64
FIGURA 36. COBERTURA GEOLÓGICA CON LOS PUNTOS DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA....	65
FIGURA 37. COBERTURA DE CLASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA CON LOS PUNTOS DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	66
FIGURA 38. COBERTURA SRTM CON LOS PUNTOS DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.	67
FIGURA 39. COBERTURA DE USO DEL SUELO (AÑO 2000) CON LOS PUNTOS DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	68
FIGURA 40. COBERTURA EDITADA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS CON LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD.	69
FIGURA 41. MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS DEL ECUADOR CONTINENTAL.	71
FIGURA 42. COBERTURA DE CE GENERADA POR MODELAMIENTO ESTADÍSTICO (IZQUIERDA) Y COBERTURA DE CE GENERADA POR MÉTODO ANALÍTICO.	72
FIGURA 43. MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON AMPLIACIÓN AL MAR TERRITORIAL DEL ECUADOR CONTINENTAL.....	73
FIGURA 44. IMAGEN FORMATO *.IMG (RASTER) DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS.	74
FIGURA 45. MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON PROYECCIÓN AL MAR TERRITORIAL DEL ECUADOR INSULAR.....	75

ABSTRACT

This methodological proposal aims to expose an alternative for generating a map of electrical conductivity along the Republic of Ecuador, the objective is to show the flow of actions to obtain coverage which was conducted with limited resources but resulting in an excellent product

The Geographic Information Systems-GIS and other technological options were used to obtain multiple maps in digital format of geology, mineralogy, geomorphology, soils, morphopedology, precipitation, temperature, vegetation and many others, that allowed to achieve an optimal territorial analysis and a with subsequent field test was possible to generate a national coverage map of electrical conductivity scale 1:250 000.

The client and user of this information is the Ecuadorian Telecommunications Regulator Office-Supertel, who hired the consulting company AGROPRECISION Co. Ltd., to develop this project. The technical consultant performed the map and then migrated to the format that allows an Amplitude Modulation-AM wave scattering analysis, also known as medium wave in ICS Telecom software in order to determine the broadcast range of the stations and thus comply with the present law.

The coverage of the electrical conductivity is performed using a geomorphological approach, using large units of landscape as mother units of soils, and using additional parameters such as climate, geology, particle size, irrigation, vegetation and others allowed to subdivide the large blocks into small units of electrical conductivity of soil that were validated in the field, leaving a very consistent value to reality.

RESUMEN

La presente propuesta metodológica pretende exponer una alternativa para la generación de un mapa de conductividad eléctrica de la República del Ecuador, aquí se quiere enseñar el flujo de acciones realizadas para la obtención de una cobertura la cual fue realizada con recursos limitados pero resultando en un excelente producto.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica-SIG y otras opciones tecnológicas permitieron hacer disponible en formato digital varios mapas de geología, mineralogía, geomorfología, suelos, morfopedología, precipitación, temperatura, cobertura vegetal y muchos otros, que permitieron realizar un óptimo análisis del territorio para con una salida a campo de comprobación, generar un mapa de cobertura nacional de conductividad eléctrica a escala 1:250 000.

El cliente y usuario de esta información es la Superintendencia de Telecomunicaciones-SUPERTEL, quienes contrataron a la Compañía Consultora AGROPRECISION Cia. Ltda., para que realice el presente mapa. Los técnicos de la consultora debían realizar el mapa y luego migrar al formato que permita realizar un análisis de dispersión de ondas de Amplitud Modulada-AM o también conocida como onda media en el software ICS TELECOM, para determinar el alcance que tienen las emisoras y así cumplir con la legislación vigente.

La cobertura de conductividad eléctrica se la realizó con un enfoque geomorfológico, utilizando las grandes unidades de paisaje como unidades madre de suelos, que con el clima, geología, tamaño de partícula, riego, cobertura vegetal y otros, permitieron subdividir los grandes bloques en pequeñas unidades de conductividad eléctrica de suelo que se validaron en campo, dejando un valor muy acorde a la realidad.

1. ANTECEDENTES

El presente estudio parte de la necesidad de la Superintendencia de Telecomunicación-SUPERTEL de la República del Ecuador, de contar con una herramienta para poder realizar un buen estimado del radio de cobertura de las radiocomunicaciones y en este caso específico de las ondas medias del espectro radioeléctrico.

En la actualidad la SUPERTEL ya cuenta con un sistema (software, hardware, recurso humano y datos) donde el software ha sido adquirido a la afamada compañía ICS Telecom, software que lleva el mismo nombre y se encuentra en su versión 9. Este software es una herramienta idónea para determinar el radio de cobertura de una determinada emisora, con lo cual se puede disponer en gabinete de un modelamiento personalizado de propagación de las ondas de Amplitud Modulada-AM, para determinar la cobertura compuesta, cobertura de mejor servicio, solapamiento o handover entre estaciones y análisis de interferencias; en cualquier sector del país y a partir de ello conceder a las empresas emisoras de radio AM las licencias o concesiones según el área real que cubre cada una de estas.

Para poder realizar este modelamiento digital con ayuda del software, es necesario disponer de un mapa en formato raster de la cartografía base del país (con el fin de conocer el sector a ser analizado) y el mapa de conductividad eléctrica de los suelos.

Es necesario manifestar que el mapa de conductividad eléctrica fue realizado por el Ing. Milton Roldán Reascos en 1981, utilizando el equipo "Field Strength Meter FIM-41"



Figura 1. Field Strength Meter FIM-41

El equipo que se muestra como figura 1 mide la frecuencia de las radios de frecuencia AM, con este equipo se realizó un recorrido en campo y utilizando cartografía del IGM escala 1:1 000 000 en formato analógico, para ubicar los diferentes sitios de medición en el país y luego interpolar esta interpolación, y fue así como se realizó el siguiente mapa en formato digital:



Figura 2. Mapa de conductividad eléctrica de suelos.

Este mapa, mostrado en la figura 2, para quienes somos especialistas en la temática de suelos, resalta la existencia de valores disparados en zonas donde es imposible que existan este tipo de valores, esto asumimos y también gracias a la colaboración de expertos en las temáticas de radiodifusión, supieron manifestarnos que el equipo utilizado es excelente pero que puede presentar alteraciones cuando existe una sobreposición de señales de radio, así que puede ser ese el factor que haya complicado las lecturas.

Los expertos de ICS Telecom digitalizaron la información antes presentada, y se utilizaba como el “mapa de conductividad eléctrica de los suelos” dentro del ambiente del software y que permitía el análisis digital de las radios en el país, como se muestra adelante:

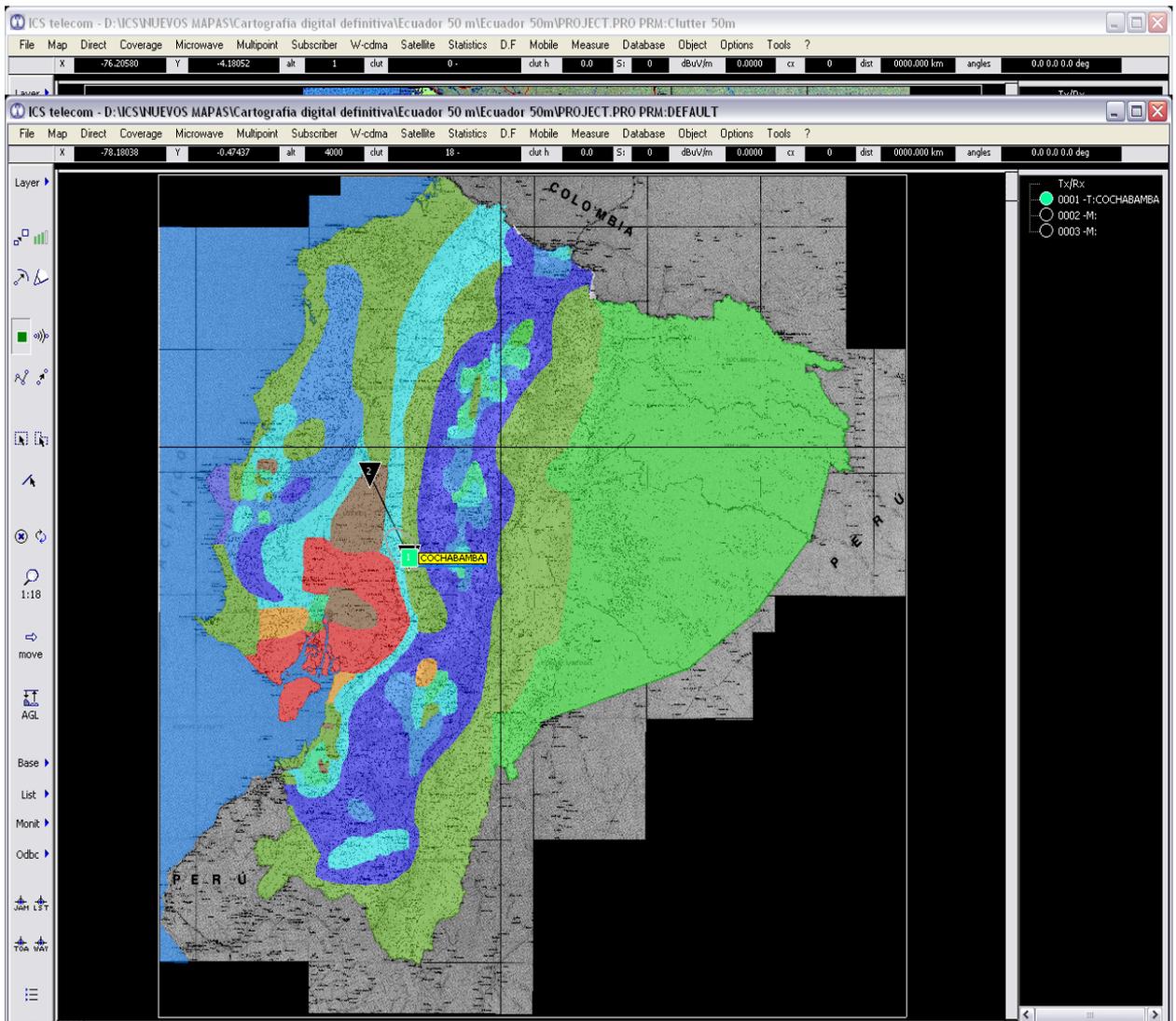


Figura 3. Mapa de conductividad eléctrica digitalizado en el ambiente del software ICS Telecom

Como ya se había mencionado, esta cobertura de conductividad eléctrica de los suelos, era la utilizada para el análisis por parte del ente regulador Supertel, en donde se cobraban los impuestos por radio de cobertura, y siempre se presentaban errores cuando se realizaba la validación en campo.

Es por ello que la Superintendencia de Telecomunicaciones-SUPERTEL toma la decisión de contratar a una firma consultora para realizar un nuevo mapa de conductividad eléctrica de los suelos.

Para la realización del mapa de conductividad eléctrica de los suelos, fue necesario buscar las opciones disponibles para elaborar el presente mapa, la primera alternativa fué la de buscar la mayor cantidad de datos de conductividad eléctrica de los suelos e interpolar los mismo para así obtener un modelo el cual vendría a ser la cobertura de conductividad eléctrica de los suelos, pero como ya se indicará adelante, los datos de suelos se encuentran ubicados en zonas donde

hay mucha presión en el uso del suelo y en zonas donde son reservas naturales o la presión en el uso del suelo es baja, entonces no se disponía de muestras, fue por ello que se buscó la opción de complementar con muestreos realizados in situ por el equipo técnico de la compañía y así cubrir áreas que no se disponía de información de conductividad eléctrica de los suelos.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las muestras de suelo que fueron hechas disponibles a través del SIGAGRO y FAO. Como se puede observar, existe una gran densidad de muestras en la zona de los valles interandinos, donde se aplica una agricultura muy intensiva, además de las zonas como Santo Domingo y Quevedo también se observa una fuerte densidad como en la zona de Babahoyo y gran parte del guayas, donde se centran los cultivos de exportación, pero Provincias como Esmeraldas, Napo, Pastaza y Zamora, los muestreos son muy bajos, así que partir de estos datos para realizar una interpolación de la información iba a generar ciertos conflictos y el producto no sería idóneo para realizar los análisis de radio de cobertura de las ondas radioeléctricas.

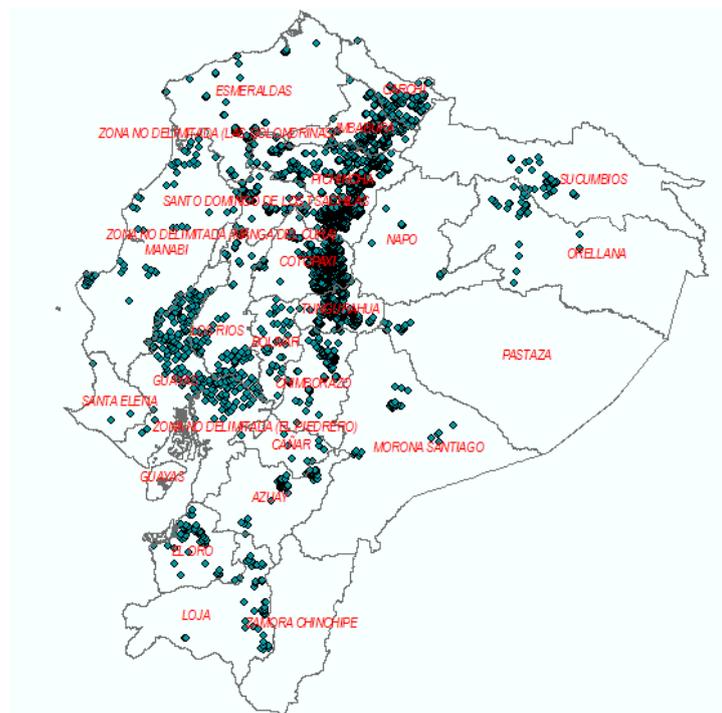
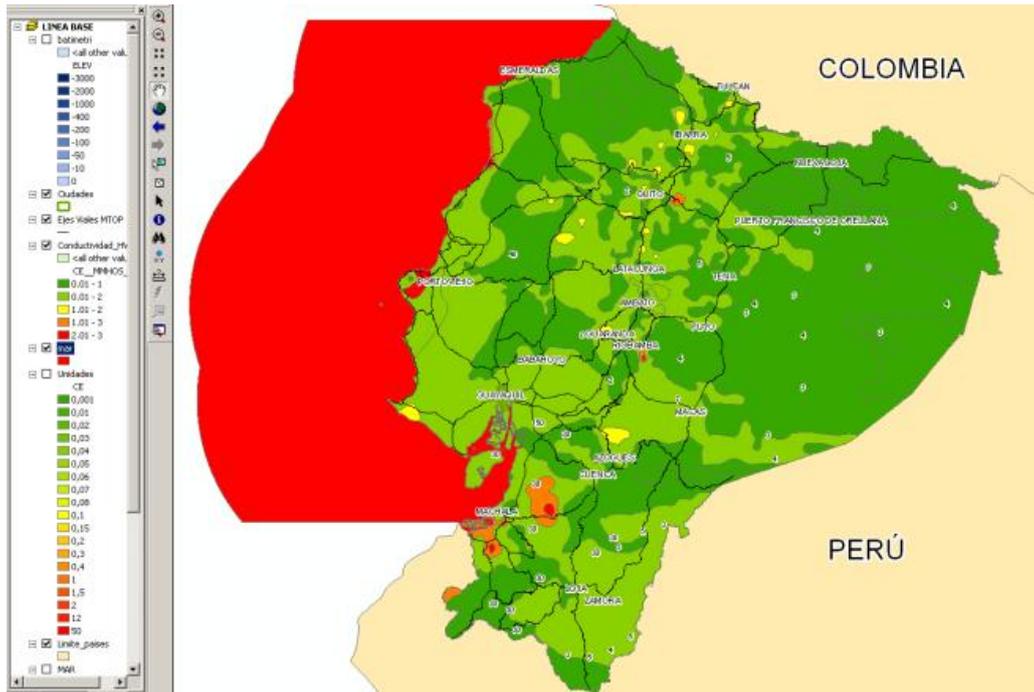


Figura 4. Información de muestreos de suelos, entregado por SIGAGRO y FAO.

Estos datos fueron extrapolados con ayuda del ESRI Geostatistical Analyst y se utilizó algunos métodos, los cuales no satisfacían las precisiones requeridas de acercarse a los valores reales de conductividad eléctrica de los suelos de nuestro país, y para esto se les solicitó revisar el mapa a los expertos el Ing. Hernán Velásquez (Ex-director de SIGAGRO) y la Ing. Ediltrudis Mendoza (Ex-Jefa de laboratorio de suelos del MAGAP), quienes conocieron los valores de conductividad eléctrica de los suelos el momento que se trabajó en la Regionalización del país.



Al identificar que la cobertura generada no se ajustaba a la realidad, entonces se pretendió como otra alternativa realizar un mapa con un enfoque sintético, es decir realizar un muestreo de todas las zonas del país, para luego con esa información interpolar y generar la cobertura de conductividad de suelos, pero para esto se debe cubrir los muestreos necesarios para llegar a la rigurosidad de escala 1:250 000 que fue el objetivo del presente estudio, entonces para esto se determinó el área mínima de decisión o área mínima legible para la escala 1:250 000, la cual responde a una fórmula:

$$\text{AMD} = \frac{SN}{250000}$$

Donde:

SN: Escala de decisión

AMD: Área mínima de Decisión en ha

Entonces si la escala es 1:250 000, el área mínima de decisión sería 250 ha; con lo cual se puede manifestar que se la unidad mínima de análisis para la cartografía es de 250 ha y el número de muestreos debería ser de 2.5 a 10 AMD, con lo cual se puede manifestar que se requiere muestreos desde 625 ha a 2 500 ha, es decir determinar una red rígida de 2 500 x 2 500 metros para obtener áreas de 625 ha para el muestreo mínimo, con un requerimiento total de más de 40 000 muestreos y al determinar áreas de 5 000 x 5 000 metros para obtener superficies de muestreo de 2 500 ha, esto representaría el valor más bajo de la tolerancia con lo cual se requeriría un total de 10 800 sitios de muestro, como se muestra en la siguiente figura:

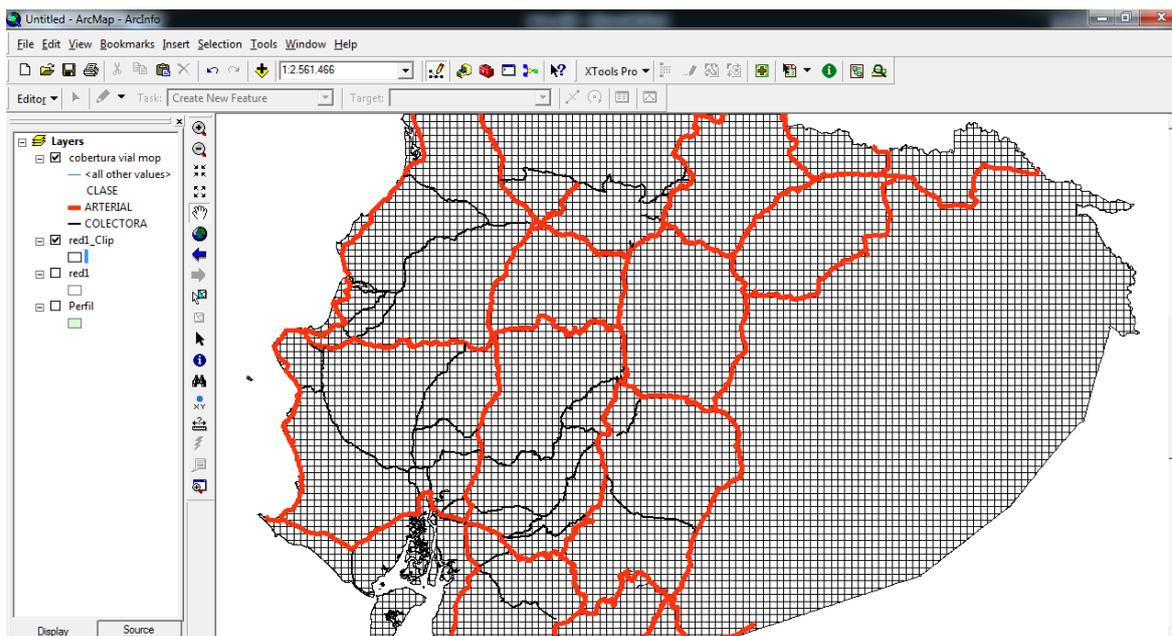


Figura 5. Red rígida de muestreo de 2 500 ha por unidad, con las principales vías del país.

Este método de muestreo hacía prácticamente imposible que se realice el estudio, por los costos que representaría y también porque la cobertura vial del país no llega a cubrir extensas zonas, las que deberían cubrirse también.

Son por esas razones las que finalmente se decidió complementar el análisis del territorio con un método analítico, es decir partir de un análisis de la información del paisaje para entender la dinámica de los cuerpos de suelo “naturales”, utilizando características externas como la geofoma, clima, vegetación y la superficie del suelo (ROSSITER, D. Metodologías para el levantamiento del recurso suelo, ITC), para finalmente realizar muestreos en las zonas donde no exista información y así caracterizar las unidades resultantes, interpolando la información pero con una lógica adecuada, para finalmente cumplir el objetivo de disponer de un “mapa de conductividad eléctrica de la superficie” que cumpla con disponer valores reales, para que los cálculos de radio de cobertura de radio frecuencia sea el más cercado a la realidad y así beneficien tanto el concesionario como el ente regulador. El método analítico utilizado se presenta con mayor detalle en el capítulo de metodología y resultados del presente documento.

Finalmente este mapa debía ser migrado al formato que requiere el ICS Telecom, por ello la cobertura desde un formato shapefile fue migrada a formato ASCII para finalmente pasar a un formato *.SOL con valores de pixel de 50 x 50 metros, el cual permite realizar el análisis adecuadamente en el software, y los valores de conductividad fueron colocados en los rangos que acepta el Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT.

Para validar la información generada, se probó la cobertura resultante en el software ICS-Telecom y se verificó con los resultados de estudios realizados en el

sector, donde se verificó que esta cobertura mejora la calidad de respuesta, porque los resultados fueron iguales a los estudios realizados en campo, no así con la anterior cobertura que presentaba variaciones fuertes a los resultados de los estudios de campo, así como se muestra en la siguiente figura:

ESTACION AM LOS VERGELES

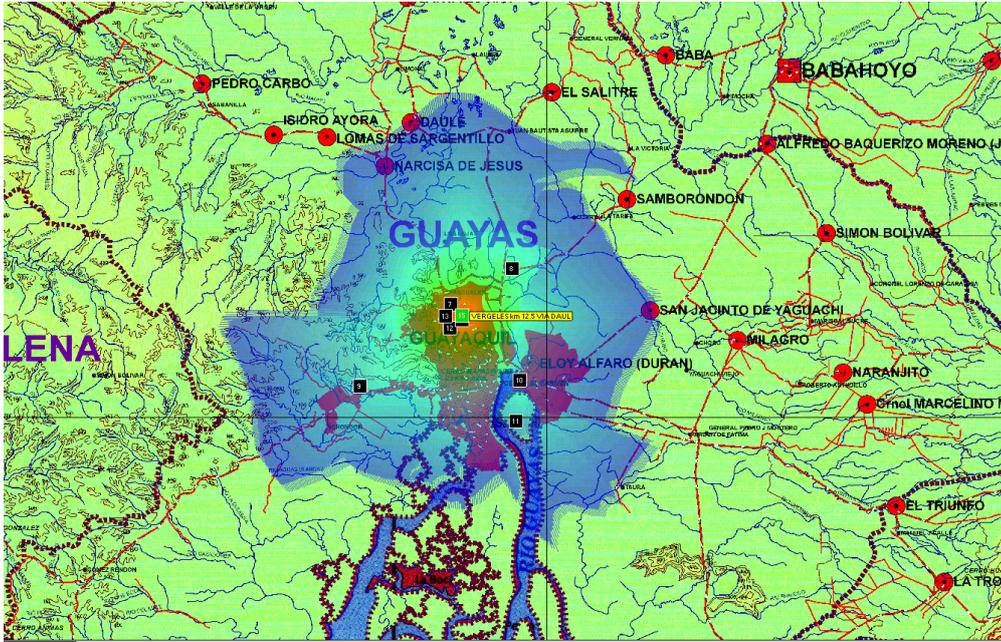


Figura 6. Modelado digital de radio de cobertura radioeléctrica generado con cluster inicial

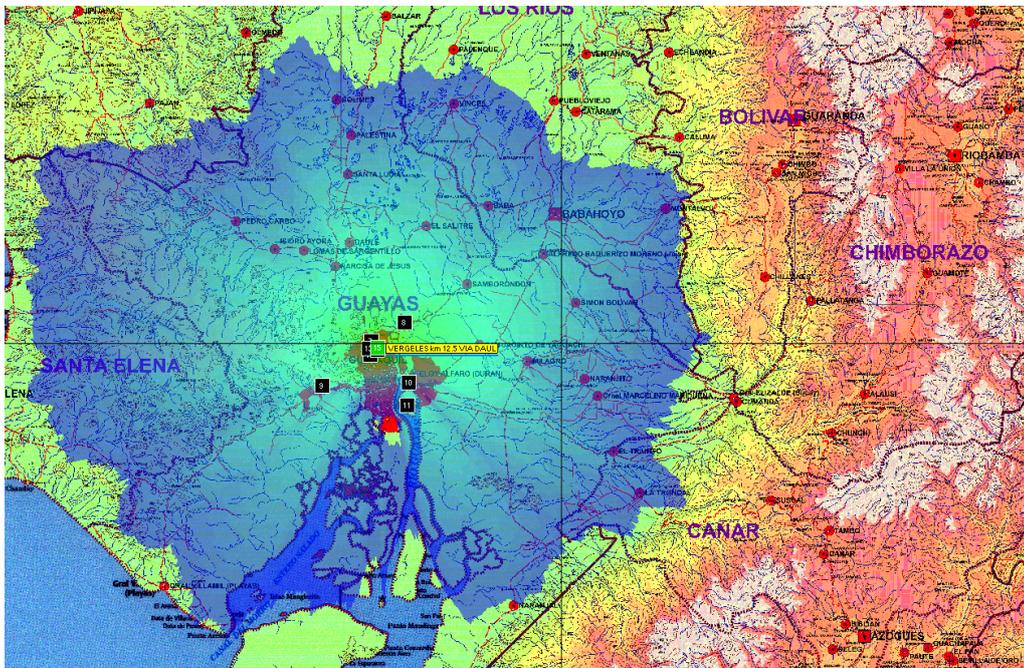


Figura 7. Modelado digital de radio de cobertura radioeléctrica generado con cluster final

En las figuras 6 y 7 se muestra el modelamiento digital del radio de cobertura radioeléctrica generado con el cluster inicial y cluster final respectivamente, con lo

cual se observa una gran variación en el radio de cobertura, esta y otras pruebas se validaron con información de campo, con lo cual se confirmó que la nueva cobertura de conductividad eléctrica se ajusta a las condiciones reales de campo. Esta información se ampliará en el capítulo de resultados.

2. INTRODUCCIÓN

Dado que el espectro radioeléctrico es un recurso natural del Estado y que es necesario velar por su correcto uso y explotación a fin de que los beneficios que de él se deriven, sean para provecho del conglomerado social.

Debido a que la propagación de las ondas de radio no son limitadas por las fronteras nacionales, la utilización de este importante medio está supeditada a una reglamentación internacional y debe ser coordinada a nivel subregional, regional y mundial a fin de garantizar su explotación sin interferencias perjudiciales.

La UIT, considerando que tiene el afán de ayudar en el desarrollo de las telecomunicaciones en todas las regiones del mundo, esta entidad pretende coadyuvar en la utilización coordinada y eficiente del espectro electromagnético, que entre los objetivos tiene la actualización de la cartografía de conductividad eléctrica, además de las cartas de propagación ionosférica y mediciones del ruido radioeléctrico en cada país de la región.

El presente estudio se lo ha realizado con un objetivo de disponer de un producto: el mapa de conductividad eléctrica nacional para el análisis del radio de cobertura de las ondas electromagnéticas.

La conductividad del suelo constituye un parámetro importante para determinar el área de servicio de una estación de radiodifusión sonora en onda media, ya que la misma constituye una medida de la capacidad que tiene un medio físico para dejar atravesar por él, la corriente eléctrica.

La heterogeneidad del suelo proporciona grandes diferencias en sus características. Diferentes propiedades físicas (textura, estructura, consistencia, densidad, aireación, temperatura y color) y químicas (cantidad de materia orgánica, fertilidad y acidez-alcalinidad) proporcionan diferentes valores de conductividad eléctrica del suelo. Además factores como precipitación, uso del suelo, aplicaciones de riego y otras variables intervienen en los cambios de cantidad de cationes en el suelo.

Los mapas de la conductividad del suelo relativos a la parte del espectro que contiene la banda de onda media, dan valores de conductividad efectiva del suelo en mS/m, es decir, en miliSiemens por metro, los mismos que se aplican sobre las curvas de propagación de las ondas de superficie.

3. OBJETIVO GENERAL

Generación de un mapa de conductividad eléctrica del territorio de la República del Ecuador.

3.1. Objetivos Específicos

1. Generar un mapa de conductividad eléctrica de los suelos a escala 1:250 000.
2. Generar la información en formato digital, georreferenciado en Sistema espacial UTM, Datum World Geodetic System de 1984, zona 17 Sur y en formato Shapefile (*.shp).

4. REVISIÓN DE LITERATURA

El contenido de elementos en el suelo es variable, notándose estas diferencias mucho más en los elementos químicos denominados “micro elementos” que los macro elementos; aunque el origen de los mismos (material parental, roca madre, regolitos, entre otros) siempre influyen fuertemente en el contenido de los materiales y su ubicación en los diferentes perfiles de suelos, en realidad pueden existir diferencias notables en las correlaciones, así por ejemplo si el origen proviene de una roca sedimentaria o es un suelo muy antiguo, la composición de este será diferente del material que dio origen a su formación.

Los elementos que permiten definir un suelo se encuentran en diferentes formas, que dependen, entre otras cosas, del tipo de degradación que haya tenido el material original (básicamente la roca madre), del clima (temperatura y precipitación principalmente), del porcentaje de materia orgánica, contenido de agua, de los tipos de enlace químico especialmente de tipo iónico existentes, de la acidez, de la estructura y granulometría (textura) existente entre las fracciones básicas. Sin pasar por alto la Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC y Saturación de Bases-SB de los suelos, que es además el resultado del material de partida y la textura, porque está directamente relacionado con el tipo de arcilla (tipo 2:1 o 1:1), y de esta depende la avidéz por los cationes que se encuentran en la solución del suelo, que luego van a ser adsorbidos por las arcillas e intercambiados cuando las condiciones sean adecuadas.

Es importante ampliar sobre la CIC, ya que de esta depende el que los cationes libres permanezcan el mayor tiempo en el suelo y por ello se considera un suelo fértil cuando la capacidad que dispone la arcilla se encuentra saturada de cationes (alta saturación de bases) y un suelo con fertilidad baja cuando en vez de tener cationes conocidos como bases (Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} , K^+ y otros micro

elementos) se encuentra adsorbidos en la arcilla los radicales H^+ , lo cual manifiesta una baja fertilidad (baja saturación de bases), a su vez acidez en el suelo y baja conductividad eléctrica.

Esta evolución tiene un carácter dinámico que repercute en las interpretaciones físico químicas del suelo; esta distribución de los diferentes elementos, ha sido necesaria interpretarse por diferentes medios: mediante tablas interpretativas, deducciones técnicas, investigación, mediante la implantación de parcelas demostrativas (experimentación) y modelos de simulación últimamente.

La propuesta de generar cartografía temática sobre conductividad eléctrica de los suelos, hace referencia a la Conductividad Eléctrica de un extracto de saturación; y la Conductividad Eléctrica, como tal, es determinada en un medio líquido. Se asume, aunque esto aun no ha sido probado científicamente, que la conductividad corresponde a la Conductividad Eléctrica del líquido intersticial del suelo.

Los sistemas de modelamiento que se están utilizando para la generación de los fertigramas y especialmente en el caso de interpretar cartográficamente este principio, lleva a la caracterización del comportamiento de los elementos para poder realizar la cartografía correspondiente, este no es el caso del enfoque del presente trabajo sino que se considera importante mencionar los al alternativas de generación cartográfica a través de modelación estadística de la información espacializada.

Para llegar a determinar la conductividad eléctrica de los suelos, es necesario entender varios factores que producen la presencia o ausencia casi completa de sales en el suelo, para ello se revisará brevemente alguna información de los factores que intervienen y que se considera de importancia para tener claro el enfoque utilizado para realizar el presente trabajo.

4.1. FACTORES ABIÓTICO DE INTERVIENEN EN LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE LOS SUELOS

4.1.1. Clima

La climatología es la ciencia que se encarga de estudiar las variedades climáticas que se producen en la Tierra y sus diferentes características en cuanto a: temperaturas, precipitaciones, presión atmosférica y humedad, entre otros.

4.1.1.1. Temperatura

La temperatura como componente del clima, se ha considerado como un factor dependiente de formación de suelos. La temperatura influye en muchas formas sobre las reacciones implícitas en los procesos de formación de los suelos (procesos pedogenéticos). La temperatura es el componente principal del cálculo

de la evapotranspiración potencial y, por ende, tiene un control apreciable sobre la cantidad de precipitaciones pluviales reales.

La temperatura ejerce una influencia marcada sobre el tipo y la cantidad de vegetación presente en una zona y, en consecuencia, también sobre la cantidad y tipo de materias orgánicas producidas.

Se ha demostrado que varias propiedades de los suelos son dependientes de la temperatura. Al elevarse ésta, los colores del suelo tienden a hacerse menos grises y más rojizos; las bases tienen una lixiviación más completa en las zonas cálidas húmedas; el contenido de nitrógeno y el de materias orgánicas disminuye al aumentar la temperatura y el contenido de arcilla aumenta (BUOL, S.; HOLE, F.; Mc CRACKEN, R. 1983. Génesis y Clasificación de Suelos. Trad. Por Agustín Contín. México: Trillas. P. 155-169).

La conductividad eléctrica-CE decrece levemente cuando desciende la temperatura hacia el punto de congelación del agua. Bajo el punto de congelación, los poros quedan aislados, y la CE decrece velozmente. En las zonas tropicales esto sólo sucede ocasionalmente en las montañas más altas (DOERGE, T.; KITCHEN, N.; LUND, E.; Mapero de Conductividad Eléctrica de Suelo, Guías para el Manejo del Suelo Adecuado a Cada Sitio – SSMG-30., LOBO-GUERRERO, A. Traducido por., LOGEMIN S.A.).

La conductividad eléctrica varía con la temperatura. En estudios de salinidad de suelos, los valores de la conductividad eléctrica se expresan referidos a 25 °C, debiendo transformar las lecturas realizadas a otras temperaturas: $CE_{25}=f_t \times CE_t$ (PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; Agenda de campo de suelos. 2003)

4.1.1.2. Humedad

La humedad que posee el terreno determina fuertemente su resistividad y por consiguiente la conductividad eléctrica. El agua que contiene el terreno, debido a su estado higrométrico, es la que influye.

Siempre que se añada agua a un terreno aumenta la conductividad respecto a la que tendría en seco. Se dice que un terreno está “saturado” cuando todos sus intersticios están llenos de agua.

Por efectos de la evaporación natural de la superficie del terreno, se produce un empobrecimiento del agua contenida en los agregados, fenómeno que se propaga lentamente desde la superficie hacia los estratos más profundos. Este fenómeno tiene más importancia cuanto más seco sea el clima del lugar por cuanto los cationes tiende a subir a la superficie por efectos de capilaridad.

Para una cierta región geográfica, el contenido de humedad del suelo depende de sus características climáticas, por lo que en los análisis de suelos a realizarse se debe considerar la época del año que ofrezca la menor cantidad de humedad. En épocas de lluvias, el nivel freático se aproxima a la superficie del terreno, presentando el suelo una resistividad menor que en el periodo de sequía, en el

que dicho nivel se aleja en profundidad de la superficie. (UNIVERSIDAD DE CHILE, 2010. Informe de laboratorio Medida de Resistividad del Terreno).

4.1.2. Geología

Como su nombre en latín indica, la Geología es la ciencia que estudia la tierra, pero algunos estudiosos manifiestan que la Geología es la ciencia que trata la estructura del globo terrestre, las formas de las rocas y terrenos, y la evolución de los mismos desde los orígenes (MORENO, C. 1992., Fundamentos de Geomorfología).

Para nuestro estudio consideramos adecuada y más completa esta definición, ya que el suelo deriva de la roca que se ha meteorizado, esto con ciertas consideraciones. Así que es necesario conocer el material de partida del suelo para poder acercarnos a su caracterización.

Se ha considera en este estudio conocer la mineralogía de las rocas, lo cual puede derivar en características especiales en los suelos derivados, a la mineralogía la han definido como la rama de las ciencias geológicas que trata de explicar los aspectos químicos y físicos de los componentes naturales de la corteza terrestre. En síntesis, se llamará mineral a todo elemento o combinación química, formado por procesos naturales, inorgánicos, dotado de características físicas y químicas definidas (MORA, S.; VALVERDE, R.; Geología, Procesos de la dinámica interna y externa).

4.1.3. Geomorfología

El enfoque de este estudio se basa fundamentalmente en la base del paisaje que generará una cubierta edáfica, ya que los suelos son el resultado de la acción combinada de un conjunto de factores formadores (clima, material originario o roca madre, posición en el paisaje, organismos vivos y tiempo). Por consiguiente, existe una relación entre las formas del paisaje, la naturaleza y distribución de los suelos, lo que constituye la base de la fotointerpretación edafológica, la cartografía de suelos y la identificación e interpretación de las funciones de los suelos según la posición que ocupen. Esto hace que los resultados de la observación, descripción y muestreo de una pequeña parte del paisaje puedan generalizarse a áreas no prospectadas, que sigan el mismo patrón suelo-paisaje.

Resulta importante destacar que la edad del un suelo monocíclico está relacionada con la edad de la superficie geomorfológica en la que se ha formado. Por el contrario, no tiene nada que ver con la edad de formación geológica a la pertenezca la roca que ha actuado de material originario o de roca madre. La dimensión temporal de los procesos que dan lugar al modelado de un paisaje implica una evolución del mismo, la posibilidad de una sucesión de procesos, así como que existían formas actuales y otras heredadas (relictas) debidas a procesos ocurridos a lo largo de los últimos 10 000 años pueden permitir explicar, por ejemplo, formas periglaciares en zonas templadas.

El estudio de la dinámica asociada a las distintas formas del paisaje permite interpretar los procesos predominantes y establecer relaciones suelo-paisaje (PORTA, J. Agenda de campo de suelos).

El relieve controla la redistribución de masa y energía. Por ello, en un determinado paisaje resulta posible distinguir superficies de erosión y superficies deposicionales, cuyo distinto origen, edad de la superficie en relación a la del material aflorante, características de los suelos, entre otros pueden ser analizados.

4.1.4. Suelos

Muchos investigadores de clasificación consideran definir como “los suelos” porque no es un cuerpo homogéneo, existe mucha variabilidad física y química en áreas pequeñas pero que dependen de una dinámica local homogénea, por lo que como se había explicado antes responden a los factores que han resultado en esas geofformas.

Por ello se considera que la conductividad eléctrica en los suelos es heterogénea y realizar un análisis riguroso es difícil y muchas veces imposible, porque depende también de las actividades antrópicas, uso de suelo o cobertura vegetal, que pueden ser muy variables en áreas relativamente pequeñas, por ello es necesario realizar muestreos en zonas representativas.

Según las claves de la taxonomía de suelos de los Estados Unidos (keys to soil taxonomy tenth edition, USDA., 2006), La palabra “suelo”, como muchas otras, tiene varios significados. En su significado tradicional, el suelo es el medio natural para el desarrollo de plantas terrestres, ya sea que tenga o no horizontes discernibles. Esta aceptación es todavía la forma más común como se comprende la palabra, y es el interés principal en el que el suelo centra su significado. Las personas consideran al suelo importante porque sostiene a las plantas que nos proporcionan comida, fibras, drogas y otras necesidades humanas y porque filtra el agua y recicla desechos.

Según la United States Department of Agriculture–USDA, Soil Taxonomy–ST (1999), Suelo es un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquido y gas que ocurre sobre la superficie de la tierra, ocupando espacio y es caracterizado por uno o varios horizontes o capas, que son distinguibles desde el material inicial y resultando en adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o de la habilidad de soportar raíces de plantas en ambiente natural. El límite más bajo que separa el suelo del “no suelo” es muy difícil de definir, se ha atribuido a la actividad biológica y es a menudo muy gradual.

Los dos principales constituyentes de suelos son el óxido de silicio y el óxido de aluminio los cuales son excelentes aislantes eléctricos; no obstante, normalmente

es posible detectar una conducción eléctrica apreciable en el terreno. Esto se debe a que:

- a) La conductividad del suelo se debe en gran medida a la presencia de humedad y sales en solución en los intersticios dejados por las formaciones rocosas o masas minerales.
- b) La cantidad de corriente transportada puede alcanzar valores importantes aun en un mal conductor, si el volumen que participa es considerable.

De la primera observación se deduce que el proceso de conducción en suelos es de carácter electroquímico y depende de factores como:

- porosidad de materiales componentes del terreno
- distribución y disposición de los poros
- conductividad del agua que llena los poros.

La conductividad del agua se compone de una conductividad primaria (la propia del agua) y una conductividad secundaria (la adquirida por disolución del material y sales) que depende del estancamiento (UNIVERSIDAD DE CHILE, 2010. Informe de laboratorio Medida de Resistividad del Terreno).

4.1.4.1. Salinidad de los suelos

La salinidad en los suelos desde el punto de vista agronómico tiene su importancia y desde esta óptica se ha realizado los esfuerzos para entender este proceso de enriquecimiento del suelo en sales más solubles que el yeso, por lo general se trata de cloruros y sulfatos, bicarbonatos, nitratos y boratos de sodio, magnesio y calcio. Ello provoca valores muy altos de la presión osmótica en la fase líquida del suelo, con evidentes repercusiones sobre la vegetación. Es un proceso que tiene lugar principalmente en zonas semiáridas y áridas, en zonas bajas con mal drenaje. Puede ser natural o bien inducido por el hombre por un uso inadecuado del agua de riego (PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO M., 2003).

El origen de las sales solubles (Ciclo de salinización) se le atribuye a los siguientes factores:

- Litológicos
- Geomorfológicos
- Climáticos
- Hidrológicos
- Antrópicos

El estudio del ciclo geoquímico de los elementos químicos permite identificar la procedencia de las sales que se acumulan en los suelos salinos. El origen último reside en las rocas que, al verse afectadas por la meteorización, liberan los elementos que las constituyen (PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO M., 2003).

El movimiento, redistribución y acumulación de tales componentes en una cuenca de drenaje permite explicar la formación de los suelos salinos. Con un enfoque de síntesis, se puede plantear distintos ciclos de salinización (KOVDA y Cols., 1967)

4.1.4.1.1. Ciclo continentales:

La formación de suelos salinos en las tierras del interior de los continentes se debe a ciclos de movilización, redistribución y acumulación de cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonato sódico que viene condicionado por:

- Clima: Aridez o semiaridez.
- Régimen de humedad del suelo: No percolable, arídico, xérico o ústico.
- Posición geomorfológica: Fondo o parte basal de laderas
- Clase de drenaje: Deficiente

4.1.4.1.2. Ciclos marinos de acumulación de sales:

Los suelos de las llanuras a lo largo de las costas, bahías y marismas pueden presentar acumulación de sales marinas, principalmente cloruro sódico.

Las sales proceden de capas freáticas salinas poco profundas, del agua de inundación por efectos de las mareas o por los aportes de sales transportadas por el viento, ya sea en forma de aerosoles con cristales en suspensión o como gotas altamente salinas. Este último proceso sólo tiene una importancia local y afecta a una estrecha franja. El contenido de sales de las masas de aire marítimo, que se mueven hacia el interior, disminuye de forma exponencial con la distancia a la línea de costa, al ser lavadas por el agua de lluvia (PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO M., 2003).

4.1.4.1.3. Ciclos deltaicos de acumulación de sales:

Los deltas son áreas de gran importancia para la humanidad desde antiguo, por la fertilidad natural de los suelos. Se benefician de los entarquinados, que de forma natural se derivan de las inundaciones. Son áreas con abundancia de agua para una agricultura de regadío.

Los ciclos de salinización en estas zonas son complejos, al haber interacciones entre el agua de mar, procedente de las inundaciones durante las tempestades, el agua transportada por el río, cuyo contenido salino suele ser bajo (por ejemplo, 0,9 a 1,0 dS/m a 25° C en el caso del río Ebro, en promedio) y el agua de la capa freática, salina si está asociada con el agua de mar y con un bajo contenido de sales, si se trata del freático del río. El equilibrio del sistema es frágil, lo que debe ser tenido en cuenta al planear cualquier actuación susceptible de provocar impactos negativos que podrían resultar irreversibles (PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO M., 2003).

4.1.4.1.4. Ciclos artesianos

En determinadas áreas geográficas podría resultar difícil explicar la presencia de suelos salinos atendiendo a las condiciones climáticas o a la distancia al mar. Se ha puesto de manifiesto que puede haber surgencias de agua freáticas profundas, que asciendan a favor de microfallas y fracturas. En su movimiento pueden atravesar materiales que den origen a su salinización.

La evaporación de esta agua, que pueden formar pequeñas áreas encharcadas, provocará la salinización de los terrenos afectados. En Lorena (Francia) existen procesos de salinización por este tipo de ciclos (PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO M., 2003).

4.1.4.1.5. Ciclos antropogénicos

Las principales acciones que han dado lugar a ciclos antropogénicos de salinización son las actividades agrícolas mal realizadas o actividades industriales y mineras (PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO M., 2003).

En agricultura un suelo salino es aquel que tiene una cantidad excesiva de sales, las cuales alteran desfavorablemente su productividad, impidiendo que las raíces de las plantas puedan absorber el agua con facilidad y presentando síntomas físicos en las hojas de las plantas como lo son sus hojas quemadas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2006).

La alta concentración de sodio causa la dispersión de las arcillas que taponan los poros y da como resultado una pobre aireación y una pobre infiltración del agua (PADILLA, W.; Fertilización de suelos y Nutrición vegetal, 2002).

La medición del contenido de sales se lo puede realizar evaporando en una estufa una muestra de la solución, pesando luego el residuo sólido y expresando el resultado en g/litro o en mg/litro = a partes por millón (ppm) (FUENTES, J.; El suelo y los fertilizantes, 1999).

4.1.5. Conductividad Eléctrica de los suelos

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad que tiene un material conducir la corriente eléctrica.

Cuando mayor es la concentración de sales en una solución del suelo, mayor es la corriente eléctrica que puede ser transmitida a través de ella. Por eso la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE_e) se utiliza como indicadora de la salinidad del suelo. El agua pura es una mala conductora de la electricidad, mientras que el agua que contiene sales en solución puede conducir corriente en forma proporcional a la cantidad de sales disueltas (PADILLA, W.; Fertilización de suelos y Nutrición vegetal, 2002).

Las soluciones nutritivas que conforman la matriz del suelo tienen partículas iónicas que llevan cargas eléctricas, por lo tanto tienen la habilidad de conducir la corriente eléctrica (SOSA, C.; Manual de laboratorio, 2005).

La resistencia al paso de corriente eléctrica se la mide usando un Ohmetro, el mismo que se basa en la ley de Ohm. La conductancia es el recíproco de la resistencia, es decir la mayor facilidad que puede existir al paso de la corriente eléctrica, se la expresa en S/m (mhos/cm), o en dS/m (mmhos/cm) (PADILLA, W.; Fertilización de suelos y Nutrición vegetal, 2002).

Cuanto mayor es la cantidad de estos iones disueltos en el agua la conductividad eléctrica de la solución resultante será mayor y viceversa.

La conductividad eléctrica tiene una relación directa con la cantidad de materiales sólidos disueltos, disociados que hay en ella y por lo tanto es una medida indirecta de la salinidad del suelo (SOSA, C.; Manual de laboratorio, 2005).

La conductividad es la inversa de la resistividad, por tanto $\sigma = \frac{1}{\rho}$; siendo la resistividad el grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos. (WIKIPEDIA, 2010)

El conductímetro consiste en dos celdas de platino, las cuales se conectan entre sí por el agua que pasa entre ellas, de ahí que mientras más concentradas están las sales en esa solución mayor es el paso de corriente (PADILLA, W.; Fertilización de suelos y Nutrición vegetal, 2002).

La conductividad de una solución es proporcional al contenido de sales disueltas e ionizadas contenidas en esa solución. Las sales que interesan son muy solubles e ionizables. Por consiguiente, se puede conocer indirectamente el contenido salino de una solución midiendo la cantidad de corriente que pasa a su través (FUENTES, J.; El suelo y los fertilizantes, 1999).

La conductividad eléctrica en suelos, debe ser determinada en un extracto de saturación. Los índices de clasificación de los suelos en cuanto a la salinidad y los niveles críticos considerados para evaluar la tolerancia de los cultivos al exceso de sales, se basan en la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE_e) a 25° C.

4.1.6. Textura del Suelo

La textura del suelo indica la cantidad de partículas individuales de arena, limo y arcilla presentes en el suelo.

Dependiendo de la textura del suelo, éste, tendrá mayor o menor cantidad de poros. El poro es un espacio no ocupado por sólidos.

Los suelos de textura fina tienen del 40 al 60% de espacio poroso. (Luzuriaga, 2001). Los suelos cuyos poros están llenos de agua y directamente conectados

con poros vecinos tienden a conducir electricidad más fácilmente, y los suelos arcillosos poseen gran cantidad de poros continuos (LOGEMIN S.A., 2010).

4.1.7. El Uso Actual de los suelos

Los mapas de cobertura y uso de suelo son la mejor expresión de la actividad del hombre, así como de las condiciones naturales, reales y potenciales de un espacio geográfico. La cantidad y detalle de información representada en este tipo de mapas es directamente proporcional a la escala cartográfica utilizada y al propósito del mismo. Por ejemplo, grandes formaciones vegetales homogéneas en grandes extensiones de terreno, podrán representarse en escalas pequeñas, mientras que comunidades de plantas o áreas con especies relictuales, ubicadas en áreas pequeñas, probablemente tendrán que implementarse en mapas de escala grande.

El mapa de cobertura vegetal y uso de suelo, tiene como fin representar la distribución areal de los diferentes tipos de vegetación o de uso, entre cuyas unidades existen límites; lo anterior representa un problema técnico, dado que estos generalmente son transicionales. Una forma de hacerlo es mediante el empleo de líneas continuas para separar las unidades de cobertura bien definidas y líneas discontinuas o líneas en zigzag para delimitar subdivisiones o límites no definidos.

La leyenda del mapa debe incluir todas las unidades de cobertura vegetal y uso de suelo, junto con la descripción detallada de sus características; dependiendo del propósito del mapa, es posible organizar la información de diferente manera y agrupar jerárquicamente. La leyenda de esta temática puede representarse en un diagrama triangular, cuando se quiere identificar su relación con otros aspectos del medio ambiente.

4.1.8. Riego

En muchas regiones del globo, especialmente en las subtropicales, la lluvia anual no es suficiente para cubrir las necesidades de evaporación del suelo. Cualquier adición de agua por otra fuente en los suelos, bien por ascensión capilar desde el subsuelo o por riego, necesariamente implica la adición de sales al perfil del mismo, ya que todas las aguas naturales contienen cantidades variables de sales disueltas. Estas sales son principalmente las más solubles, cloruros de los cationes sodio, calcio, magnesio y potasio; y también sulfatos de los mismos cationes. Siempre que el agua adicionada localmente al suelo sea utilizada totalmente para uso de la vegetación, la salinización del perfil del suelo es inevitable. Así que todos los suelos de las regiones áridas o semiáridas se puede considerar que están sujetos a potencial salinización (JUAREZ, M. SANCHEZ, A. Química del suelo y medio ambiente)

3.6 Resumen de Información Secundaria

La información secundaria utilizada para la realización del Mapa de Conductividad Eléctrica de los Suelos ha sido obtenida de las siguientes fuentes:

- FAO Ecuador, Información para la elaboración del mapa nacional de fertilidad 2007 (archivo shapefile georreferenciado de valores de conductividad eléctrica de suelos)
- CLIRSEN-SIGAGRO, Generación de Geoinformación para la gestión del territorio y valoración de las tierras rurales de la cuenca del río Guayas 2008-2010 (Archivos shapefile georreferenciado de valores de conductividad eléctrica de suelos de la cuenca del Río Guayas).
- SIGAGRO, Información de geología, geomorfología, suelos, uso de los suelos, isotermas, isoyetas, tipos de clima, ecología y otros a escala 1:250 000 del Proyecto IICA-MAG-CLIRSEN 2002 (Coberturas en formato shapefile georreferenciados en sistema de referencia Provisional Sudamericano de 1956-PSAD 56).
- Tesis de Grado, Diagnóstico de la salinidad de los suelos cultivados en las principales áreas bajo riego en el Ecuador. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. BARRIGA, S.; MITE, F.; CALVACHE, M., 2003 (Valores de conductividad eléctrica de suelos georreferenciado, tabla)
- Compañía Consultora AGROPRECISIÓN Cia Ltda. Información de varios proyectos de clasificación de suelos realizados en el país 2007-2010 (Valores de conductividad eléctrica de suelos de los Proyectos realizados en San Juan Bosco-Morona Santiago; La Esperanza-Guayas Santa Elena, ForcaFrejol-Pichincha, Imbabura y Carchi, Chevron & Texaco-Sucumbíos-Francisco de Orellana, entre otros).
- Mapa Geológico Nacional de la República del Ecuador, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas, Instituto de Ciencias Geológicas – Londres (NERC) Cooperación técnica Británica, año 1982 segunda aproximación. Escala 1:1 000 000.
- Mapa Geológico Nacional, Editado por el Instituto Geográfico Militar – IGM, Obtenido del Atlas del Ecuador del Banco Central por Roy Royder año 1982. Escala 1:3 500 000.
- Mapa Geológico Nacional, Editado por el Instituto Geográfico Militar – IGM, Obtenido del Atlas del Ecuador. Escala 1:8 000 000.
- Mapa de Paisajes Físicos Nacional, Geografía Básica del Ecuador, realizado por: Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas CEDIG y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación-ORSTOM. Editado por el Instituto Geográfico Militar – IGM. Año 1989. Escala 1:1 000 000.
- Mapas de suelos, geomorfológicos, morfo-pedológicos, morfo-edafológicos, aptitud agrícola, uso de suelo y formaciones vegetales, clasificación bioclimáticas, déficit hídrico medio anual, déficit hídrico medio mensual, evapotranspiración y otros del Ecuador continental, PRONAREG-ORSTOM, años 1978 a 1984.

- Coberturas temáticas de aptitud agrícola, ecológico, formaciones vegetales, formaciones vegetales y uso de suelo, geomorfológico, morfopedológicos y de recursos hídricos. IICA-MAG-CLIRSEN 2002.
- Mapa de Paisajes Agrarios del Ecuador, Geografía Básica del Ecuador, Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica-CEDIG, IPGH, IRD, IGM., 1992.

5. METODOLOGÍA

Para establecer el Mapa de Conductividad Eléctrica de los Suelos del Ecuador, se dispuso como material de partida la información secundaria se la recopiló desde todas las fuentes disponible, adicionalmente se agregó información levantada en campo mediante sensores para determinar conductividad in situ, y así disponer de información fresca, actual y con el conocimiento del clima reinante en la zona al momento de adquirir el dato y un análisis del entorno (paisaje).

5.1. Flujograma del proceso

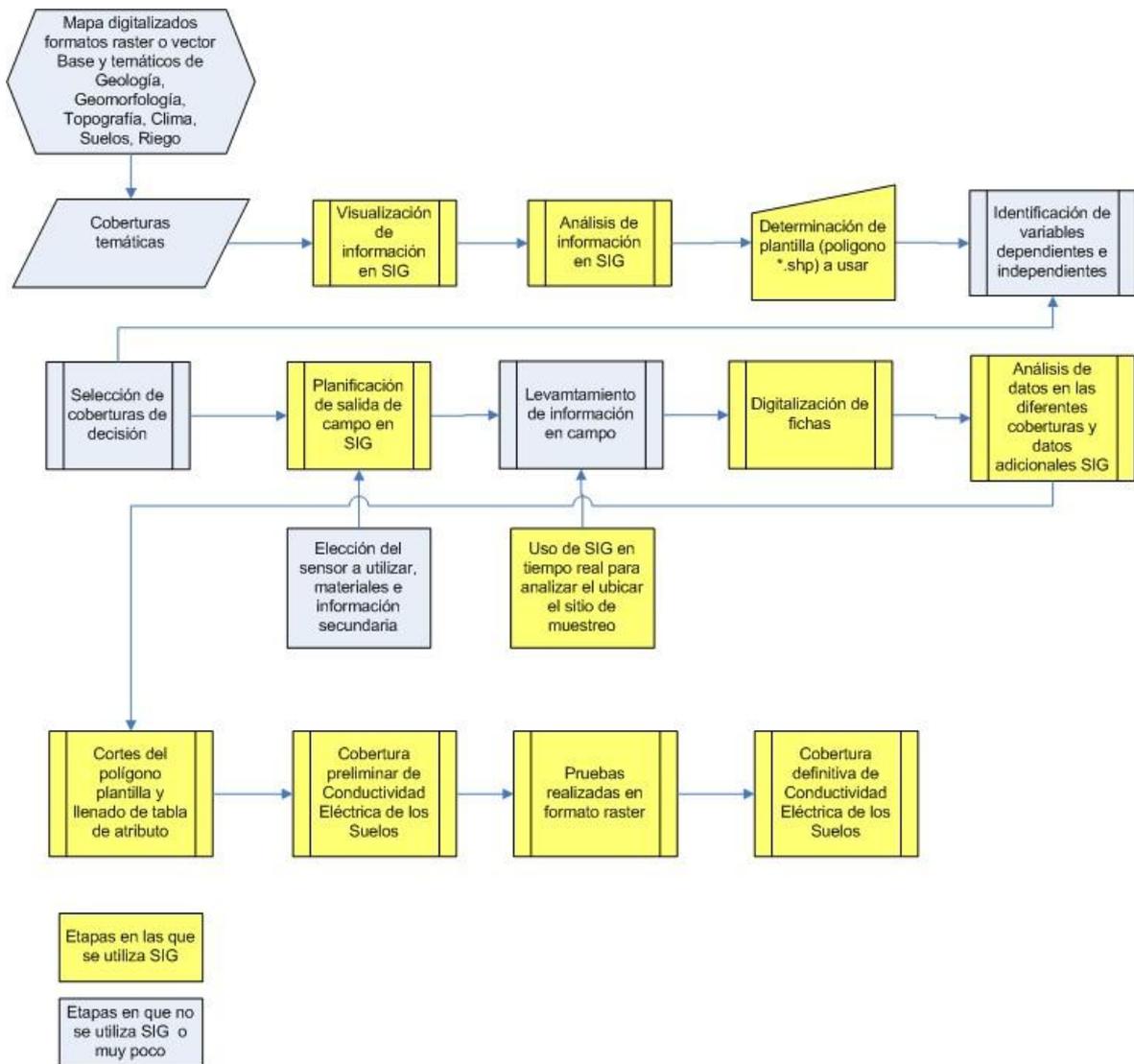


Figura 8. Flujograma del proceso realizado en la obtención del mapa de Conductividad Eléctrica de los Suelos del la República del Ecuador.

5.2. Tratamiento de la información secundaria

En base a la información recopilada de las fuentes antes mencionadas, se obtuvo una base de datos de conductividad eléctrica de todo el territorio continental de la República del Ecuador.

La información del proyecto IICA-MAG-CLIRSEN 2002, FAO 2007, la tesis de la Ing. Barriga Sandra y los datos adicionales, como estudios de suelos en los que existe reportes de análisis de conductividad eléctrica (CE), información necesaria para la clasificación de suelos y determinar limitantes de ocupación de suelos.

Se determinó necesario seleccionar únicamente la información de conductividad eléctrica del horizonte superficial del suelo (A1 o Ap), generalmente situado de 0 a 30 centímetros de profundidad.

Toda la información se la hizo disponible en formato digital, y en sistema espacial de referencia proyección Universal Transversa de Mercator – UTM y datum World Geodetic System año 1984 que se lo conoce mejor por sus siglas WGS 84.

En el caso que la información secundaria que se encontró en otro datum o en coordenadas geográficas, entonces se lo reproyectó o transformó el sistema espacial de referencia, esto con ayuda de la herramienta de proyección de vectores (ubicado en ArcToolbox, Project and Transformation), con lo cual se pudo trabajar desde el inicio del proyecto con la información digital en el sistema de georreferencia antes definido.

La información de todas las fuentes fue ingresada a una matriz que consta de los siguientes datos:

Cuadro 1. Matriz para el ingreso de información secundaria.

Código	Coordenada X	Coordenada Y	Conductividad Eléctrica (dS/m)	Fuente

Las fuentes de datos de valores de conductividad eléctrica del suelo son:

- FAO valores obtenidos de los muestreos de campo en el marco del proyecto de PRONAREG-ORSTOM y datos entregados por el laboratorio de suelos de AGROCALIDAD-Tumbaco.
- Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma de la Ing. Sandra Barriga, INIAP-Pichilingue.
- CLIRSEN levantamiento de geoinformación para la gestión del territorio.
- AGROPRECISION consultorías realizadas en temas de suelos para determinar la capacidad de uso y análisis de la fertilidad, en varias provincias de la Republica.

La base de datos ascendió aproximadamente a 9 300 datos de conductividad eléctrica distribuidos en todo el país, y la matriz en formato MS Excel quedó como la que se observa en la figura 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Codigo	X	Y	CE, dS m	FUENTE	DPA_DESPAR	DPA_DESPRO	DPA_DESCAN
2	L11-18	699402,725200	9512587,139500	3,340000	FAO	YANGANA (ARSENIO CASTILLO)	LOJA	LOJA
3	L11-17	697745,548300	9513323,662600	0,240000	FAO	YANGANA (ARSENIO CASTILLO)	LOJA	LOJA
4	L11-23	704785,690100	9514098,134000	2,500000	FAO	YANGANA (ARSENIO CASTILLO)	LOJA	LOJA
5	L11-22	704063,653800	9516660,198000	2,560000	FAO	YANGANA (ARSENIO CASTILLO)	LOJA	LOJA
6	L11-21	705088,479500	9516660,198000	0,500000	FAO	YANGANA (ARSENIO CASTILLO)	LOJA	LOJA
7	L11-19	700323,379100	9516914,212600	3,900000	FAO	YANGANA (ARSENIO CASTILLO)	LOJA	LOJA
8	L11-20	700323,379100	9519860,304900	4,950000	FAO	YANGANA (ARSENIO CASTILLO)	LOJA	LOJA
9	L11-16	699906,574200	9520700,579800	0,330000	FAO	YANGANA (ARSENIO CASTILLO)	LOJA	LOJA
10	L11-46	621877,134700	9523692,144000	1,560000	FAO	MACARA	LOJA	MACARA
11	L11-44	621073,644400	9523972,431300	0,470000	FAO	MACARA	LOJA	MACARA
12	L11-43	621708,962300	9524009,802900	0,350000	FAO	MACARA	LOJA	MACARA
13	L11-45	621606,190300	9524215,346900	0,160000	FAO	MACARA	LOJA	MACARA
14	L11-34	699360,302900	9526429,065000	0,280000	FAO	VILCABAMBA (VICTORIA)	LOJA	LOJA
15	L11-25	694749,808100	9532592,313600	2,340000	FAO	MALACATOS (VALLADOLID)	LOJA	LOJA
16	L11-3	681032,411200	9533931,798000	2,690000	FAO	PURUNUMA (EGUIGUREN)	LOJA	GONZANAMA
17	L11-24	689450,730500	9536405,584500	0,690000	FAO	MALACATOS (VALLADOLID)	LOJA	LOJA
18	L11-4	681669,398500	9541445,572800	0,280000	FAO	NAMBACOLA	LOJA	GONZANAMA
19	L11-14	700980,246100	9547382,493400	3,110000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
20	L11-13	700214,108100	9548824,635600	0,610000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
21	L11-12	700529,576700	9548869,702500	1,200000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
22	L11-33	698472,953500	9550802,583900	0,260000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
23	L11-29	701690,306800	9551760,129600	0,760000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
24	L11-1	691168,068400	9551788,429900	0,480000	FAO	EL TAMBO	LOJA	CATAMAYO
25	L11-28	698281,444400	9552794,278800	0,800000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
26	L11-32	701000,873900	9552870,882500	0,660000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
27	L11-5	700894,124300	9555241,967400	0,640000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
28	L11-8	701361,414900	9560191,032500	0,350000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
29	L11-11	702228,356600	9560291,064300	0,970000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
30	L11-7	702094,981000	9560491,127800	3,040000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
31	L11-9	701194,695300	9560502,242400	0,380000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
32		679811,000000	9560586,000000	14,500000	TESIS SANDRA BARRIGA	CATAMAYO (LA TOMA)	LOJA	CATAMAYO
33	L11-10	701383,644100	9560791,223000	1,180000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
34	L11-15	701833,295600	9560921,315400	0,390000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA
35	L11-6	702395,076200	9560946,827900	3,780000	FAO	LOJA	LOJA	LOJA

Figura 9. Matriz de datos de conductividad eléctrica del horizonte superficial del suelo, MS Excel.

Esta matriz realizada en formato MS Excel, fue revisada exhaustiva para determinar inconsistencias en cuanto a valores de coordenada o diferencia de datum, puesto que en alguna información se refería a localidades, sectores o parroquias, las cuales fueron confirmadas con la división político administrativa de la Republica del Ecuador (disponible en http://www.inec.gob.ec/web/guest/ecu_est/territorio/div_pol_adm/nac_pro) y los nombres de sectores lo localidades fueron verificados con ayuda de las cartas topográficas escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Militar-IGM, y también se verificó con ayuda de la cobertura de poblados del proyecto IICA-MAG-CLIRSEN 2002.

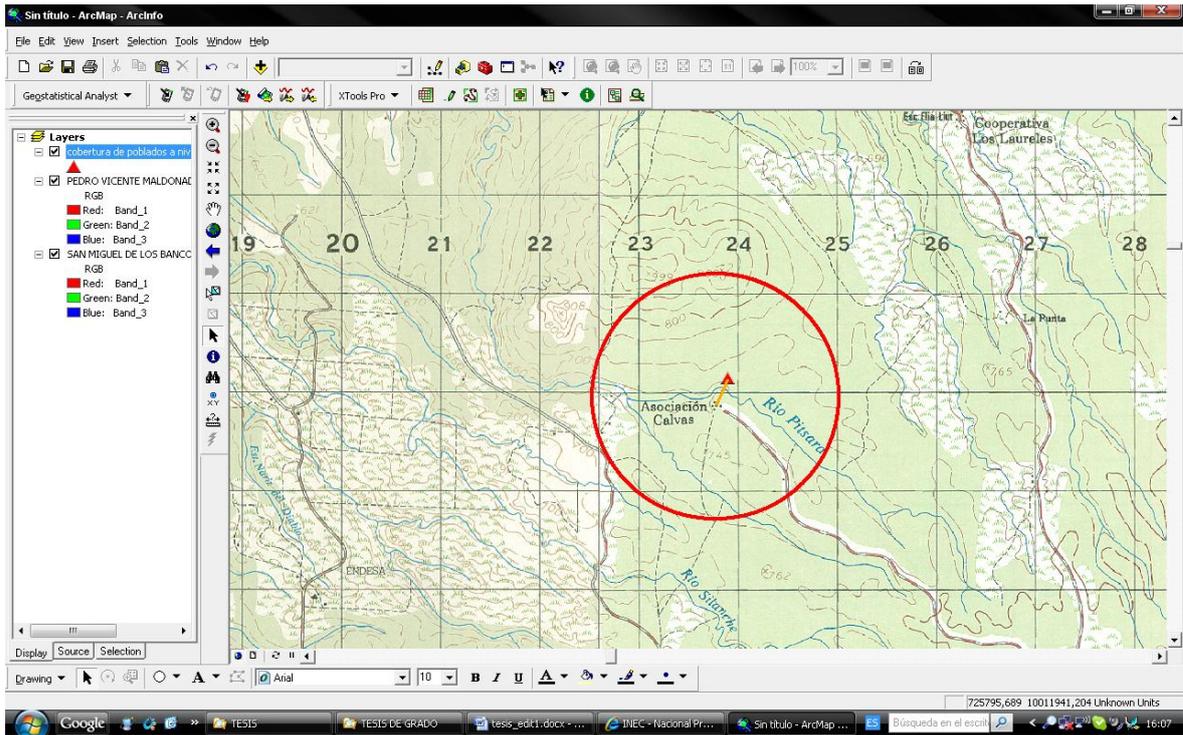


Figura 10. Dato de conductividad en formato shapefile, entidad puntos, desplazado por datum

Para procesar la matriz, se ingresó estos datos en el software de SIG ArcGIS 9.x, ligados por la coordenada de referencia.

Lo que permitió analizar cada caso para determinar desplazamientos por datum como se muestre en la figura 3 o simplemente eliminar las inconsistencias.

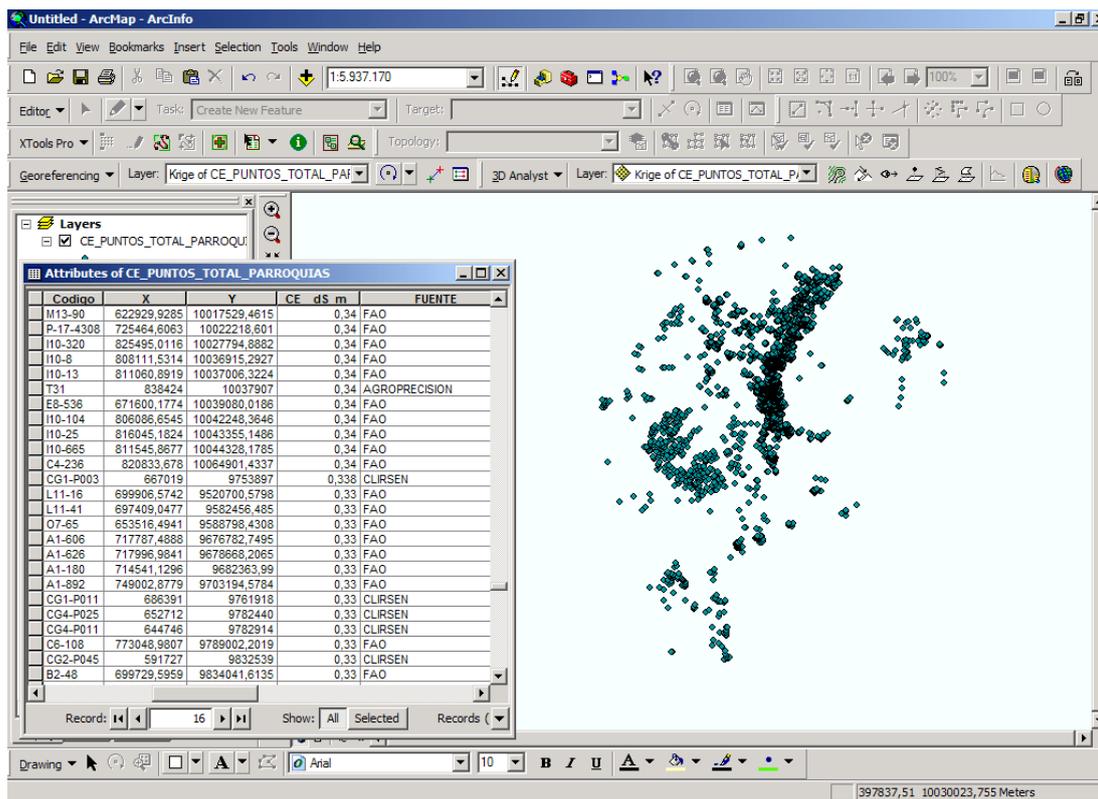


Figura 11. Matriz de datos de conductividad eléctrica de suelos, integrados en una geodatabase.

Seguido a esto, se procedió a eliminar los datos inconsistentes o sesgados según la Conductividad Eléctrica-CE, asumiéndose que posiblemente datos que al transcribir a la base de datos de cada fuente fueron mal digitalizados, por la variación del dato.

Este filtro mermó a 9 200 datos aproximadamente la base original.

Luego, para tener la localización de cada punto, se empalmó con la información parroquial, cantonal y provincial, teniendo como resultado un archivo con datos de conductividad, ubicación con sistema de referencia UTM WGS 84 y los nombres de la parroquia, cantón y provincia a la que pertenece cada observación.

Shape	Codigno	X	Y	CE dS.m	FUENTE	DPA	DPA DESPAR	DPA DESPRO	DPA DESCA
Point	P-17-1721	777959.7181	9940888.4477	169.4	FAO	MACHACHI	PICHINCHA	MEJIA	
Point	P-17-4672	790801.5304	9988409.9028	123.7	FAO	CALDERON (CARAPUNGO)	PICHINCHA	QUITO	
Point	P-17-4755	778154.9088	9984481.6044	115.3	FAO	NONO	PICHINCHA	QUITO	
Point	A1-922	677081.6074	9640996.5843	104.9	FAO	TESIS SANDRA BARRIGA	SAN VICENTE DE RUSIR	CARCHI	BOLIVAR
Point	07-17	621232.398	9628131.3428	69.58	FAO	SANTA ISABEL (CHAGUARURCO)	SANTA ISABEL (CHAGUARURCO)	AZUAY	SANTA ISAB
Point	07-20	610188.8783	9629246.9918	64.9	FAO	EL RETRO	EL RETRO	EL ORO	MACHALA
Point	P-17-2993	809289.6658	10004925.2368	64.4	FAO	EL RETRO	EL RETRO	EL ORO	MACHALA
Point	P-17-2828	799559.1101	10008821.2703	63.2	FAO	TABACUNDO	TABACUNDO	PICHINCHA	PEDRO MONC
Point		657175	9894868	80	TESIS SANDRA BARRIGA	ROCAFUERTE	ROCAFUERTE	ROCAFUERTE	ROCAFUERTE
Point	P-17-2992	809373.1753	10004947.508	58.5	FAO	TABACUNDO	TABACUNDO	PICHINCHA	PEDRO MONC
Point	P-17-2991	808439.983	10004982.7856	58	FAO	TABACUNDO	TABACUNDO	PICHINCHA	PEDRO MONC
Point	I10-588	845176.138	10042593.6946	53.7	FAO	CHUGA	CHUGA	IMBABURA	PIHAMPIRO
Point	P-17-5949	792307.7958	9953484.3307	53.22	FAO	PINTAG	PINTAG	PICHINCHA	QUITO
Point	E8-47	600823.9277	10078294.6563	52.82	FAO	QUINGUE (OLMEDO PERDOMO FRANCO)	QUINGUE	ESMERALDAS	MUISNE
Point	P-17-2838	811367.895	10005261.1635	47	FAO	TABACUNDO	TABACUNDO	PICHINCHA	PEDRO MONC
Point	P-17-3278	811850.2601	10009658.6516	44.4	FAO	TUIGACHI	TUIGACHI	PICHINCHA	PEDRO MONC
Point	P-17-4723	798878.0028	9985446.5917	44.28	FAO	CHECA (CHILPA)	CHECA (CHILPA)	PICHINCHA	QUITO
Point	P-17-1300	789496.92	9930800.1049	42.3	FAO	MACHACHI	MACHACHI	PICHINCHA	MEJIA
Point	C5-879	768444.844	9915526.6815	40.4	FAO	MULALO	MULALO	COTOPAXI	LATACUNGA
Point	P-17-7011	723754.7121	9958475.8707	38.7	FAO	ALLURIQUIN	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO	SANTO DOMI
Point	M13-77	610933.129	10006254.7488	38.6	FAO	PEDERNALES	PEDERNALES	MANABI	PEDERNALES
Point		620697	10056326	38	TESIS SANDRA BARRIGA	SALINAS	IMBABURA	IMBABURA	BARRA
Point	P-17-7018	675428.2712	9971139.4121	37.6	FAO	EL CARMEN	MANABI	EL CARMEN	EL CARMEN
Point	C5-237	764241.3469	9909748.0433	36.4	FAO	GUAITACAMA (GUAYTACAMA)	COTOPAXI	LATACUNGA	LATACUNGA
Point	I10-56	811414.0758	10003807.6022	34.34	FAO	SAN JOSE DE CHALTURA	IMBABURA	ANTONIO AN	ANTONIO AN
Point	P-17-826	768679.7876	9938965.3814	34	FAO	ALOASI	PICHINCHA	MEJIA	
Point	I10-651	608869.5562	10055607.6013	33.9	FAO	PABLO ARENAS	IMBABURA	SAN MIGUEL	CUENCA
Point		722202	9688504	33.9	TESIS SANDRA BARRIGA	SINIGAY	AZUAY	AZUAY	AZUAY
Point	P-17-4714	797427.9628	9985961.9481	32.6	FAO	CHECA (CHILPA)	PICHINCHA	QUITO	
Point	P-17-2825	799304.9824	10009053.1927	32.4	FAO	MALCHINGUI	PICHINCHA	PEDRO MONC	
Point	C5-358	763088.0136	9905038.6871	26.96	FAO	GUAITACAMA (GUAYTACAMA)	COTOPAXI	LATACUNGA	LATACUNGA
Point	I10-54	611339.0594	10040252.9009	24.49	FAO	SAN JOSE DE CHALTURA	IMBABURA	ANTONIO AN	ANTONIO AN
Point		642450	9773895	23.5	TESIS SANDRA BARRIGA	SAN JACINTO DE YAGUACHI	MANABI	SAN JACINTO	SAN JACINTO
Point	P-17-5950	792425.4612	9953154.8676	23.27	FAO	PINTAG	PICHINCHA	QUITO	
Point	C5-1556	764480.5723	9921260.6703	22.9	FAO	SAN JUAN DE PASTOCALLE	COTOPAXI	LATACUNGA	LATACUNGA
Point	P-17-1755	776897.7721	9943789.0904	22.81	FAO	MACHACHI	PICHINCHA	MEJIA	

Figura 12. Tabla de atributos del archivo integrado de toda la información secundaria.

Con lo cual se generó en ArcGIS 9.x un archivo shapefile con todos los datos recopilados, primero en un evento y finalmente exportando como formato shapefile.

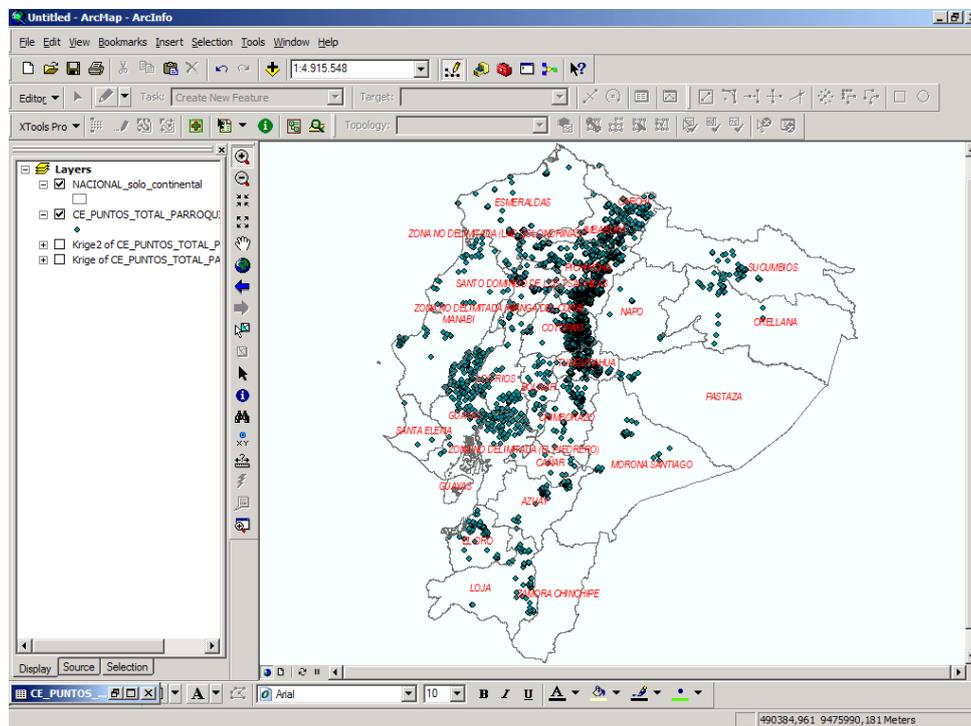


Figura 13. Visualización de los sitios de observación con valores de conductividad eléctrica.

5.3. Establecimiento de Mapas de Aproximación de Conductividad Eléctrica de los Suelos del Ecuador

Para este fin, se procedió a establecer las variables que afectan la Conductividad Eléctrica-CE de los suelos, obteniéndose criterios en base a la información secundaria recopilada.

5.3.1. Clima

Los climas se establecen recogiendo las observaciones de los parámetros climáticos día a día en las diversas estaciones meteorológicas durante una serie de años, que al menos deben ser veinticinco, para obtener una fiabilidad mínima. El compendio de todos los parámetros climáticos permite establecer las distintas zonas climáticas en el país.

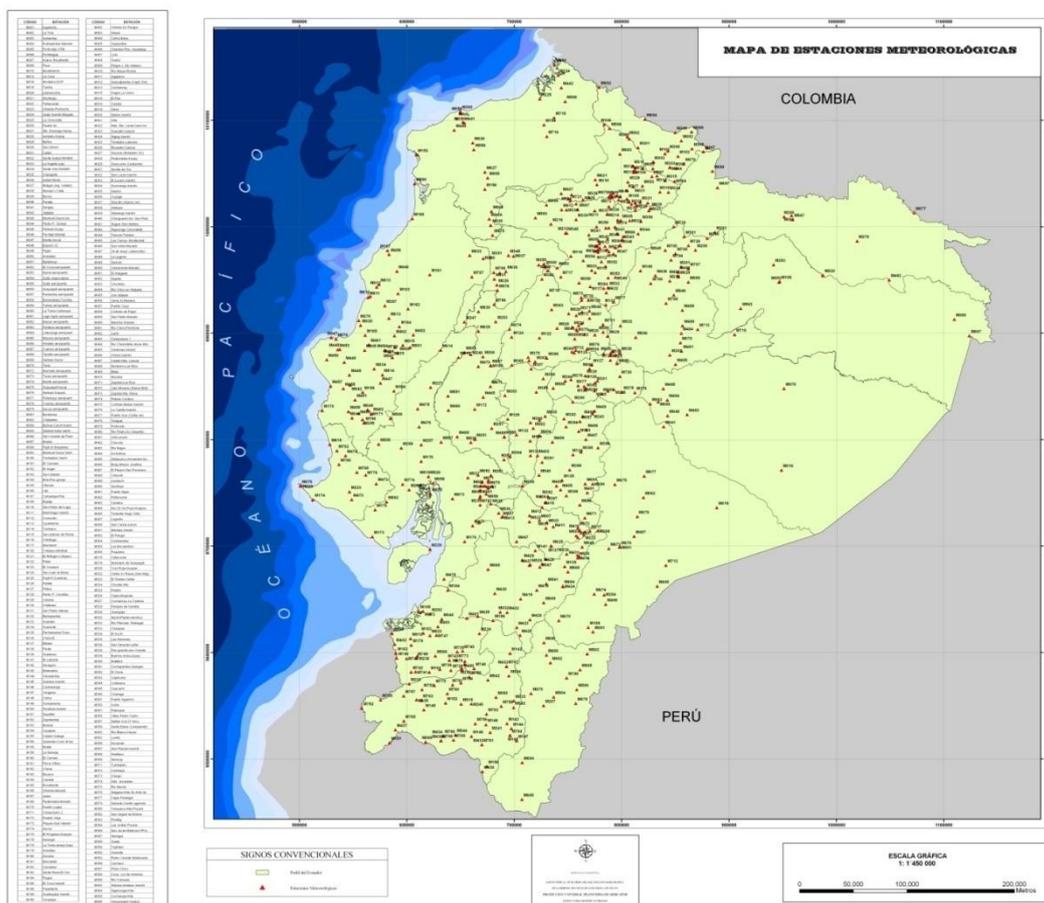


Figura 14. Estaciones Meteorológicas ubicadas en el territorio ecuatoriano continental; IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.

5.3.1.1. Temperatura

Para realizar el Mapa de Temperatura de los suelos se utilizó la información recopilada por el Instituto Nacional de Meteorología e hidrología–INAMHI de las

temperaturas medias de varios años en las diferentes estaciones meteorológicas ubicadas en el Ecuador, además de los mapas de clima que se observan en el mapa de aptitud agrícola de PRONAREG-ORSTOM.

Dentro de la base de datos del archivo shapefile (*.shp) obtenido del SIGAGRO proyecto IICA-MAG-CLIRSEN año 2002 (proyección UTM y datum WGS 1984); de las estaciones meteorológicas se puede observar diferente tipo de información incluyendo los valores de temperatura media anual, los cuales han sido homogenizados por adecuados procesos estadísticos. Esta información luego de ser validada se utilizó para realizar una interpolación mediante el método geoestadístico de Kriging.

KRIGING.- es un método geoestadístico de interpolación que ha probado ser útil y popular en muchos campos (Burgess y Webster, 1980). En la actualidad se utiliza este método de interpolación para la creación de modelos de elevación digital (mapas de curvas de nivel), la planificación del aprovechamiento forestal de los bosques naturales, entre otros. Dicho método provee, a partir de una muestra de puntos, ya sean regular o irregularmente distribuidos, valores estimados de aquellos sitios donde no hay información, sin sesgo y con una varianza mínima conocida.

Para realizar este proceso de interpolación se utilizó el software ArcGis 9.3 de ESRI y se siguió los siguientes procesos:

Interpolación.- Mediante la herramienta de 3D Analyst y el método de Kriging utilizando las temperaturas y un modelo esférico

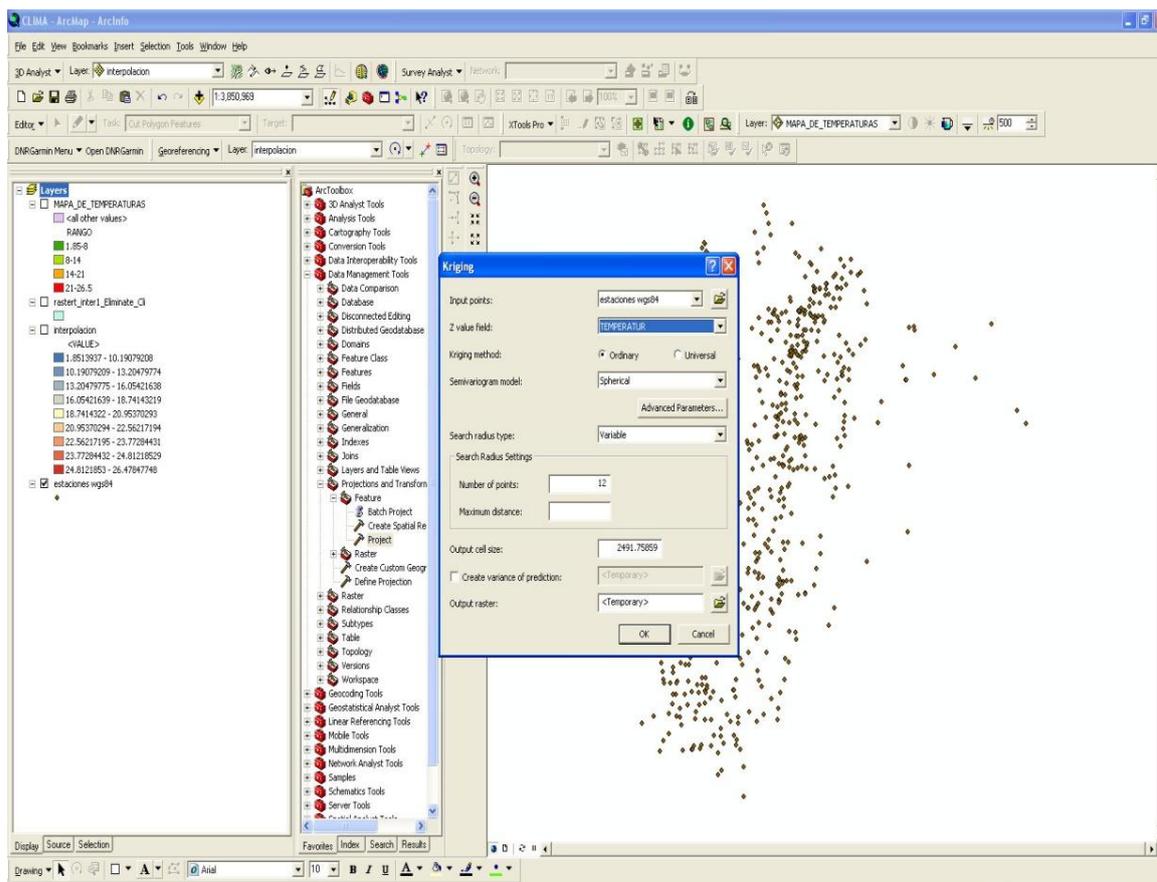


Figura 15. Interpolación Método de Kriging para temperatura media anual IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.

El momento que se obtuvo un modelo a partir de la interpolación de los valores temperatura, se procedió a dar rangos, estos fueron aplicados en base a los rangos de temperatura que utiliza el sistema de clasificación de suelos de los Estados Unidos, esto porque los rangos tienen relación en procesos de acumulación o mineralización de la materia orgánica.

Cuadro 2. Regímenes de temperatura del suelo y rango.

Nombre del Régimen de temperatura del suelo	Rango
Isofrígido	La temperatura media anual del suelo es menor de 8 °C.
Isomésico	La temperatura media anual del suelo es igual o mayor de 8 °C, pero menor de 15 °C.
Isotérmico	La temperatura media anual del suelo es igual o mayor de 15 °C, pero menor de 22 °C.
Isohipertérmico	La temperatura media anual del suelo es 22 °C o mayor

Fuente: SOIL SURVEY STAFF, Claves de la Taxonomía de suelos.
Año: 2006.

El modelo de temperatura, obtenido a partir de la interpolación de la información, fue clasificado en los 4 rangos presentados en el cuadro 3, esto porque la información disponible de INAMHI es la temperatura del aire y no del suelo, pero la información requerida es la temperatura del suelo.

Cabe mencionar que en el programa de regionalización del país realizado por el PRONAREG y el apoyo de ORSTOM, los científicos encargados del área de suelos determinaron los siguientes regímenes de temperatura del suelo adaptados de la clasificación del SSS-USDA:

Cuadro 3. Regímenes de temperatura del suelo y rango.

Nombre del Régimen de temperatura del suelo	Rango
Isofrígido	La temperatura media anual del suelo es menor de 10 °C.
Isomésico	La temperatura media anual del suelo es igual o mayor de 10 °C, pero menor de 13 °C.
Isotérmico	La temperatura media anual del suelo es igual o mayor de 13 °C, pero menor de 21 °C.
Isohipertérmico	La temperatura media anual del suelo es 21 °C o mayor

Fuente: PRONAREG-ORSTOM, Las condiciones del medio natural.
Año: 1992.

La temperatura del suelo y la del aire en contacto con él están íntimamente relacionadas. El contenido de calor en el suelo es función de las características y estado del sistema, flujo radiante que recibe, propiedades térmicas que posee, contenido a agua en sus distintos puntos. La temperatura de un comportamiento del suelo viene determinada por cambios energéticos con el medio exterior y las transferencias de calor con los comportamientos contiguos. La importancia de la temperatura ha sido reconocida por distintos sistemas de clasificación de suelos (PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. EDAFOLOGÍA Para la agricultura y el medio ambiente. 2003).

La radiación solar calienta la superficie del suelo durante el día y ésta se enfría a lo largo de la noche. Los datos experimentales han puesto de manifiesto que la variación de la temperatura sigue un modelo sinusoidal. La amplitud no es constante, sino que existe un efecto de amortiguamiento en función de la profundidad. La profundidad máxima de penetración es aquella a la que la amplitud es 1/100 de la amplitud de la variación de la temperatura en la superficie del suelo.

Por lo general, se considera que la parte del suelo situada a 50 cm o más sólo se ve afectada por las oscilaciones estacionales de temperatura, pero no por los cambios a lo largo del día. Por ello se toma la profundidad de 50 cm como referencia para establecer el régimen de temperatura del suelo (PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. EDAFOLOGÍA Para la agricultura y el medio ambiente. 2003).

La temperatura del suelo depende no sólo de las condiciones climatológicas sino también de diversos factores del suelo. La luz solar que incide sobre la tierra es parcialmente absorbida por el suelo y parcialmente reflejada en la atmósfera. Suelos oscuros absorben más luz solar, de forma que tienden a ser ligeramente más calientes que los suelos de color pálido.

La luz solar absorbida por el suelo eleva la temperatura tanto de las partículas minerales como del agua del suelo. Se necesita cinco veces más energía para calentar agua que para calentar un volumen igual de partículas minerales. Como consecuencia, es necesario mucha menos energía para calentar suelos secos. Los suelos arenosos, que retienen la menor cantidad de agua, tienden a calentarse más rápidamente en primavera y permanecer más calientes durante la estación (PLASTER, E. La ciencia del suelo y su manejo, 2003).

El flujo de calor normalmente se utiliza separado entre los minerales y el agua, por simplificar, pero en el suelo es complicado mantener esta separación, porque el suelo raramente está seco o totalmente saturado. Al existir una parte de la porosidad total que está llena de aire, el agua puede evaporarse en ella, con lo que el flujo de total de calor sensible, intervendrá tanto en la fase líquida, como en la fase de vapor de agua (PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; POCH, R., Introducción a la edafología, Uso y protección del suelo. 2008).

La medida de la temperatura del suelo es una función del tiempo y del punto considerado. Para su medida se utilizan sensores de temperatura que pueden ser termómetros de suelo o geotermómetros. Las medidas en campo requieren una cuidadosa colocación del elemento sensible para lograr un contacto adecuado. La instalación se la puede hacer a distintas profundidades, si bien para caracterizar el régimen de temperatura de un suelo, la medida se ha normalizado a 50 cm (SSS 1975, 1999), ya que no se ve afectada por las oscilaciones diarias de temperatura, sino por el ciclo anual.

La temperatura del suelo es una medida de la que se dispone de muy pocos datos. Se acepta que la temperatura del suelo a 50 centímetros de profundidad es equivalente a la del aire atmosférico (en grados centígrados) más 1 grado centígrado (JORDAN, A. Manual de edafología. 2006)

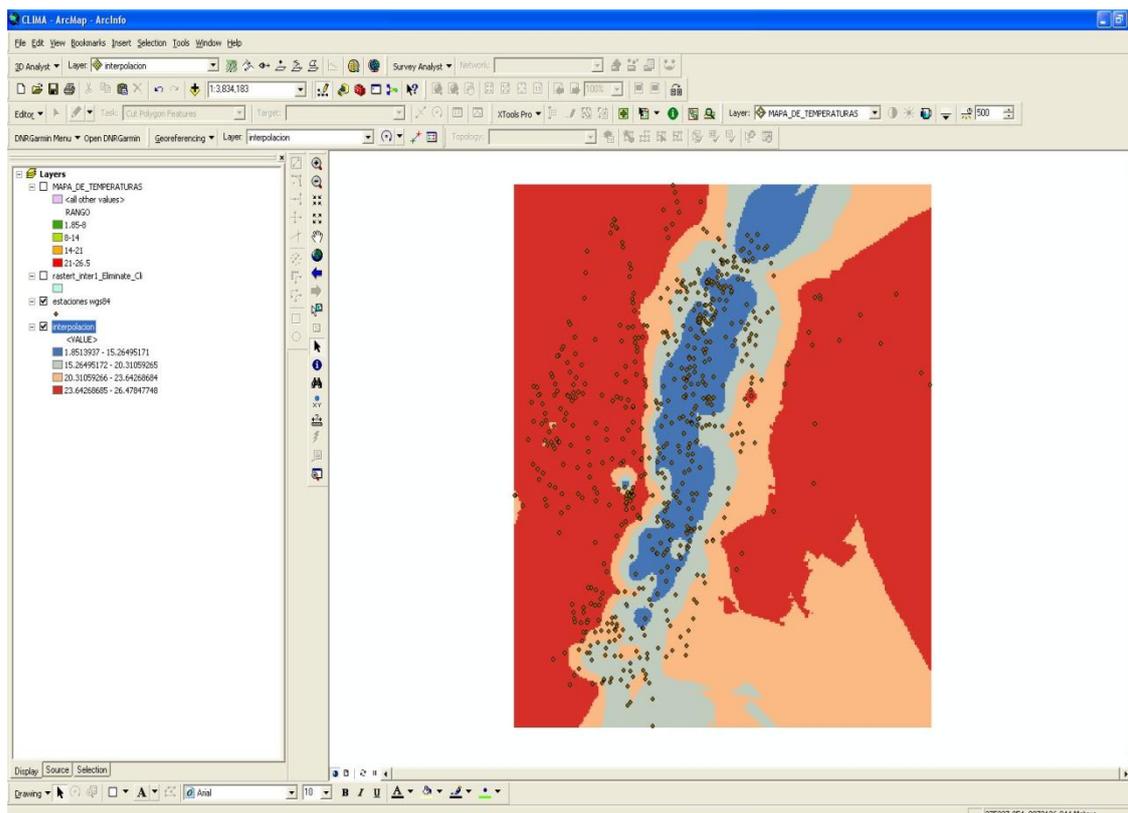


Figura 16. Resultado de Interpolación Método de Kriging para temperaturas medias anuales. IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.

Después de obtener el resultado de la interpolación, se exporta a un formato raster *.grid con el fin de editar el archivo, aquí es donde se adiciona los rangos de los valores producidos en la interpolación.

En razón a la premisa anterior de incremento de 1° C a la temperatura del aire, se seleccionó las áreas incluidas en los rangos que se muestran en el cuadro 3 pero incrementado 1 grado centígrado, para delimitar en relación a la temperatura del suelo.

Finalmente, en el software ArcGis se realizó un corte con la herramienta “clip” en base a información oficial del perfil del Ecuador, que ha sido descargado de la página de Instituto Nacional de Estadísticas de Censos –INEC, dirección que fue colocada en el acápite anterior.

Para disponer de un manejo más sencillo de este archivo, se genera un campo con los valores de superficie en hectáreas como unidad de medida, esto para cada uno de los polígonos y así eliminar polígonos pequeños debido al área y la escala con la que se está trabajando. En este caso se eliminó los polígonos más pequeños siendo absorbidos por los más grandes que se encontraban de vecinos espaciales, esto mediante la herramienta “eliminate” (herramienta ubicada en ArcToolbox, Data Management tools y dentro de Generalization) los polígonos menores a 1 000 hectáreas se integraron a los polígonos de mayor tamaño que se encuentran de vecinos espaciales.

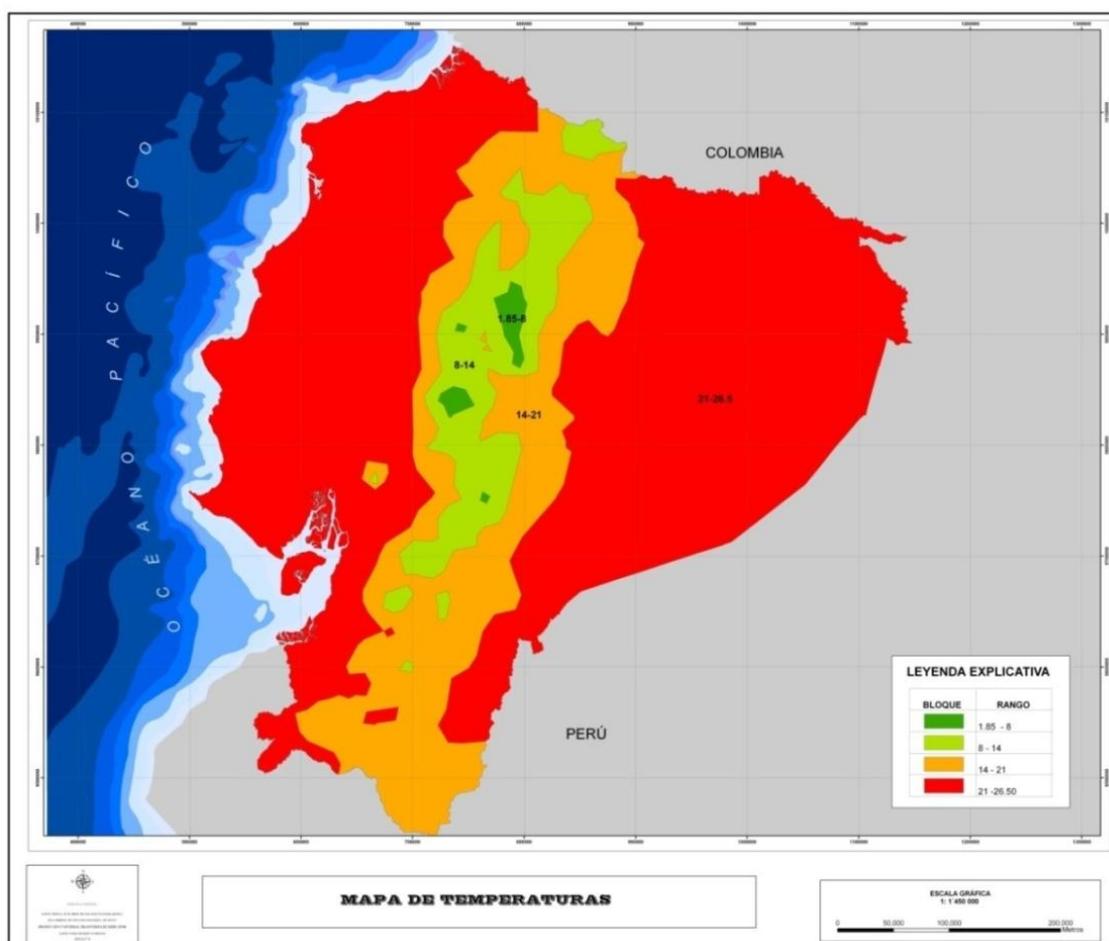


Figura 17. Mapa de Temperatura media anual del aire, obtenido mediante interpolación de las temperaturas promedio anual de varias estaciones meteorológicas ubicadas a nivel nacional. IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.

La temperatura en el Ecuador varía en forma previsible según la altitud. Al nivel del mar en la costa ecuatoriana, el promedio anual de temperatura es de 25°C. Según el porcentaje de error adiabático, la temperatura disminuye en 0,5°C por cada aumento de 100 m en elevación en las montañas tropicales húmedas (HUTTEL, C.; Las grandes formaciones climáticas y sus formaciones vegetales naturales. 1992), según esta afirmación los datos obtenidos se corroboraron con las alturas haciendo una comparación temperatura del ambiente y altura m.s.n.m.

5.3.1.2. Humedad

La misma información de las estaciones meteorológicas de SIGAGRO, que fue generada en el marco del proyecto IICA-MAG-CLIRSEN año 2002, sirvió para realizar el modelo de interpolación de precipitación media anual, con lo que se generó el mapa de precipitación nacional.

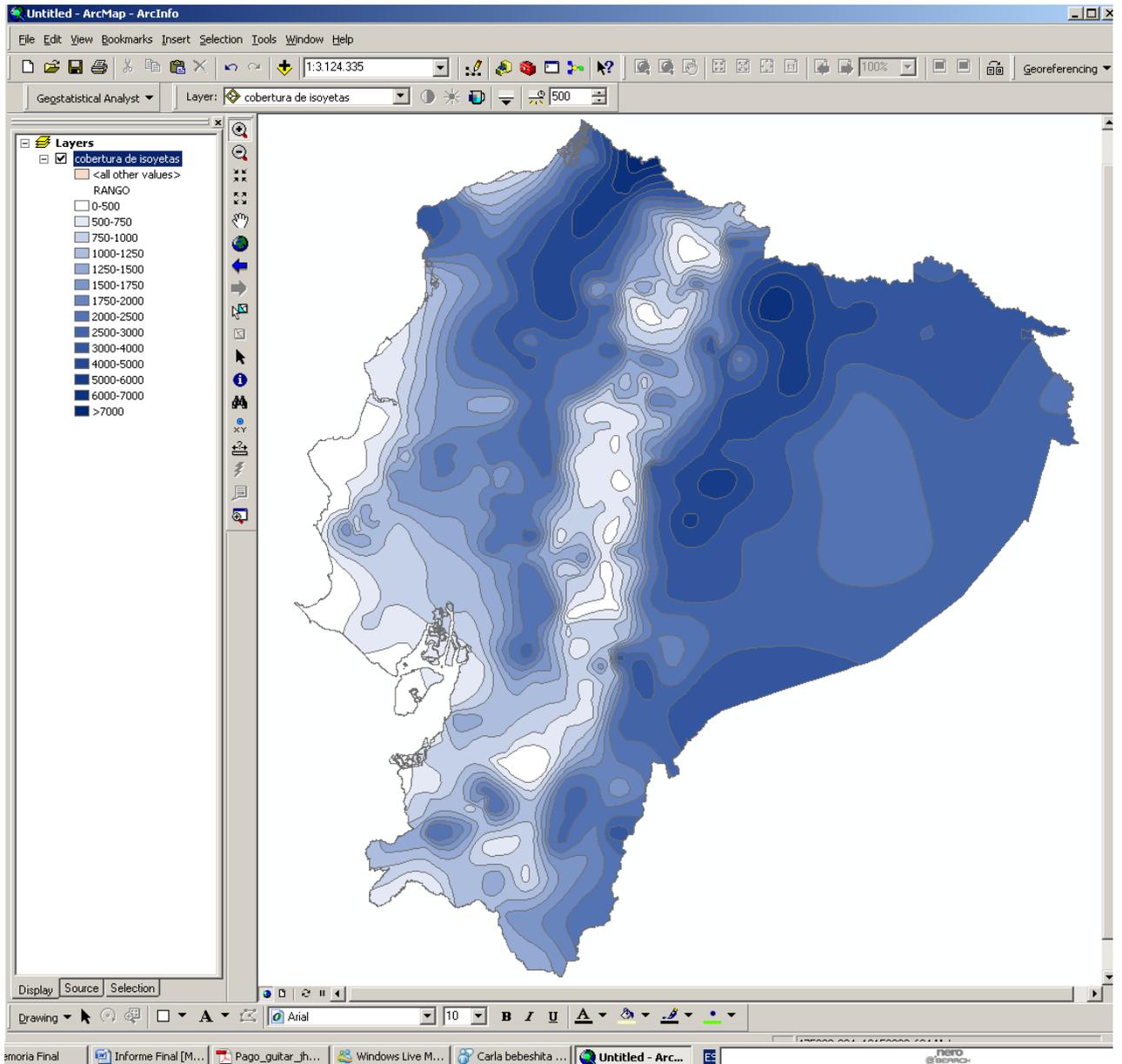


Figura 18. Cobertura de Isoyetas escala 1:250 000 IICA-MAG-CLIRSEN, 2002.

Para el análisis de precipitación se tomó en cuenta la cobertura de déficit hídrico para identificar las zonas con mayor cantidad de meses secos, lo cual permitirá identificar las áreas que permanecen el mayor tiempo seco.

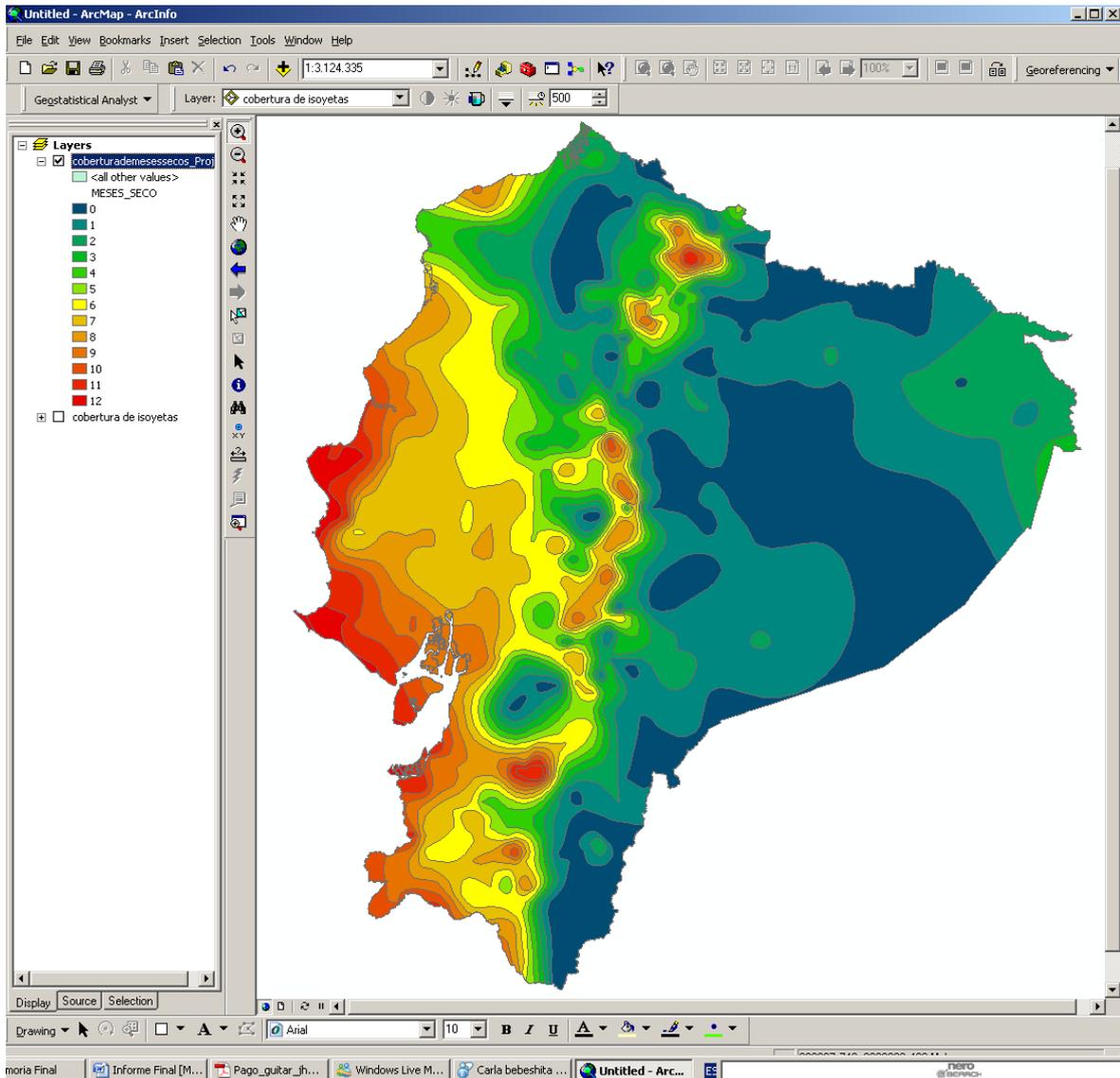


Figura 19. Cobertura de meses secos o déficit hídrico del proyecto IICA-MAG-CLIRSEN 2002.

También se analizó el mapa de déficit hídrico generado en el marco del PRONAREG-ORSTOM, esta información también oficial permite identificar las áreas que presentan mayor período seco.

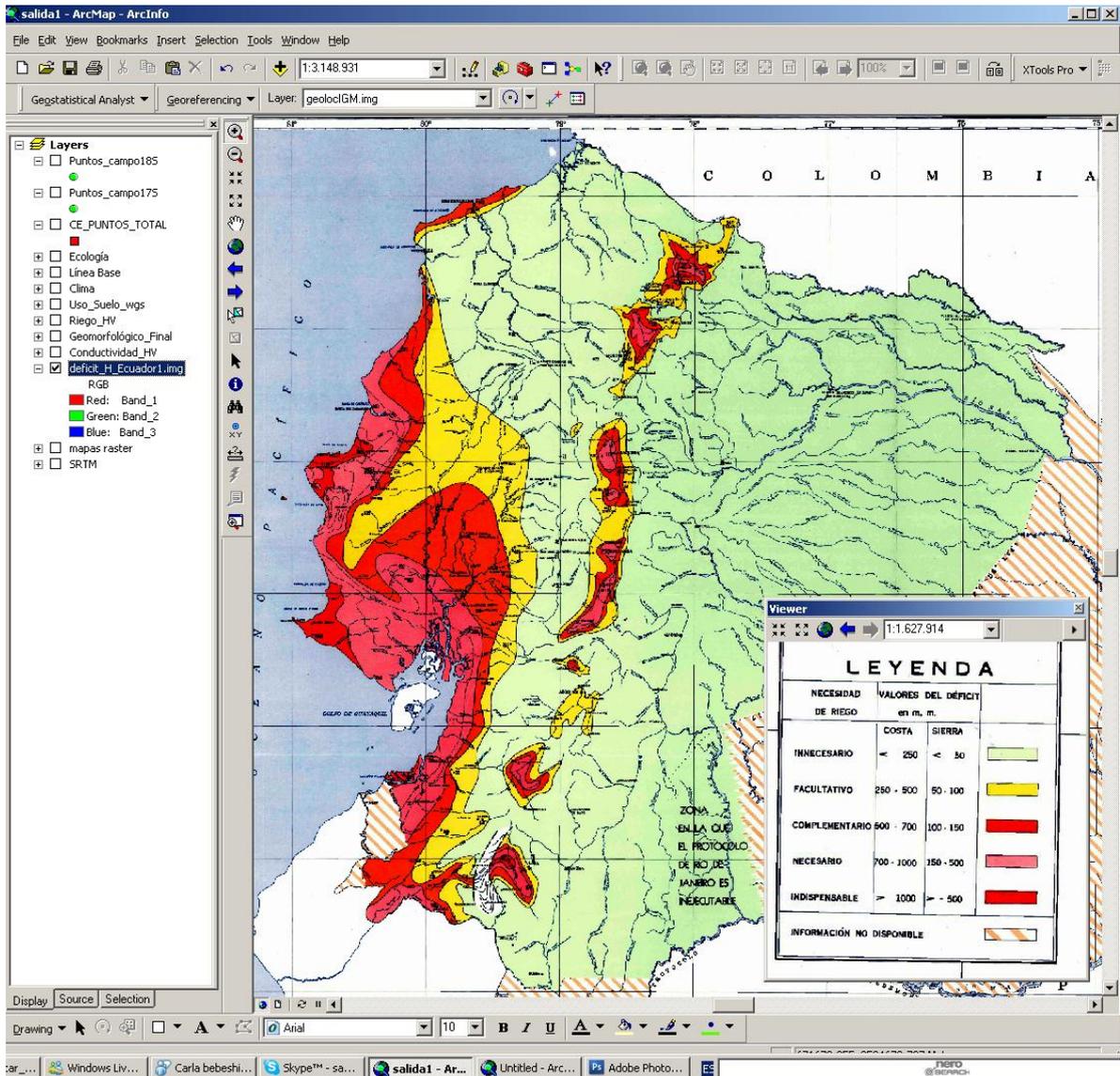


Figura 20. Mapa de déficit hídrico medio anual escala 1:1 000 000 de PRONAREG-ORSTOM 1983.

La figura 13, presenta el mapa de déficit hídrico medio anual, donde se identifica las zonas con mayor período seco, pero también fue necesario analizar las zonas por déficit medio mensual (figura 14) para realizar un mejor análisis del territorio en relación a la distribución mensual de la precipitación. Cabe recalcar que muchas de las áreas que se presentan con déficit de humedad cuya fuente es la precipitación, se encuentran en la zona natural de inundación (llanura de plana a ligeramente ondulada de inundación), por lo cual la humedad en los suelos permanece mayor tiempo a pesar que no exista precipitación.

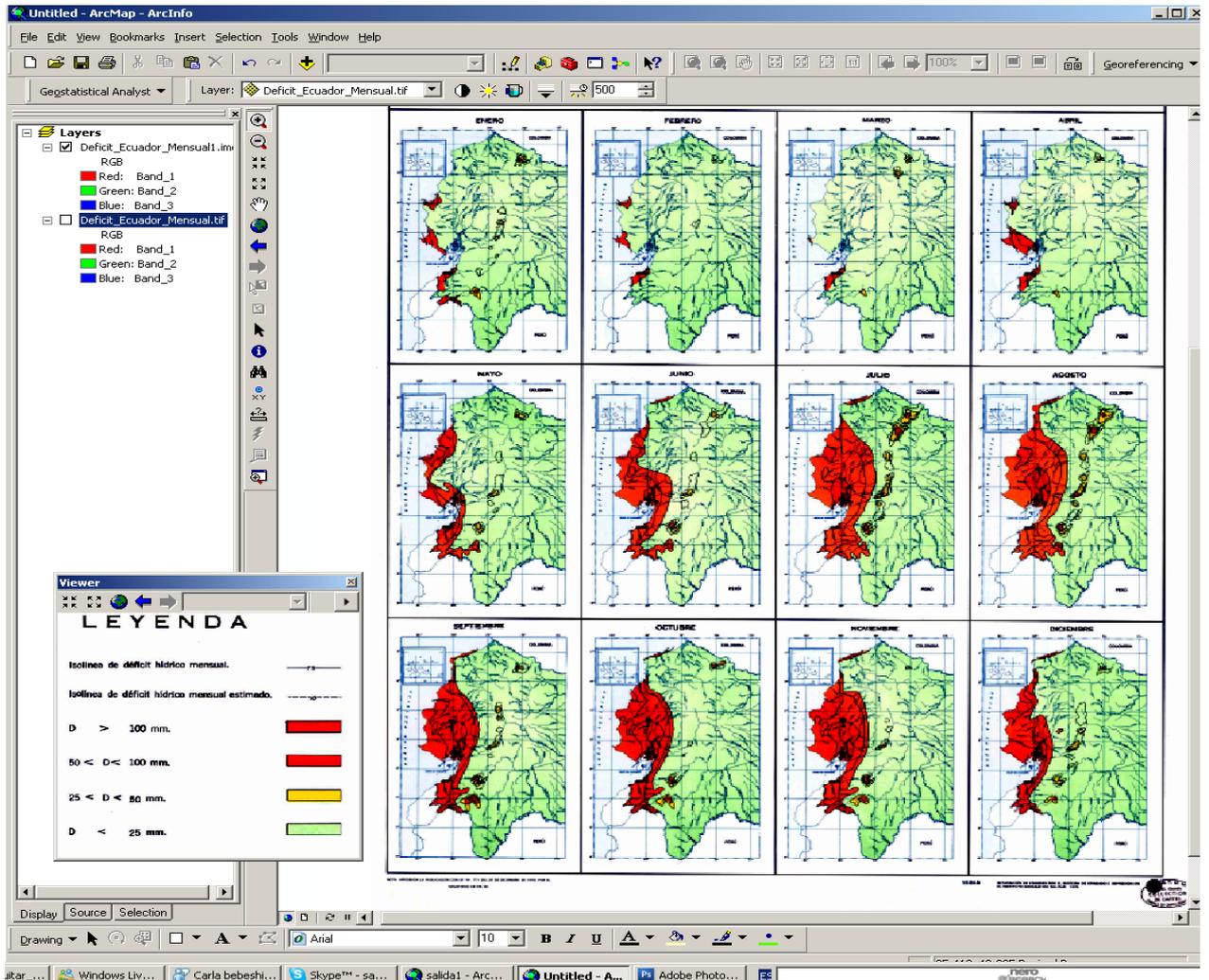


Figura 21. Mapa de déficit hídrico medio mensual escala 1:1 000 000 de PRONAREG-ORSTOM.

Finalmente, luego de un análisis de toda la información de temperatura y humedad se definió en utilizar la cobertura de caracterización bioclimática, la cual cruza información de precipitación, temperatura y fue validada con la información biológica (formaciones vegetales). Esta cobertura fue utilizada en campo para analizar las zonas de muestreo junto con las otras coberturas que se consideraron principales (geología, geomorfología y textura).

En las figuras 15 y 16 se muestra las coberturas de clasificación bioclimática a escala 1:1000 000, y en la figura 17 se presenta la leyenda temática, la cual presenta la relación temperatura-precipitación con las unidades mapeadas.

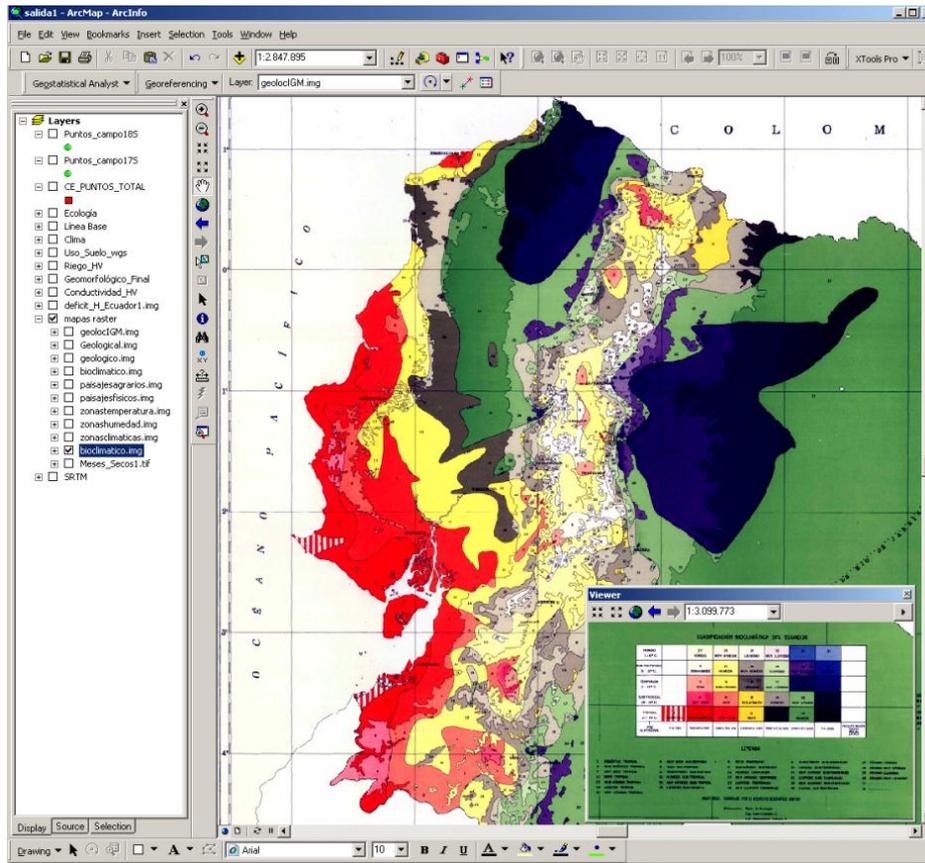


Figura 22. Mapa bioclimático nacional PRONAREG-ORSTOM año 1978.

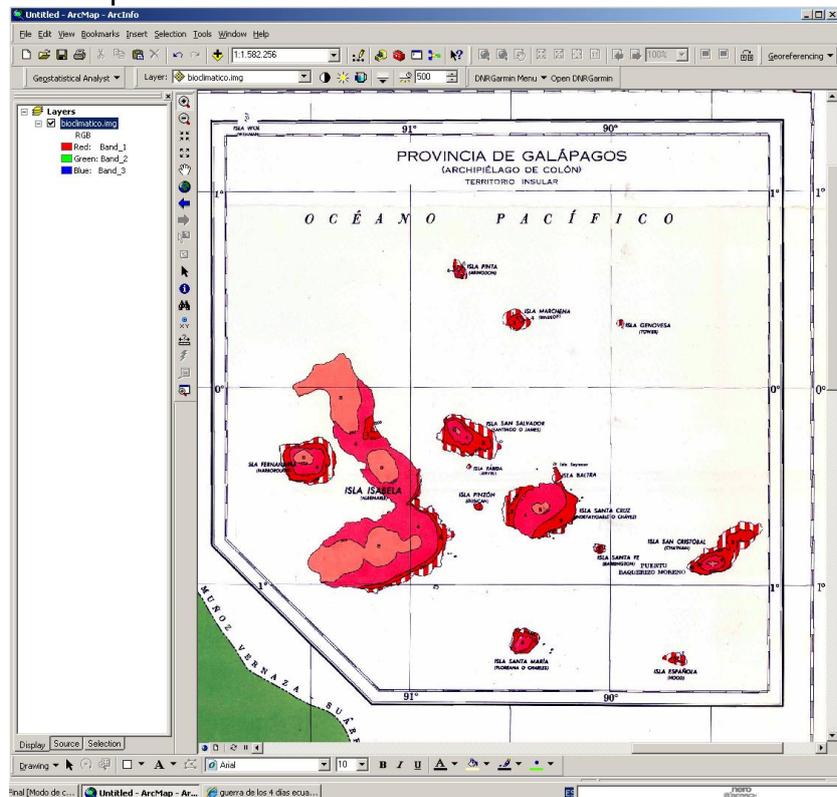


Figura 23. Mapa de clasificación bioclimático nacional Provincia de Galápagos PRONAREG-ORSTOM año 1978.



Figura 24. Leyenda temática del mapa de clasificación bioclimática, PRONAREG-ORSTOM año 1978.

5.3.2. Geología

Esta fase comprende la revisión, análisis y evaluación de toda la información disponible sobre geología, a efectos de analizar estas características y establecer su compatibilidad con las especificaciones técnicas aplicables a los propósitos del presente estudio.

Para el estudio se requiere conocer la composición de las formas del relieve en cuanto a su sustrato rocoso (litología) o formación superficial. Dependiendo de la litología estarán relacionados al material de partida con del cual se ha formado el suelo, ya que el suelo dentro de sus factores de formación analiza el material de partida.

Las fuentes básicas de información son las siguientes:

- Mapa Geológico Nacional de la República del Ecuador, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas, Instituto de Ciencias Geológicas–Londres (NERC) Cooperación técnica Británica, año 1982 segunda aproximación. Escala 1:1 000 000.
- Mapa Geológico Nacional, Editado por el Instituto Geográfico Militar–IGM, Obtenido del Atlas del Ecuador del Banco Central por Roy Royder año 1982. Escala 1:3 500 000.
- Mapa Geológico Nacional, Editado por el Instituto Geográfico Militar–IGM, Obtenido del Atlas del Ecuador. Escala 1:8 000 000.

El material originario constituye un elemento pasivo en la edafogénesis, sobre el que actúan otros factores que lo transforman, intervienen en su organización y hacen aumentar su grado de pedialidad. El material originario representa el estado inicial del sistema, que puede ser una roca consolidada, un depósito no consolidado o un suelo preexistente. Es el suelo en el momento cero.

Para este estudio se requirió contar con conocimientos de geología, especialmente de petrología y mineralogía. La información litológica de interés será la que se presente a nivel detallado. Así que la información obtenida antes mencionada sirvió para analizar cada una de las unidades geomorfológicas en cuanto al material de partida de cada una de las geoformas, para así conocer la litología de cada unidad.

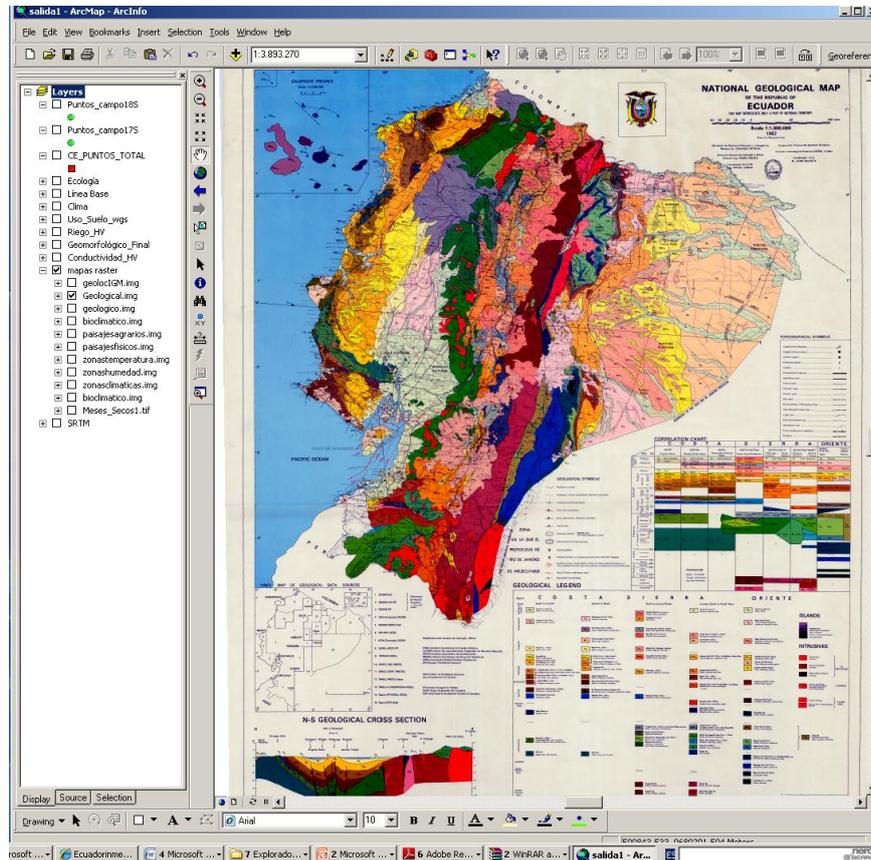


Figura 25. Mapa Geológico Nacional de 1982 georreferenciado en el sistema de referencia WGS 84.

5.3.3. Geomorfología

De igual manera que en el caso anterior, en esta fase se realizó la revisión, análisis y evaluación de la información disponible en la temática geomorfología, donde se determinó la mayor cantidad información nace a partir del proyecto de PRONAREG-ORSTOM, ya que en el mismo se generó coberturas de geomorfología para la sierra y parte de la costa, coberturas morfo-pedológicas el resto de la costa y para el oriente coberturas morfo-edafológicas y pedo-geomorfológicas, todas a partir de interpretación de fotografía aérea, las cuales fueron compiladas en un solo mapa, el cual ha sido la principal fuente de información junto con la información digital del proyecto IICA-MAG-CLIRSEN año 2002, siendo la información disponible la siguiente:

- Mapa de Paisajes Físicos Nacional realizado por: Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas CEDIG y el Instituto Francés de Investigación

Científica para el Desarrollo en Cooperación ORSTOM. Editado por el Instituto Geográfico Militar – IGM. Año 1989. Escala 1:1 000 000.

- Cobertura Geomorfológica en formato Shapefile editado por el SIGAGRO en el marco del convenio IICA-MAG-CLIRSEN. Año 2002. Digitalizado a partir de las cartas 1:200 000 y 1: 500 000 generadas en el proyecto PRONAREG-ORSTOM, año 2002.
- Mapas Geomorfológicos, Morfopedológicos y Morfoedafológicos del proyecto PRONAREG-ORSTOM años 1978 a 1986.

Cuadro 4. Descripción de las unidades de geomorfológicas y código del mapa.

DESCRIPCIÓN	CODIGO
Abruptos de Conos de deyección	Ya
Bancos y diques aluviales	F11
Barreras de escalonamiento	B
Camaroneras	Oc
Cauces abandonados	F12
Chevrones	Ch
Colinas altas	C3
Colinas bajas	C1
Colinas medianas	C2
Conos de deyección disectados	Y1
Conos de deyección muy disectados	Y2
Conos de deyección y esparcimiento	Y
Cordones litorales	L5
Cuerpos de agua	Wn
Cuestas	Cu
Cuestas muy disectadas	Cu1
Gargantas de valles encañonados	G-Ve
Glacís	G
Horts	H
Laderas coluviales	O2
Llanuras aluviales de depositación	Fl
Manglar	L1
Mesas	Me
Mesas disectadas	Me1
Mesas marinas	L6
Mesas muy disectadas	Me2
Nieve	On
Nivel aluvial alto	F14
Nivel aluvial bajo	F13
Pantanos	F15

DESCRIPCIÓN	CODIGO
Piedemonte coluvial	O3
Planicies costaneras	P
Playas	L4
Playas emergidas antiguas	L4a
Relieve escarpado	E
Relieve montañoso	M
Salitrales y zonas salinas	L2
Superficies de aplanamiento	Sa
Talud de derrubios	O1
Terraza alta	Fv2
Terraza aluvial	Fv
Terraza baja	Fv1
Terraza colgada	Fv4
Terraza indiferenciada	Fv5
Terraza muy alta	Fv3
Valles Interandinos	I
Valles encañonados	ve
Valles glaciáricos	vg
Valles y llanuras fluvio-marinas	L3
Vertientes convexas	Vx
Vertientes cóncavas	Vv
Vertientes irregulares	Vi
Vertientes regulares	Vr
Zonas Urbanas	U
Zonas deprimidas	D

Fuente: SIGAGRO
Año: 2002

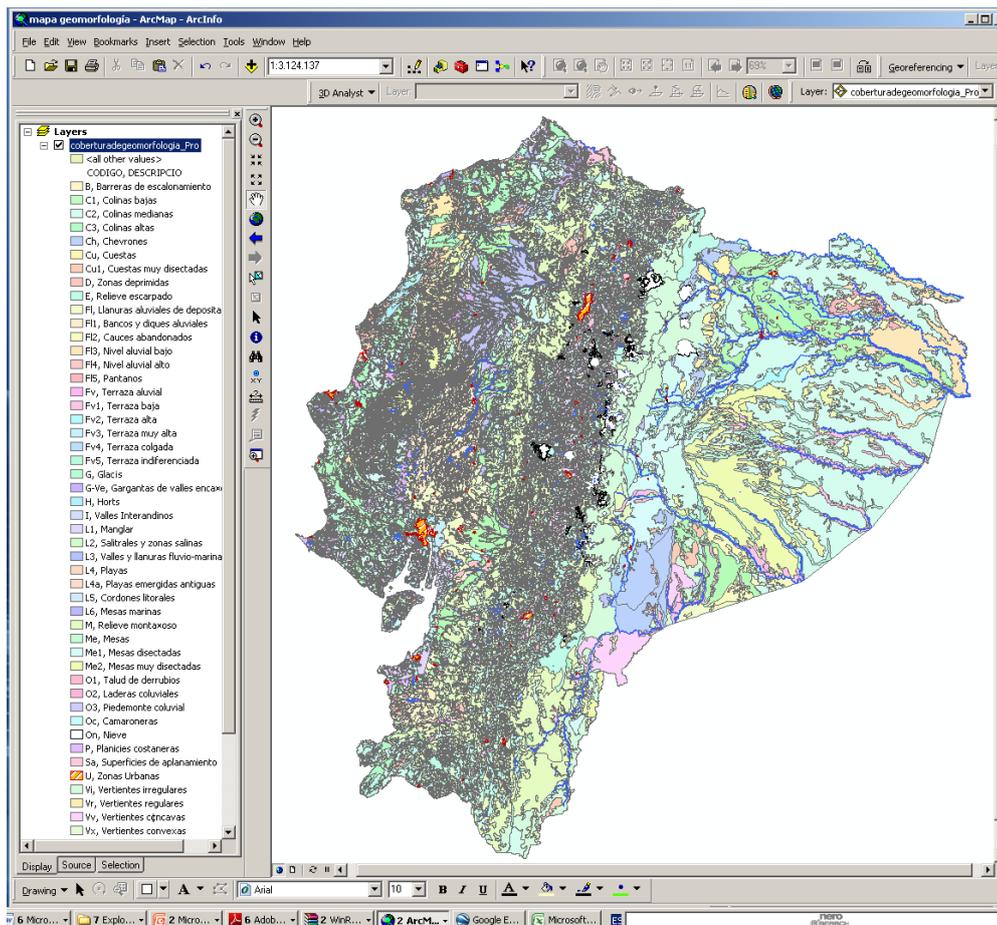


Figura 26. Cobertura geomorfológica en formato shapefile sistema WGS 84.

Como las unidades geomorfológicas correlacionan las características que derivan en suelos semejantes, estas comúnmente se caracterizarán a unidades de suelos, entonces se ha obviado cierta cantidad de unidades, para propender a un análisis más sencillo, y así lograr un mapa a la escala 1:250 000 objeto de la presente tesis.

Así que se agruparon una serie de unidades geomorfológicas como las unidades colinas altas, colinas medias y colinas bajas en una sola unidad denominada como “colinas altas, medias y bajas” y así con otro grupo de unidades que conservan características similares.

De igual manera se realizó una omisión de algunas unidades pequeñas de suelos para traspasar la información importante a toda la unidad geomorfológica, es decir, que si una unidad grande como una meseta tiene varias vertientes que no llegan a sumar más del 10% del total de la superficie son eliminados e integrados a la unidad grande vecina y con todas las características de la misma unidad dominante, para así generalizar las unidades y no disponer de gran cantidad de información que no será útil en el análisis.

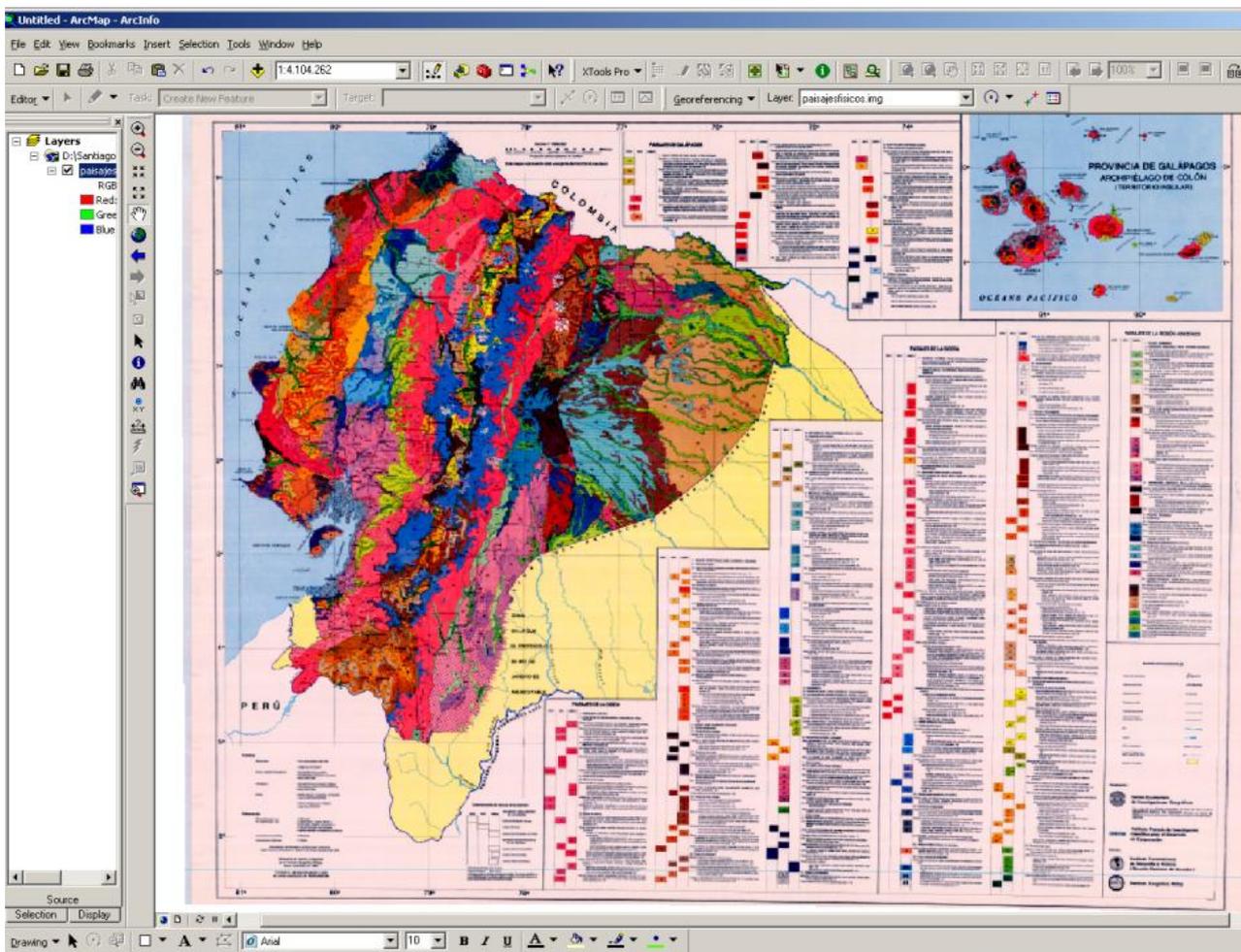
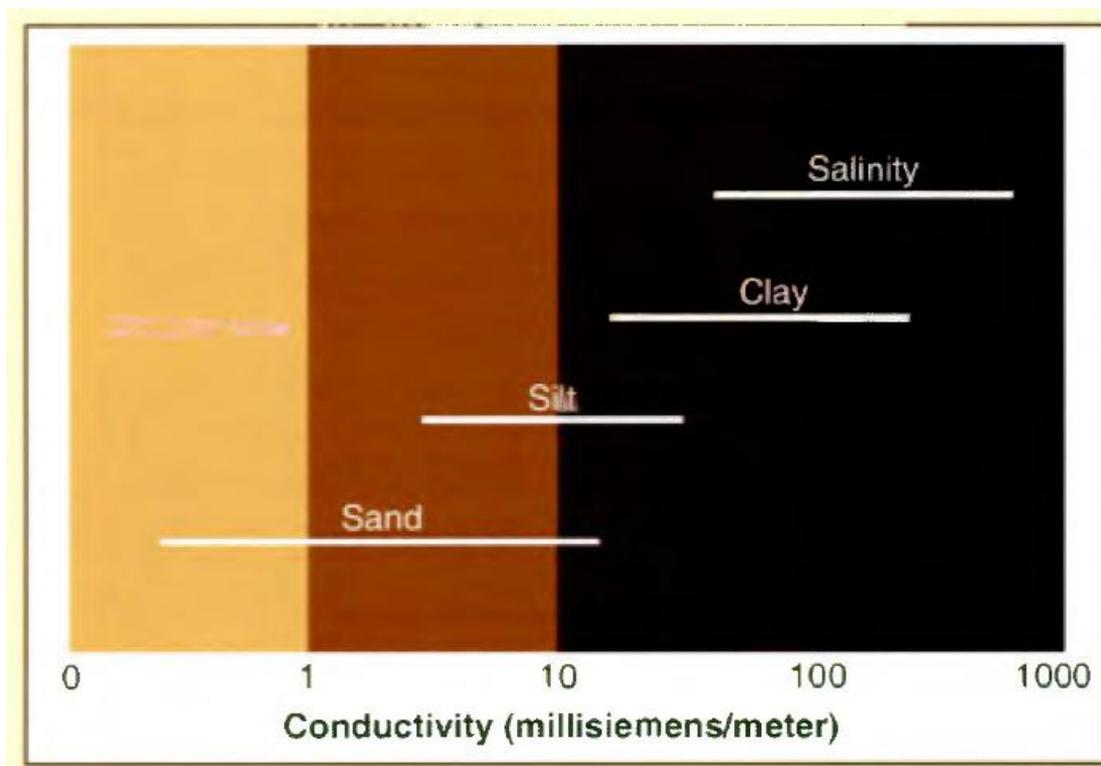


Figura 29. Mapa de Paisajes Físicos.

El mapa de paisajes físicos deriva de un extenso análisis de las geoformas del país y del estudio en campo de clasificación de suelos, este mapa con su respectiva memoria técnica permitió realizar un amplio análisis de las geoformas presentes (tanto en gabinete como en campo a tiempo real) para entender los suelos presentes en las diferentes unidades geomorfológicas, esto previo a la intervención en campo.

5.3.4. Suelos - Textura

Para establecer los valores de conductividad eléctrica para cada una de las clases texturales, se consideraron los siguientes datos de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de los Estados Unidos de América:



Fuente: Step by step field analysis, Soil Science., SSSA., 2008.

Estableciéndose así los siguientes rangos de Conductividad Eléctrica-CE en base al tipo de partícula:

Cuadro 5. Rangos de Conductividad Eléctrica en base al tipo de partícula del suelo.

SUELO	RANGO (ms/m)	
Arena	0,25	20
Limo	5	25
Arcilla	10	500
Salino	50	1000

Fuente: Soil Science Society of America
Año: 2008

Esta información se utilizó para análisis de los posibles rangos que se encontrarán en campo cuando se pueda determinar a fácilmente la textura.

Además, se consideró la tabla de descripción del Mapa de Texturas realizado el proyecto IICA-MAG-CLIRSEN 2002 y que se nos ha hecho disponible por parte de los Sistemas de Información Geográfica y Agropecuaria-SIGAGRO:

Cuadro 6. Tabla de descripción del Mapa de Texturas, codificación y agrupación por tamaño de partícula

CÓDIGO TEXTURA	TAMAÑO DE PARTÍCULA	CÓDIGO TAMAÑO	GRUPO TEXTURAL
1	Gruesa	g	Arenosa
			Arenoso Franco
2	Moderadamente Gruesa	mg	Franco Arenoso
			Franco Limoso
3	Media	m	Franco
			Limoso
			Franco Arcilloso
			Franco Arcillo Arenoso
4	Fina	f	Franco Arcilloso
			Arcilloso
			Arcillo arenoso
			Arcillo Limoso
5	Muy Fina	mf	Arcilloso

Fuente: SIGAGRO
Año: 2002

Para poder establecer los rangos de Conductividad Eléctrica-CE, en base al código de textura, se procedió a revisar los porcentajes de arcilla presente en las clases texturales, debido a:

Las partículas más pequeñas poseen un área superficial o superficie específica mayor que las partículas más grandes, por ejemplo la partícula más grande de arcilla tiene aproximadamente 25 veces más superficie específica que la partícula más pequeña de arena.

A medida que el área superficial se incrementa, las reacciones y propiedades de las partículas también aumentan. (INPOFOS, 1997)

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g (Romero, 1997).

A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas (Fassbender, 1994):

Caolinita	25 m^2/g
Haloisita	40 m^2/g
Illita	80 a 100 m^2/g
Montmorillonita	400 a 800 m^2/g

Con éstos antecedentes, se identificó los porcentajes de arcilla presentes en las diferentes clases Texturales, obteniendo:

Cuadro 7. Porcentaje de arcilla contenido en las diferentes clases texturales.

TEXTURA DEL SUELO	% ARCILLA
Arena Franca	5%
Franco Arenoso	10%
Franco Limoso	20%
Franco Arcillo Limoso	30%
Franco Arcilloso	35%
Arcilloso	45%

Fuente: INPOFOS

Año: 1995

Relacionando los rangos de Conductividad para arcilla contenidos en el cuadro 8, con los porcentajes de arcilla contenida en las clases texturales del cuadro 9, obtenemos el siguiente cuadro de rangos de conductividad eléctrica en base al tamaño de partícula:

Cuadro 8. Rangos de Conductividad Eléctrica en base al tamaño de partícula del suelo estimado.

CÓDIGO	TAMAÑO DE PARTÍCULA	CÓDIGO TAMAÑO	mS/m		dS/m	
1	Gruesa	g	0,25	25	0,0025	0,25
2	Moderadamente Gruesa	mg	25	100	0,25	1
3	Media	m	100	150	1	1,5
4	Fina	f	150	225	1,5	2,25
5	Muy Fina	mf	225	400	2,25	4

Elaborado: Grupo técnico Consultora Agroprecision Cia. Ltda.

Año: 2010

Con estos rangos, se procedió a llenar la base de datos del mapa de textura y generar el mismo.

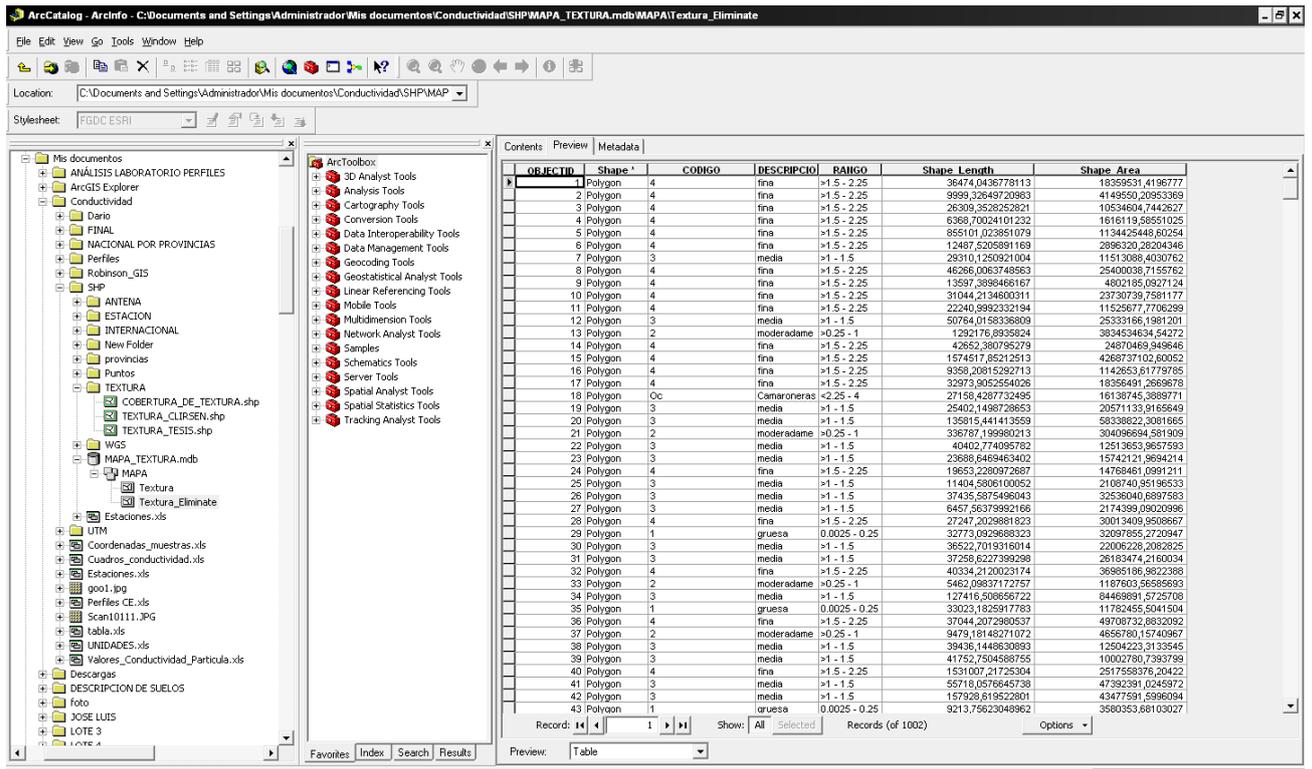


Figura 30. Análisis de la información en la tabla de atributos

La información de textura del suelo se la obtuvo de:

- Cobertura de Textura en formato Shapefile editado por el SIGAGRO en el marco del convenio IICA-MAG-CLIRSEN. Año 2002. Digitalizado a partir de las cartas 1:200 000 y 1: 500 000 generadas en el proyecto PRONAREG-ORSTOM, año 2002.

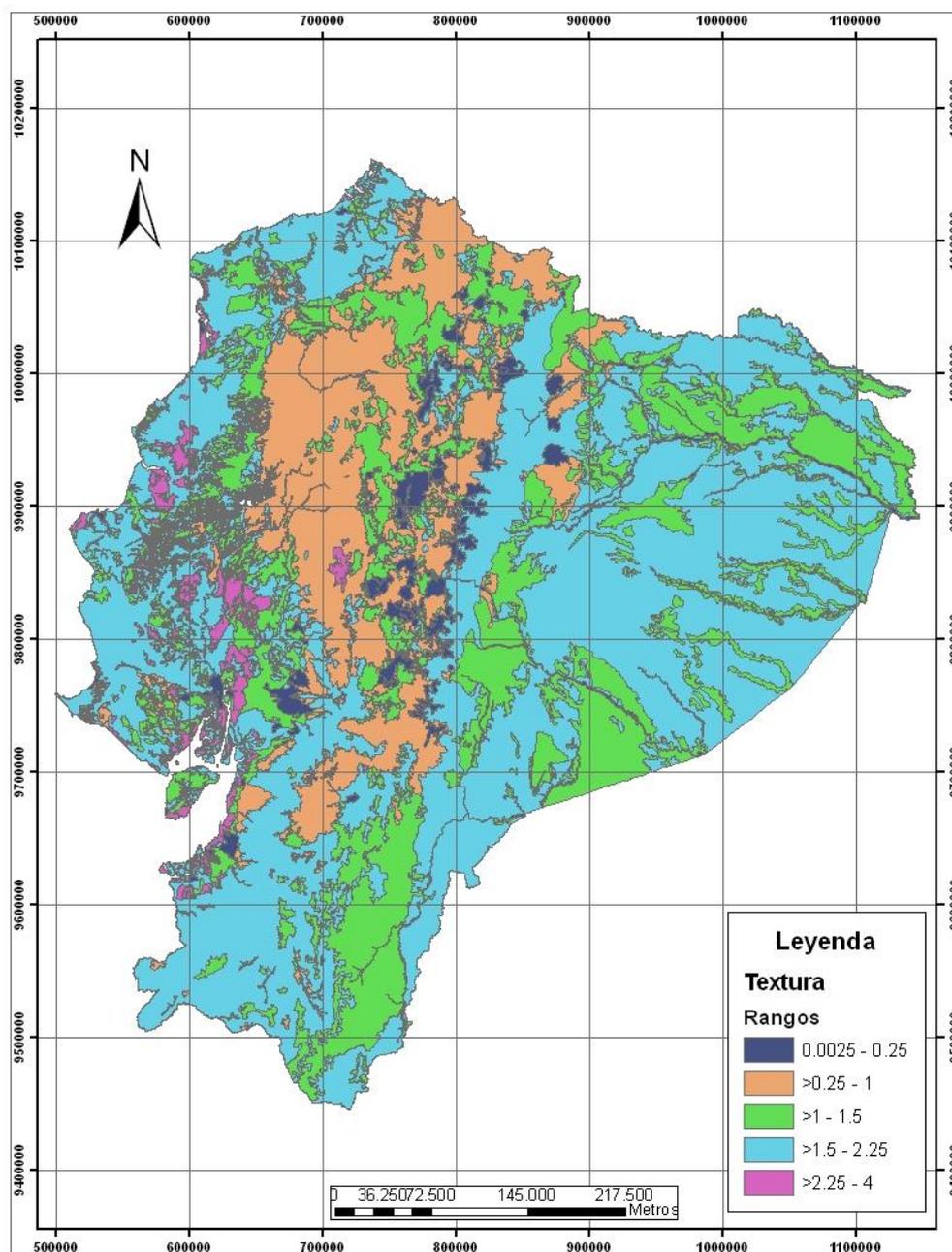


Figura 31. Cobertura de textura del suelo con los rangos de conductividad preliminar.

5.3.5. Uso Actual

Al igual que en los casos anteriores, en esta fase se realizó la revisión, análisis y evaluación de la información disponible en la temática uso de suelo, para esta se utilizó la información del proyecto IICA-MAG-CLIRSEN, año 2002; cobertura que fue generada a partir de imágenes de satélite del Satélite LandSat 7 TM, las cuales tienen una resolución espacial de 15 metros en pancromático y 30 metros en las bandas de color hasta 60 metros en las bandas térmicas.

A partir de estas imágenes adquiridas en el año 2000 se generó la cobertura temática de uso de suelo, estas imágenes de resolución media permiten diferenciar cierta cantidad de información que debe ser validada en campo.

Muchas de las unidades representan asociaciones como: bosque 70% y pasto 30%, bosque intervenido 50% y pasto 50%, entre otras. Lo que produce gran cantidad de unidades y esto complica el análisis.

- Cobertura Uso de suelo en formato Shapefile editado por el SIGAGRO en el marco del convenio IICA-MAG-CLIRSEN. Año 2002. Interpretado a partir de la cobertura nacional de imágenes LandSat 7 TM año 2000.

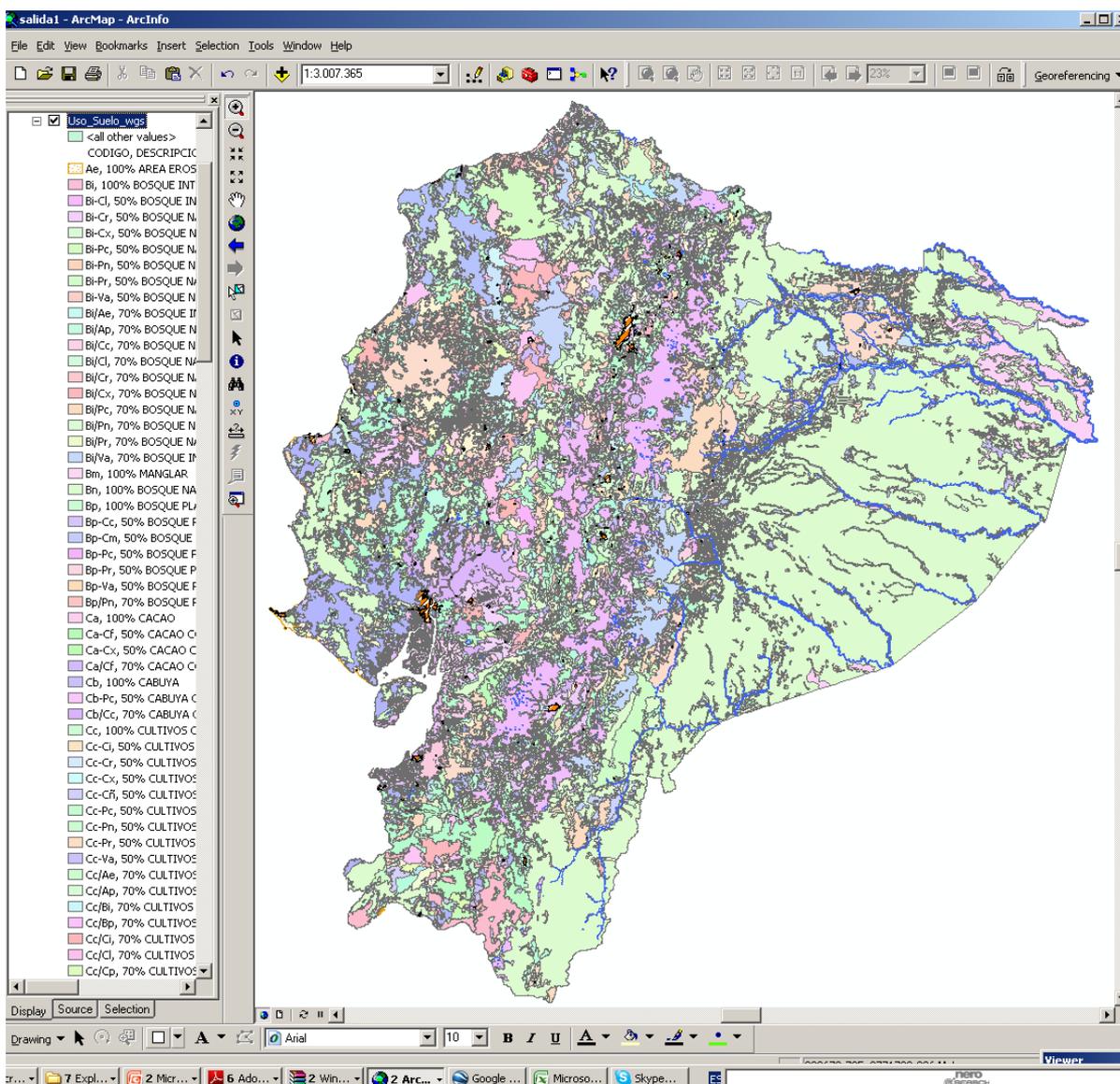


Figura 32. Cobertura de uso del suelo formato shapefile.

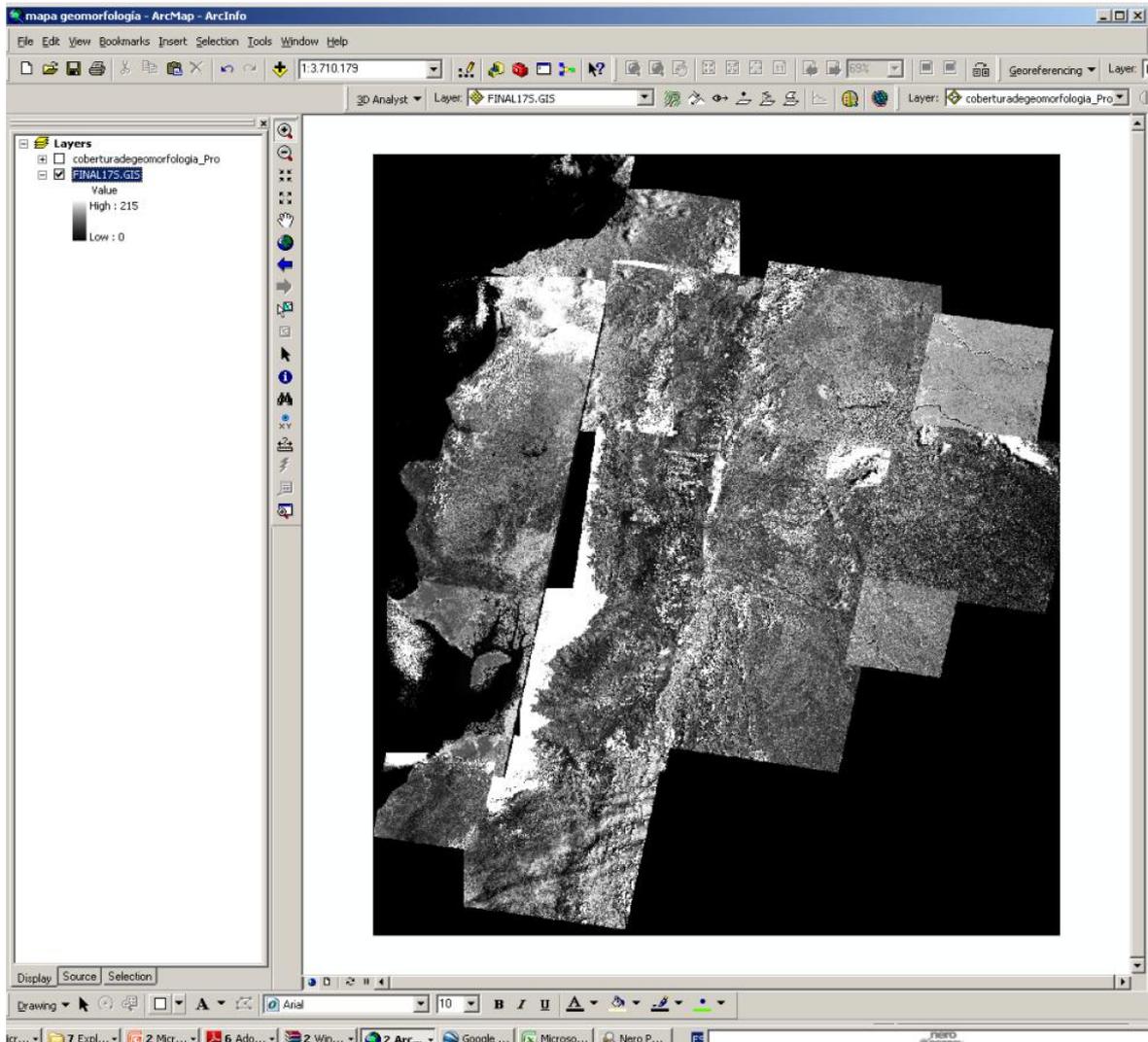


Figura 33. Cobertura de imágenes LandSat 7 TM año 2000 utilizadas para la temática uso de suelo.

5.4. Obtención en Campo de Valores de Conductividad Eléctrica de los Suelos.

Para corroborar la información disponible y generar información en las zonas que no se dispone nada, Se determinó realizar salidas de campo para corroborar la información existente en la base de datos recopilada. Estas salidas de campo se las pudo realizar gracias al aporte económico de La Superintendencia de Telecomunicaciones-SUPERTEL.

Para el levantamiento de datos en campo se procedió a establecer bloques para barrido de información y realizarlo en 3 grupos, donde en cada uno de ellos se contó con la presencia de 2 especialistas geomáticos y de recursos naturales.

5.4.1. Levantamiento de Información en campo

5.4.1.1. Materiales

Para levantar la información en campo se usaron los siguientes equipos:

- GPS navegador: Garmin eTrex Venture HC,
- Pocket GPS,
- Computadoras portátiles,
- Inversor de corriente,
- Conductivímetros de bolsillo: Hanna Soil Test Meter HI 98331,
- Línea base del Ecuador y mapas preliminares de CE,
- Toallas de cocina,
- Piceta de 500 mL,
- Cámara fotográfica,
- Apoya manos,
- Rollos de papel de cocina,
- Machete.

Como complemento a estos materiales, se utilizó:

- Software Arcgis 9.x ,
- Software Arcpad,
- Software de interface DNR Garmin v. 5.4.1,
- Mapas temáticos del Ecuador digitalizados y georreferenciados (Geomorfológicos, Bioclimático, Geológicos, Climáticos, Déficit hídrico, Morfopedológicos, Suelos, uso de suelo, Paisajes físicos, Paisaje agrarios, Ecología). Todos ellos dentro de un proyecto (*.MXD) que manejan archivos idénticos de información cada uno de los grupos de trabajo.

5.4.1.2. Reactivos

- Suficiente agua destilada
- Solución Calibradora: Conductivity Solution 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hanna HI 70031

5.4.1.3. Proceso Estipulado de Muestreo

- Antes de levantar la información en campo, calibrar el conductivímetro utilizando la solución calibradora, repetir este proceso aproximadamente después de realizar 25 muestras.
- Conectado el navegador GPS al computador portátil, se identifica la posición actual (ArcGis con interface DNR Garmin), esto con el fin de navegar sobre las varias coberturas consideradas para el análisis.
- Se determina el clima (mapa bioclimático), unidad geomorfológica, geología (análisis de litología con el léxico estratigráfico nacional) y uso de suelo de la posición actual,
- Análisis de las variables clima, geomorfología geología y uso de suelo y determinación del sitio de muestreo,

- Movilización hacia la zona definida para muestreo, considerando in situ la representatividad en cada unidad (analizando cultivos, pendiente y que el suelo no haya sido perturbado),
- Ingreso caminando hasta el área de muestreo, luego se humedece el suelo con agua destilada hasta la profundidad máxima que ingresa el sensor.
- Introducir el sensor del conductivímetro en el suelo humedecido.
- Llenar la matriz de recopilación de información con los datos de la zona y los indicados por el conductivímetro.
- Limpiar el sensor con agua destilada y secarlo inmediatamente.

5.4.1.4. **Matriz para la recopilación de información**

Cuadro 9. Matriz de levantamiento de información en campo.

Nº Muestra:		Fecha:	
Localización:			
Uso de Suelo:			
Punto GPS:		Z:	
X:		Y:	
CE:		Temperatura: °C	
Foto Desde:		Hasta:	

Elaborado: Grupo técnico Consultora Agroprecision Cia. Ltda.

Año: 2010

5.4.2. **Metodología de muestreo**

El técnico de campo utiliza un ordenador portátil, el cual se encuentra enlazado a un GPS navegador de última tecnología, es decir con capacidad "H" (alta sensibilidad-high sensibility) para así, navegar en tiempo real sobre el área de muestreo, mediante programas especializados (ArcGis, ArcPad y DNR Garmin), el operador utiliza y analiza los mapas de coberturas temáticas (geomorfología, clasificación bioclimática, temperatura, precipitación, topografía, uso del suelo, infraestructura de riego, tipo de suelo entre otros) y la relación de densidad de muestreo de Conductividad Eléctrica-CE del suelo a nivel Nacional, proporcionadas por diversas instituciones y organizaciones que han recopilado esta información a través de diversos proyectos.



Figura 34. Equipo utilizado para navegar en tiempo real sobre la información secundaria georreferenciada

Mediante esta información el técnico determina el lugar donde tomar la muestra de verificación, adicionalmente se tiene otro equipo para el técnico que conduce el vehículo, el mismo que consiste en una POCKET PC con sistema operativo Windows Mobile que integra equipo GPS, lo que permite de igual manera, navegar en tiempo real y en las capas determinadas; y así coordinar entre los técnicos las rutas a seguir para el muestreo.



Figura 35. Asistente que determina el sitio de muestreo analizando la información disponible.

Una vez determinado el sitio de muestreo los técnicos proceden a ingresar al predio y tomar una muestra mediante el conductímetro directo al suelo, si no mantiene una humedad adecuada para que penetre en sensor del equipo, se

humedece mediante una piceta con agua destilada y se introduce el sensor de 10 a 15 cm de profundidad, y finalmente se registran los valores en una ficha de campo (Cuadro 10).



Figura 36. Sensor de medición utilizado en el proyecto, GPS navegador y ficha.



Figura 37. Humedecimiento del suelo con agua destilada y lectura con sensor.

En esta ficha se lleva un registro de datos arrojados por conductímetro como (CE y Temperatura), así como el uso del suelo en el cual se toma la muestra, las coordenadas mediante un equipo GPS y un registro fotográfico del sector.

Posteriormente toda esta información se ingresara a un programa especializado (Excel y ArcGis) para su posterior tabulación.

5.5. Elaboración del mapa de Conductividad Eléctrica-CE

Para la elaboración del mapa de conductividad eléctrica se utilizó en primer instancia el cruce analítico de información tomada en campo con la coberturas, lo que permitió ya disponer de un análisis holístico antes de realizar el análisis final en gabinete.

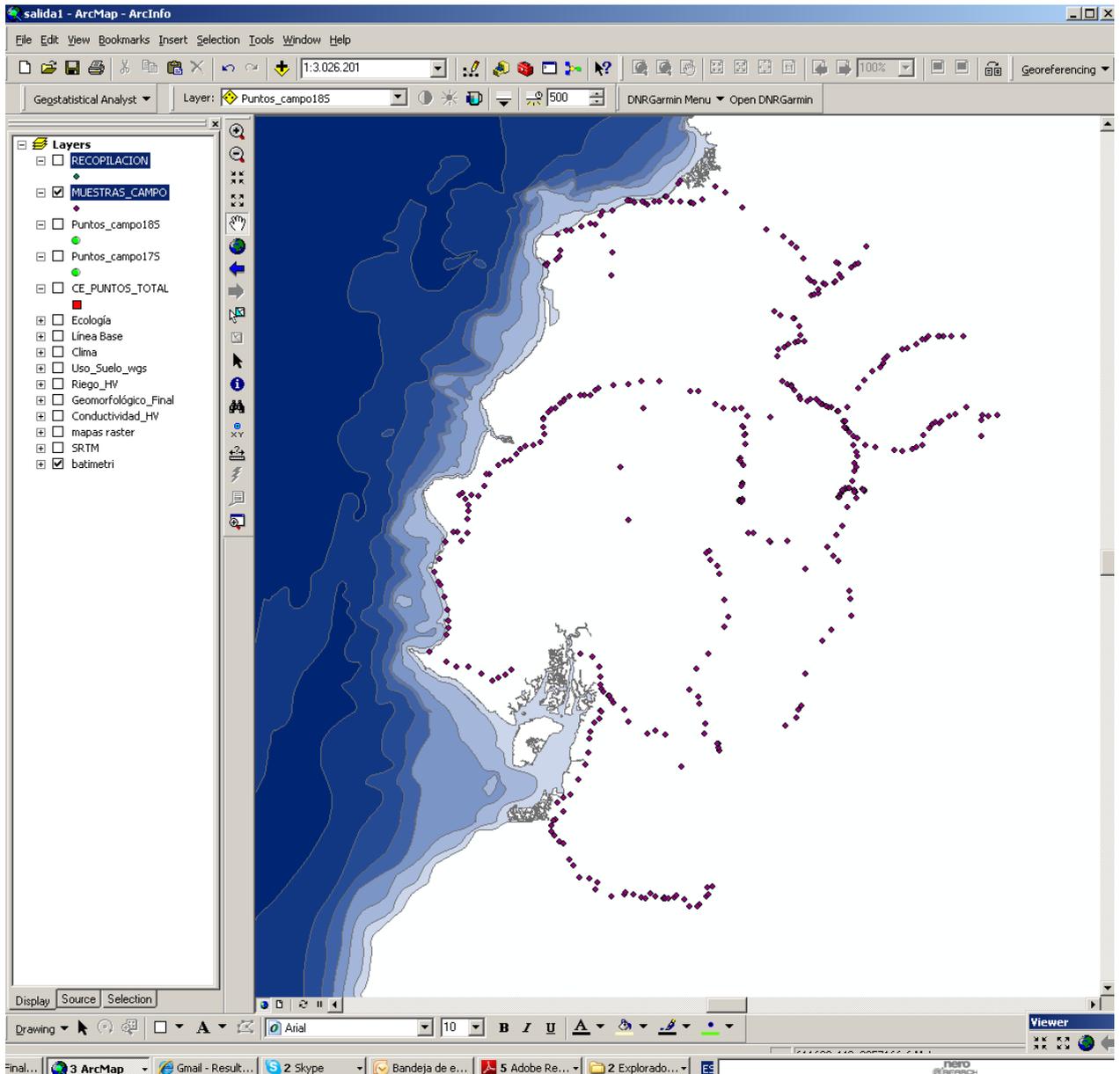


Figura 38. Ubicación de los sitios de muestreo en campo.

En campo se realizó 409 muestreos de conductividad eléctrica, para cada uno de estos sitios se realizó un análisis cuidadoso, considerando cada una de las coberturas temáticas, tomando siempre como criterio principal las unidades de geomorfología y en segundo orden de importancia las unidades de clasificación bioclimática. Adicionalmente se busco cubrir las áreas donde existía debilidad en muestras de campo, para así disponer de una mejor cobertura, con lo cual se cubrió gran cantidad de información en del territorio nacional como se muestra en la figura 31.

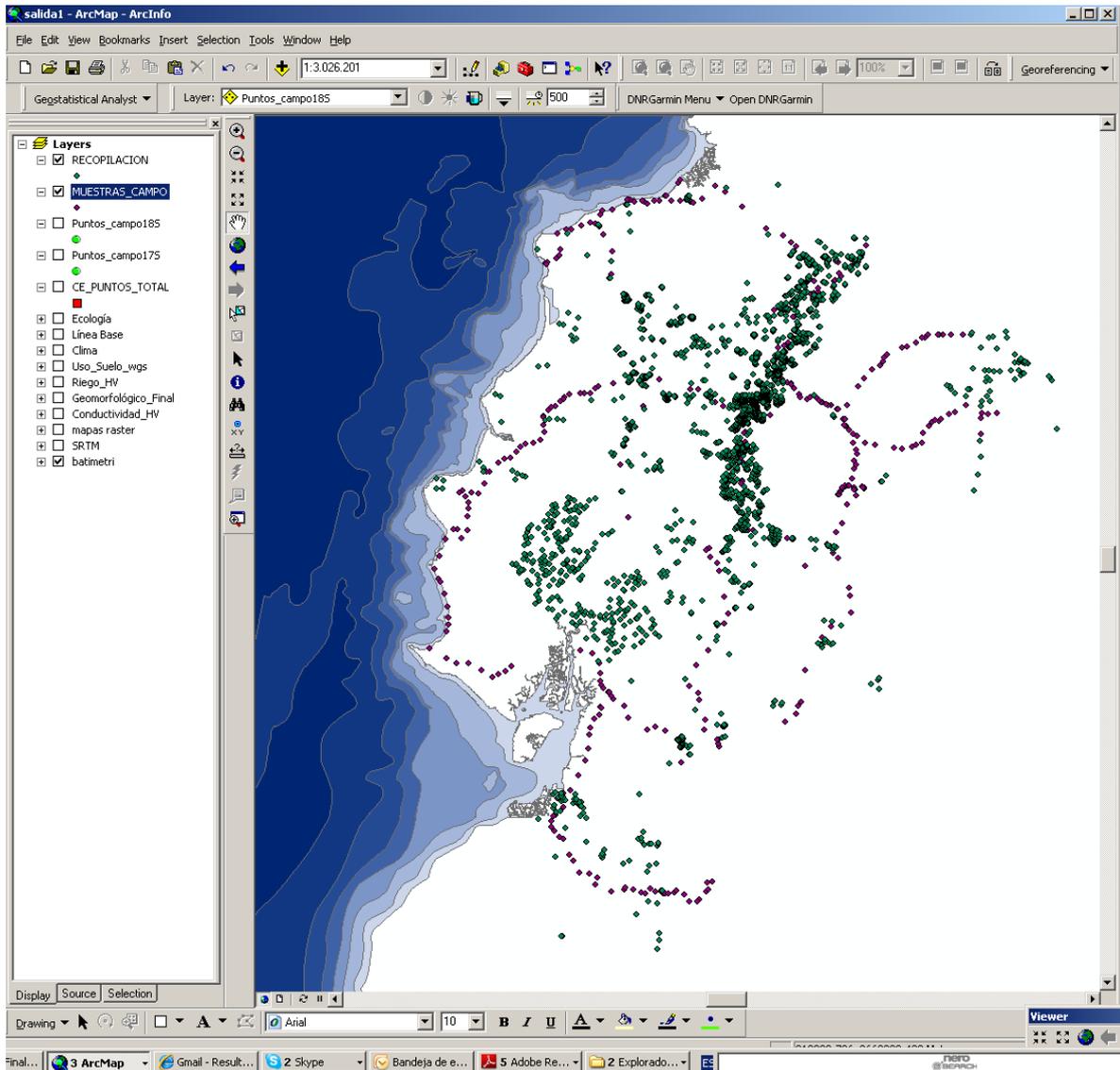


Figura 39. Ubicación de la información muestreada en campo y la información secundaria.

Las muestras recolectadas de información secundaria suman 3 101, luego de que se han eliminado ciertos valores que se han considerado sesgados, así que finalmente con las muestras levantadas en campo y la información oficial secundaria, sumarían 3 510 muestras de conductividad eléctrica de suelos disponibles para realizar el análisis y determinar la cobertura de conductividad eléctrica-CE.

Estas muestras tienen su tabla de atributos según la información presentada en el cuadro 2, y en las figuras 2 y 3. Esta información representada en el software Sistema de Información Geográfica-SIG como entidad puntos, permitió realizar un análisis de cada unidad geomorfológica, unidad de clasificación bioclimática, unidad geológica, uso de suelo o cobertura vegetal, este análisis se le realizó unidad por unidad.

El análisis para la selección del valor de conductividad eléctrica que se colocaría a la unidad del mapa de conductividad eléctrica (entidad polígono) final, se lo realizó tomando en cuenta toda la información disponible, así como se muestra a continuación:

Al disponer del total de 3 510 sitios de muestreo con valores de conductividad eléctrica del suelo (entidad puntos) y el mapa de geomorfología con textura de suelo, que se detalló en el acápite anterior la metodología con la que se lo obtuvo, y finalmente se dispone de una cobertura en formato digital incluida toda esta información y en entidad polígono.

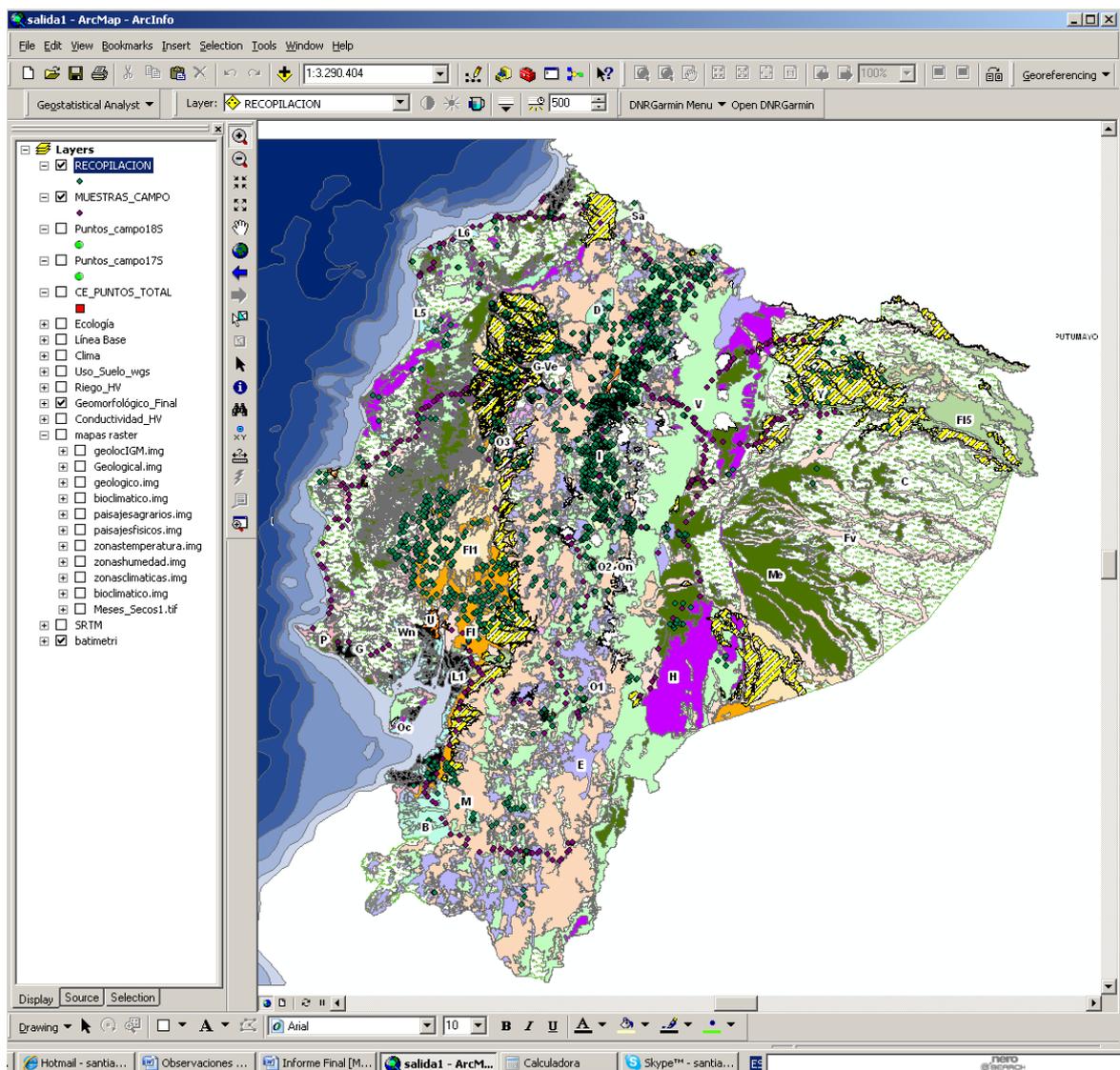


Figura 40. Cobertura geomorfológica con los muestreos de campo y recopilación de información secundaria.

Para proceder al análisis y realizar la cobertura de conductividad eléctrica de los suelos, se partió de la cobertura de geomorfología a la que se le agregó un campo de conductividad eléctrica, que es donde se colocaría el valor de conductividad

que le levantó en campo o que había sido obtenido de información secundaria, para que se entienda la metodología se expondrá adelante el siguiente ejemplo:

El análisis consiste en seleccionar cada una de las unidades geomorfológicas como se muestra en la figura 33.

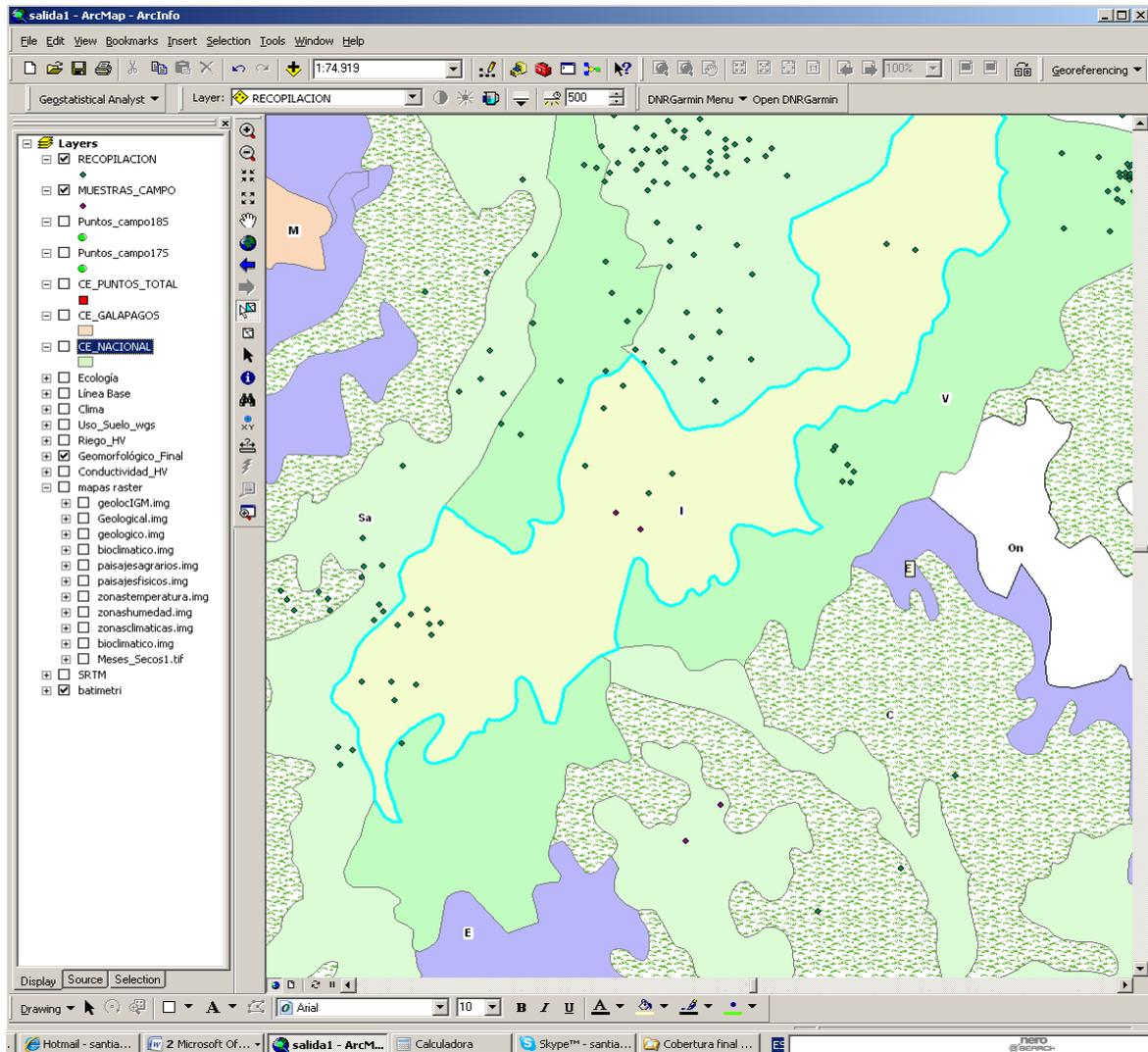


Figura 41. Selección de las unidades geomorfológicas para análisis.

Luego de seleccionada la unidad geomorfológica, la cual tiene entre los atributos la textura dominante de los suelos, entonces se selecciona todos los valores de conductividad georreferenciados, representados en el software ArcGis 9.3 como entidad puntos, esto se lo realiza con la herramienta “selección por localización”, con lo cual se seleccionan todos los puntos (valores de conductividad eléctrica levantados en campo) contenidos geográficamente en una unidad específica que este caso es la unidad de análisis.

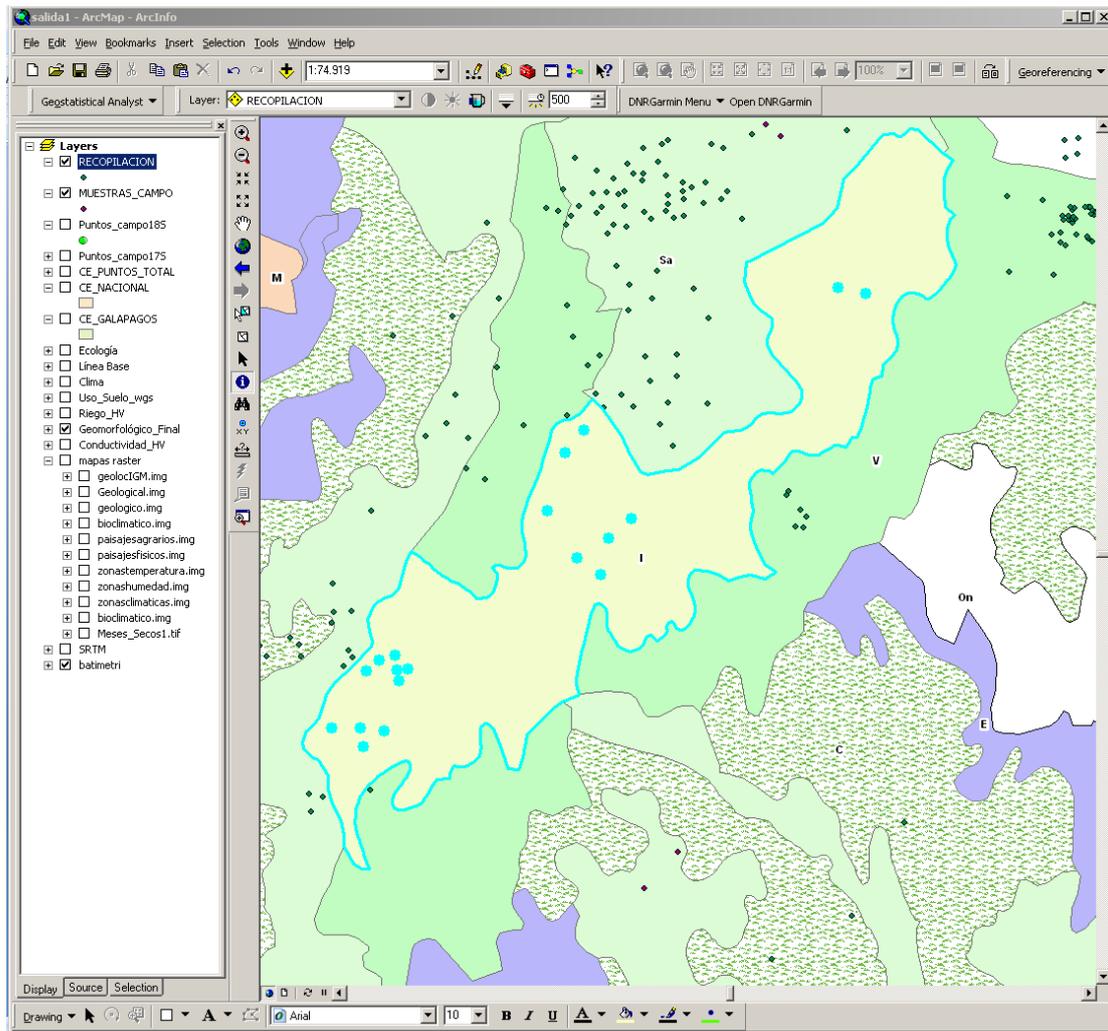


Figura 42. Cobertura geomorfológica con puntos de valores de conductividad eléctrica de los suelos

Al disponer de la información de especializada de valores de conductividad de los suelos seleccionados, se procedió a analizar con las otras coberturas como la geología, donde se identificó a la unidad geológica en la que se encuentran los muestreos. En este caso práctico, pertenece a la unidad Qc, la cual es la formación Cangahua que presenta una litología de ceniza y pomina sobre tobas volcánicas y lapilli, como se muestra en la figura 36, donde todas las observaciones se encuentran contenidos dentro de la unidad geológica Qc.

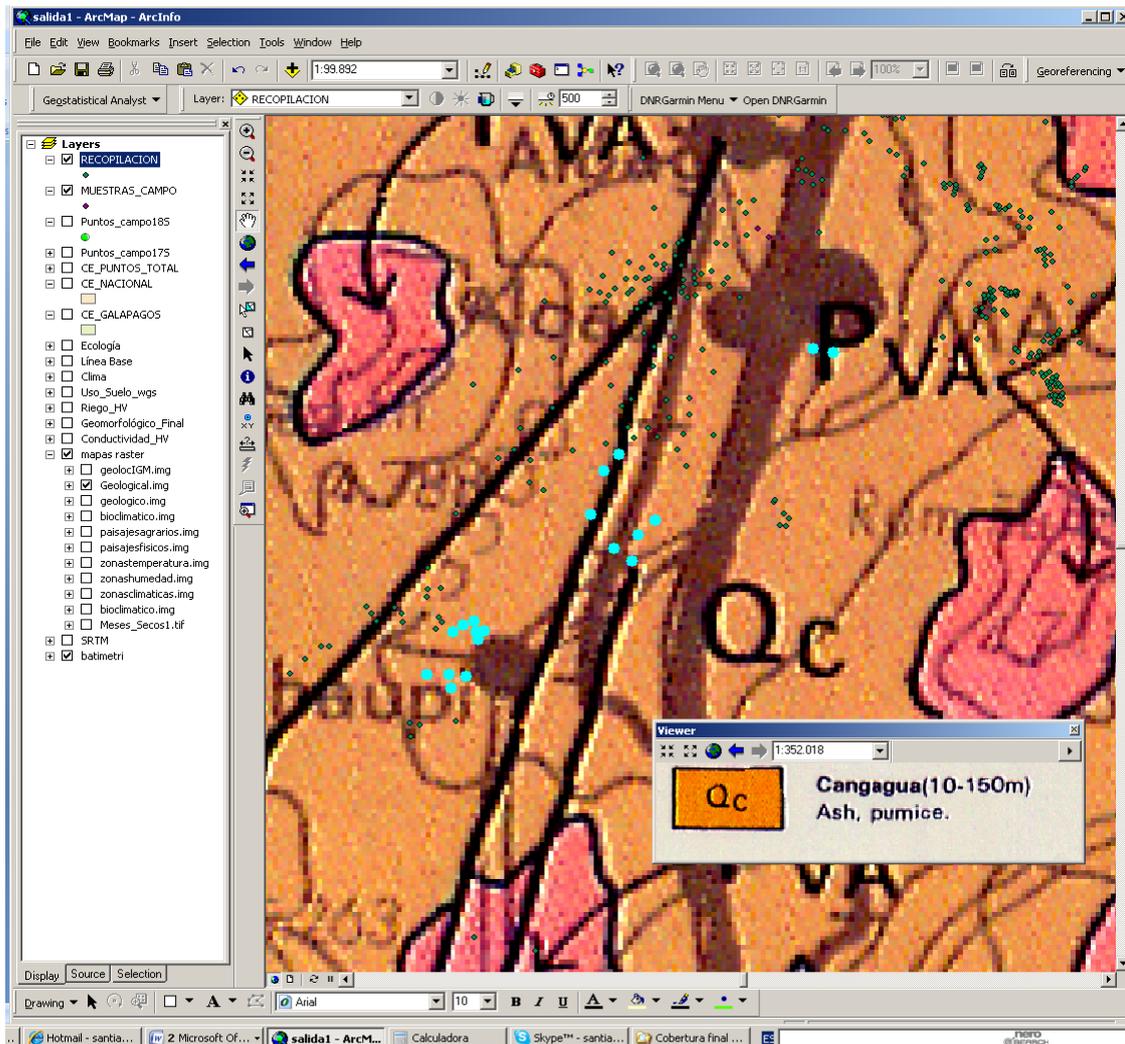


Figura 43. Cobertura geológica con los puntos de muestreo de conductividad eléctrica.

De la misma manera que en el caso anterior se analizó la cobertura de clasificación bioclimática, donde se determinó que los muestreos se encuentran en la unidad 14, que en la leyenda se observa que pertenece a la zona “Muy Húmeda”, con valores de precipitación menores 1 500 mm y mayor a 1 000 mm y una temperatura media anual de 6 a 12 grados centígrados. Pero 2 sitios de muestreo se encuentran en la unidad 9, la que ha sido denominada “Sub Húmeda” porque el rango de precipitación media anual está en mayor a 500 mm y menor a 1 000 mm; y la temperatura media anual se encuentra en el rango de 12 a 18 grados centígrados (Figura 37).

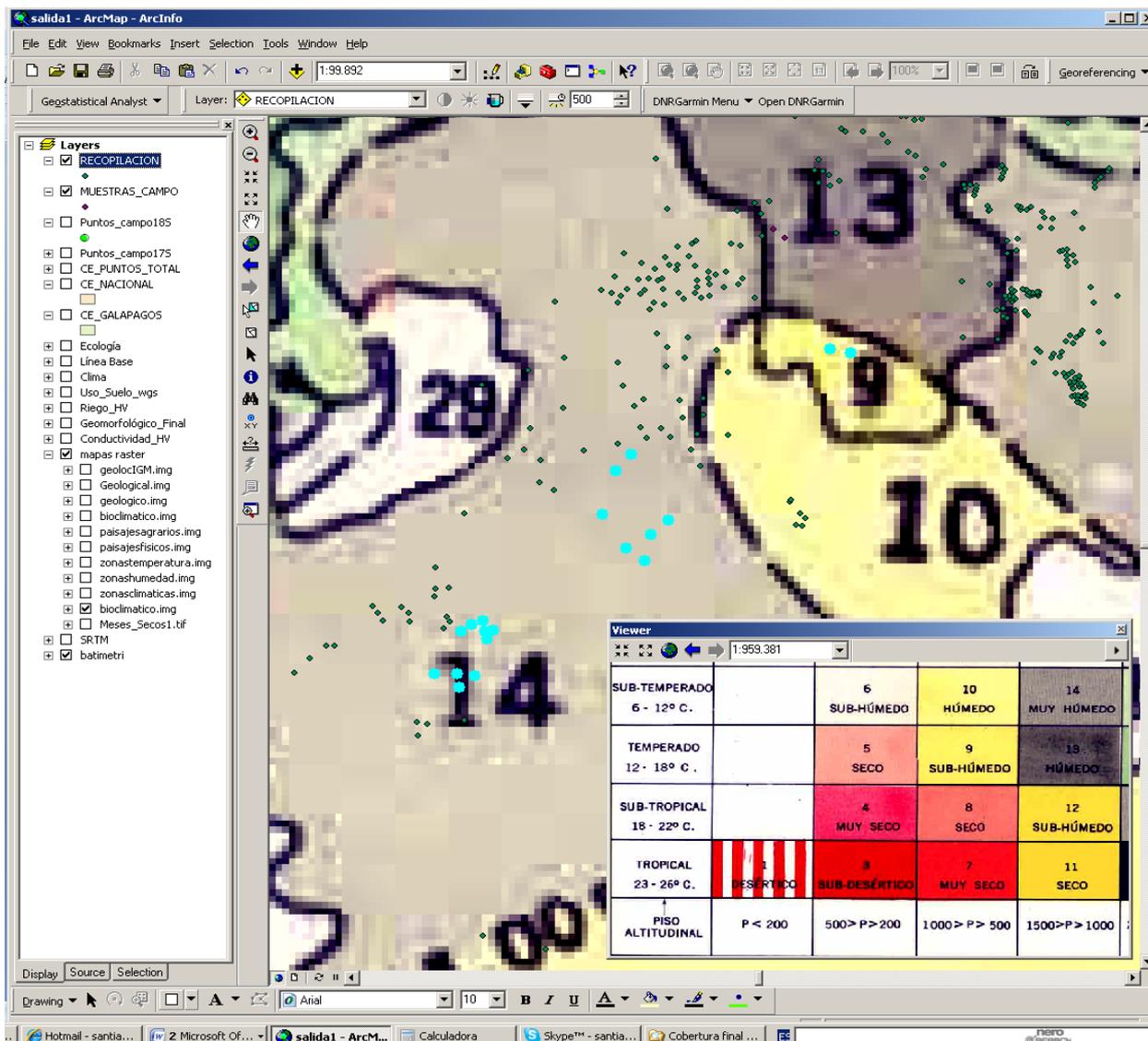


Figura 44. Cobertura de clasificación bioclimática con los puntos de muestreo de conductividad eléctrica.

También se realizó en análisis con la topografía del terreno, para esto se utilizó el modelo digital del terreno obtenido del SRTM a nivel Nacional, lo cual permite tener una visión más clara en cuanto a la topoclimosecuencia (Figura 38).

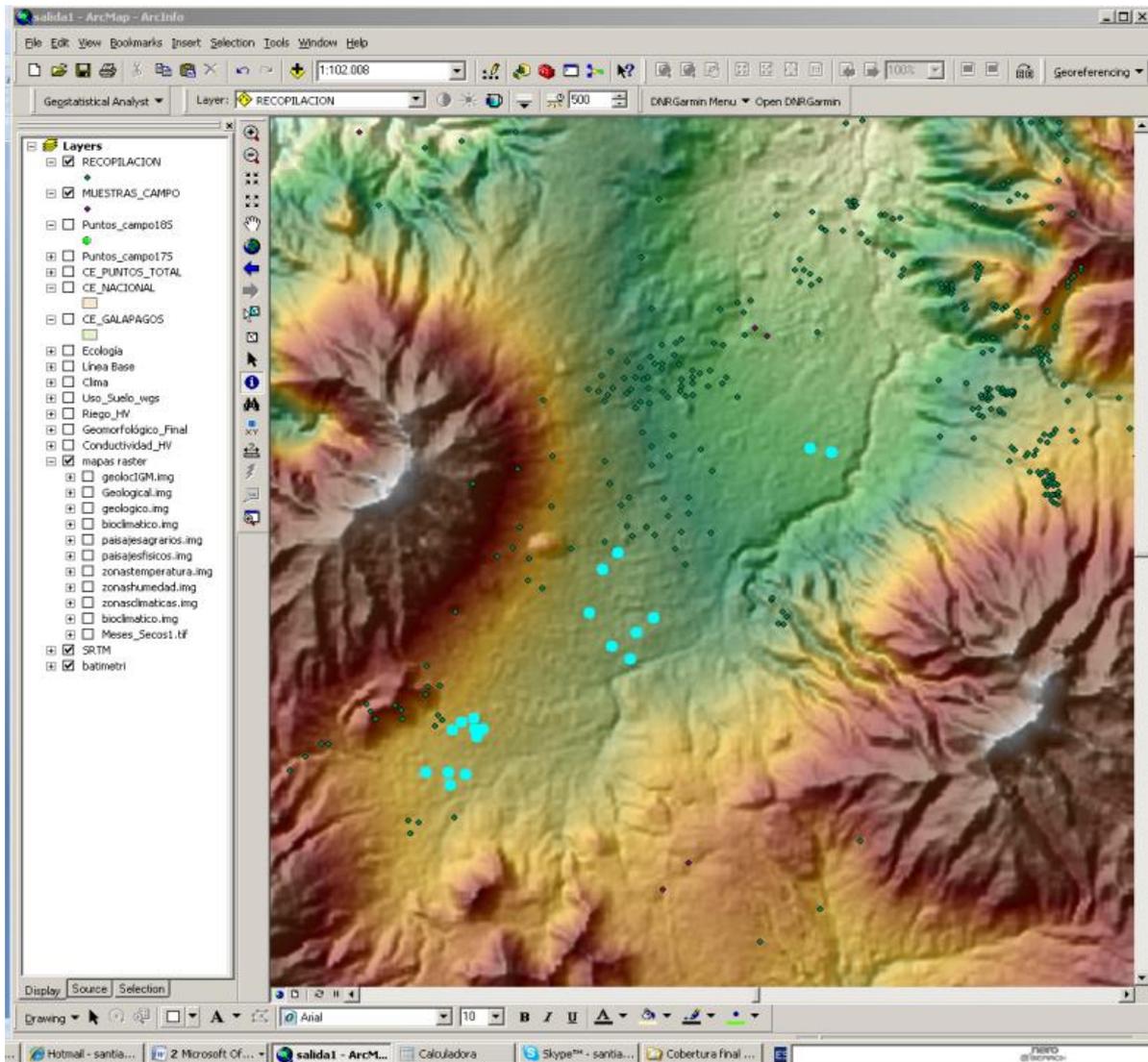


Figura 45. Cobertura SRTM con los puntos de muestreo de conductividad eléctrica.

Se utilizó la cobertura de uso de suelo al año 2000, la cual permitió analizar la información de uso, como se muestra en la figura 39 en el que se observa una dominancia de pastos y pocos cultivos de ciclo corto, esto se verificó en la intervención en campo (revisión de fichas de campo).

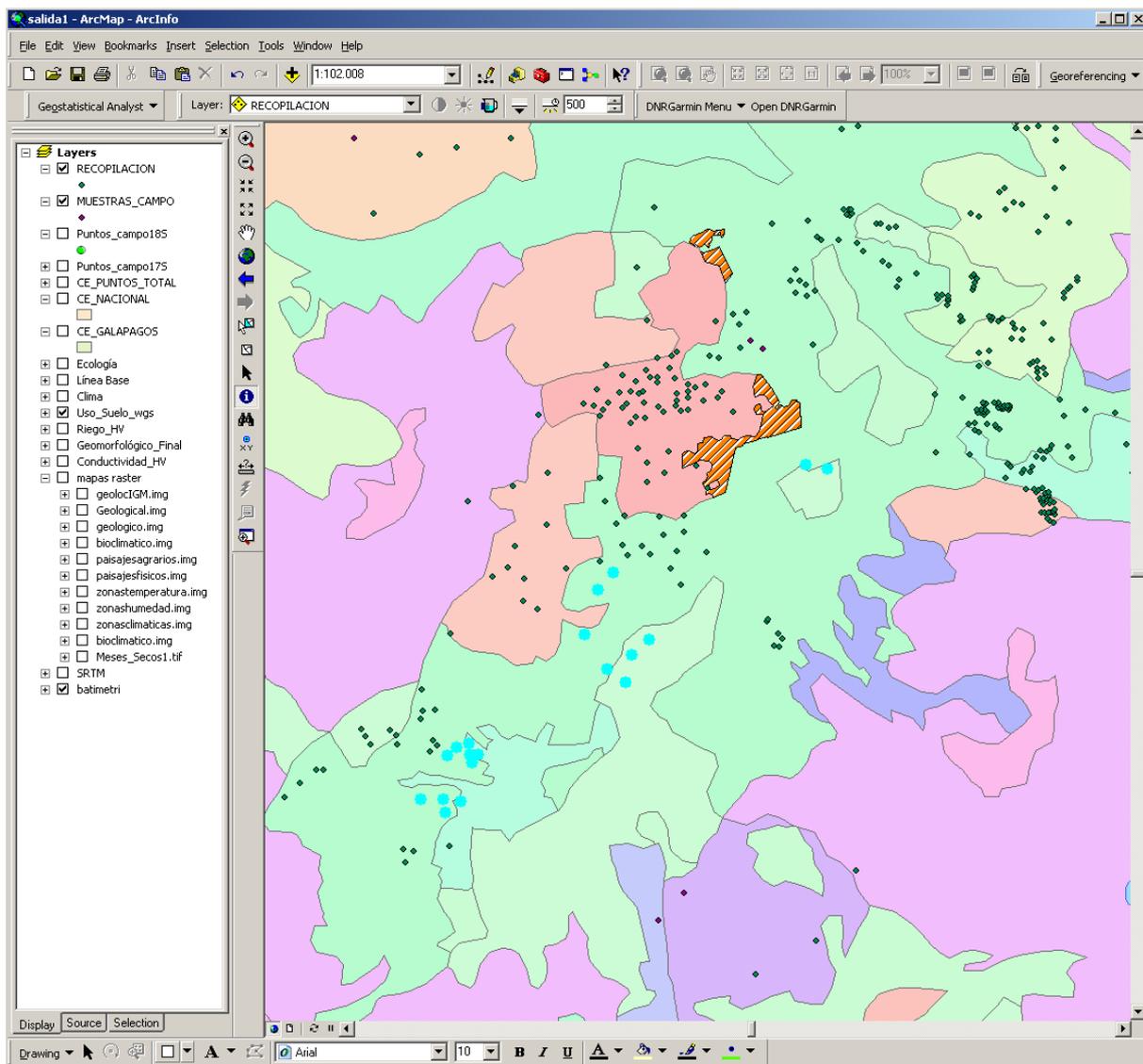


Figura 46. Cobertura de uso del suelo (año 2000) con los puntos de muestreo de conductividad eléctrica.

Finalmente, con la información disponible se procedió a cortar el polígono de la cobertura geomorfológica según el límite de la información de clasificación bioclimática, lo que derivó en dos nuevos polígonos, los valores finales de conductividad que fueron colocados en el nuevo mapa de conductividad eléctrica de suelos correspondieron al valor de 0.02 dS/m y 0.015 dS/m respectivamente para cada uno de los polígonos, este nuevo valor resultado del análisis estadístico de los valores de conductividad se confirió a los polígonos definitivos.

Para obtener el valor a conferir al mapa definitivo se utilizó la variable estadística mediana, es decir el valor central del grupo de valores, ya que en valores obtenidos en laboratorio, estadísticamente no se permite realizar análisis estadísticos como promedio, razón por la cual de los 18 valores (producto de este ejercicio), se seleccionó el valor correspondiente a la mediana. Finalmente se

generaron 2 polígonos como se muestra en la figura 40, estos polígonos de mayor tamaño, porque fueron adaptados desde las características geomorfológicas a las climáticas.

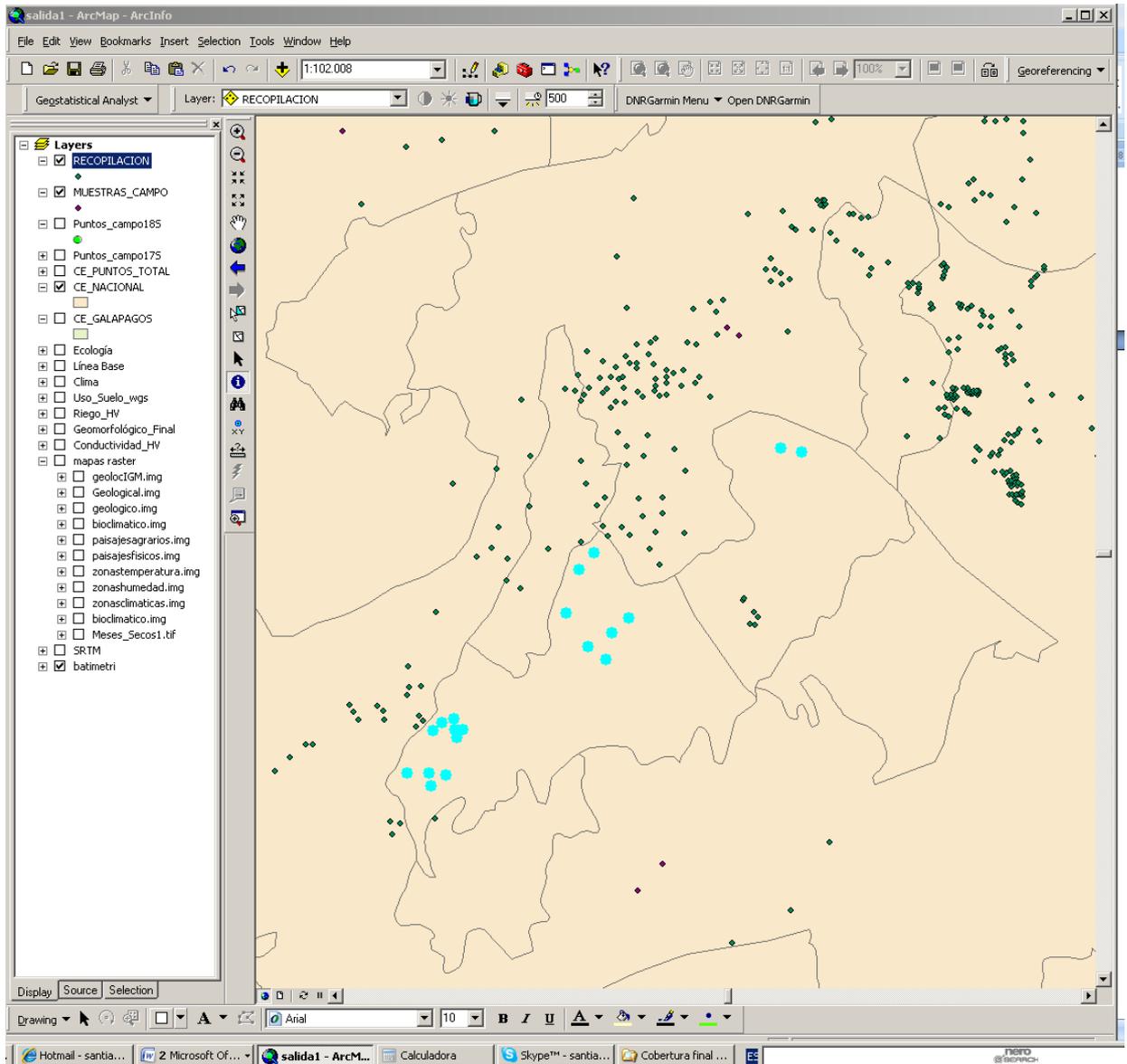


Figura 47. Cobertura editada de conductividad eléctrica de los suelos con los valores de conductividad.

Este fue el procedimiento que se utilizó para definir el valor de conductividad eléctrica de los suelos en la nueva cobertura, realizado en su totalidad en el software ArcGIS 9.X; para obtener un buen resultado, fue necesario tener los conceptos claros acerca de cómo se generó cada una de las coberturas temáticas utilizadas en el análisis y de los procesos de formación y edafogénesis de los suelos.

Para el caso específico de la provincia insular de Galápagos se utilizó la información que PRONAREG-ORSTOM en mapas ecológicos, geomorfológicos y de formaciones vegetales de todas las islas; además de los mapas de aptitud agrícola y uso actual de suelo de las zonas agrícolas de Santa María, Santa Cruz y San Cristóbal, así como los mapas morfo-pedológicos de Santa María, Santa Cruz, San Cristóbal y la isla San Fe. Además se integró información levantada por el Programa: Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras-SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca-MAGAP, quienes levantaron información de suelos de las Islas en 2009.

Por disponer información principalmente actualizada y oficial de las islas Galápagos no se consideró necesaria la intervención en campo para el levantamiento y verificación los valores de conductividad en campo.

Para la generación del mapa de conductividad eléctrica de la provincia de Galápagos se procedió al igual que en el resto del país, utilizando como base la información de geomorfología georreferenciada, donde se observó que las áreas donde existe suelo formado a partir del material parental meteorizado es muy limitado, ubicándose la mayor parte en San Cruz y San Cristóbal y algunas pocas en Isabela y San María.

6. RESULTADOS

6.1. Mapa de conductividad eléctrica de los suelos

Como producto final se obtuvo Mapa de conductividad eléctrica de los suelos a escala 1:250 000, georreferenciado en Sistema espacial UTM, Datum World Geodetic System de 1984, zona 17 Sur, en formato Shapefile (*.shp); compatible con el mapa 1:50 000 del software ICS Telecom.

Con esto, el mapa de conductividad eléctrica de los suelos quedó de la siguiente manera como se muestra en la figura 41 en formato shapefile.

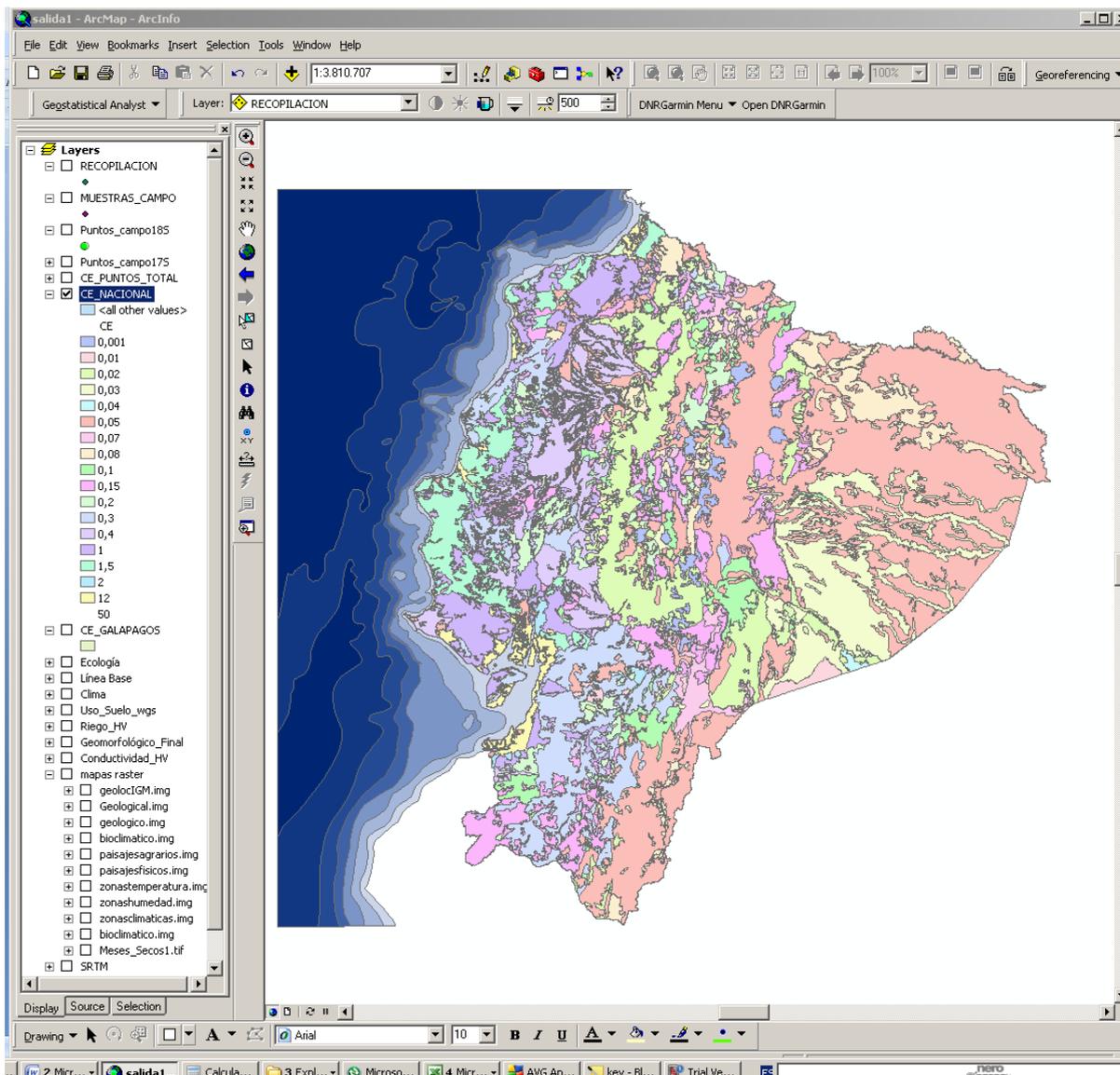


Figura 48. Mapa de conductividad eléctrica de los suelos del Ecuador continental.

La cobertura de conductividad eléctrica de suelos ha sido desarrollado a través de un método analítico con un enfoque holístico, esto se lo ha realizado con la ayuda de información secundaria obtenida de fuentes oficiales y mucha de esta información fue revisada y calificada en cuanto la importancia dentro de este proyecto así como la veracidad la información.

Esto se logró principalmente por la facilidad de disponer equipos para visualizar en tiempo real las coberturas temáticas con un error bajo, esto logrado a través del uso de navegadores GPS con alta sensibilidad, lo que permite navegar sobre las coberturas temáticas con errores entre 3 a 5 metros, y así conocer en cada instante dentro de que unidad nos encontramos.

Esa gran ventaja de evaluar la información en tiempo real no hubiese sido posible gracias a un Sistema de Información Geográfica estable, que permita el uso de información en diferentes zonas pero que se visualicen en un mismo sitio gracias

a una transformación automática, con esto el autor quiere hacer hincapié en que el software disponible ArcGis 9.3 tiene la capacidad de colocar en la misma vista (view) información que se encuentre en diferentes zonas, es decir la información base y temática se encontraba en sistema UTM WGS84 zona 17S y en el momento de la navegación la función automática reproyectaba la información a zona 18S, con lo cual el grupo técnico no debía llevar información en las diferentes zonas. Esto porque durante el trayecto de nos encontrábamos pasando de una zona a otra y de norte a sur y nunca se requirió realizar transformaciones de los archivos.

La cobertura obtenida a partir de la extrapolación de los valores de conductividad georreferenciados, obtenido del modelamiento por el método de kriging a través de las herramientas de Geostatistical Analyst. El modelo obtenido no cumplió con los requerimientos lógicos, esto porque el grupo técnico conoció el territorio navegando en tiempo real sobre las diferentes coberturas, así que se determinó que no existe correspondencia lógica con la realidad.

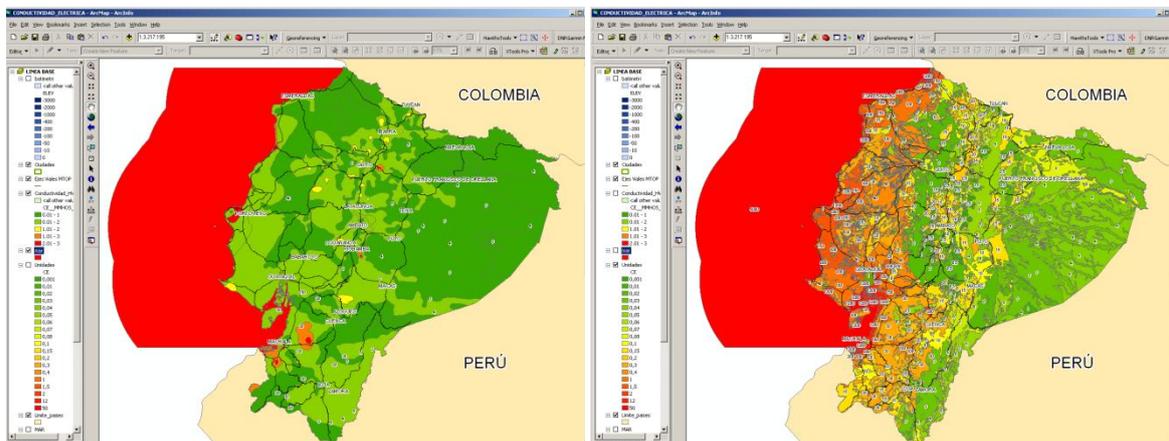


Figura 49. Cobertura de CE generada por modelamiento estadístico (izquierda) y Cobertura de CE generada por método analítico.

Se consideró importante agregar una ampliación con el valor de conductividad del agua salina de mar (la cual presenta una conductividad 50 dS/m que es equivalente a 5 000 mS/m), esto hasta una distancia de 200 km lineales según lo solicitado por la SUPERTEL, para analizar la propagación radioeléctrica en este sector del mar territorial.

Con lo cual se obtuvo el siguiente mapa que se observa en la figura 43.

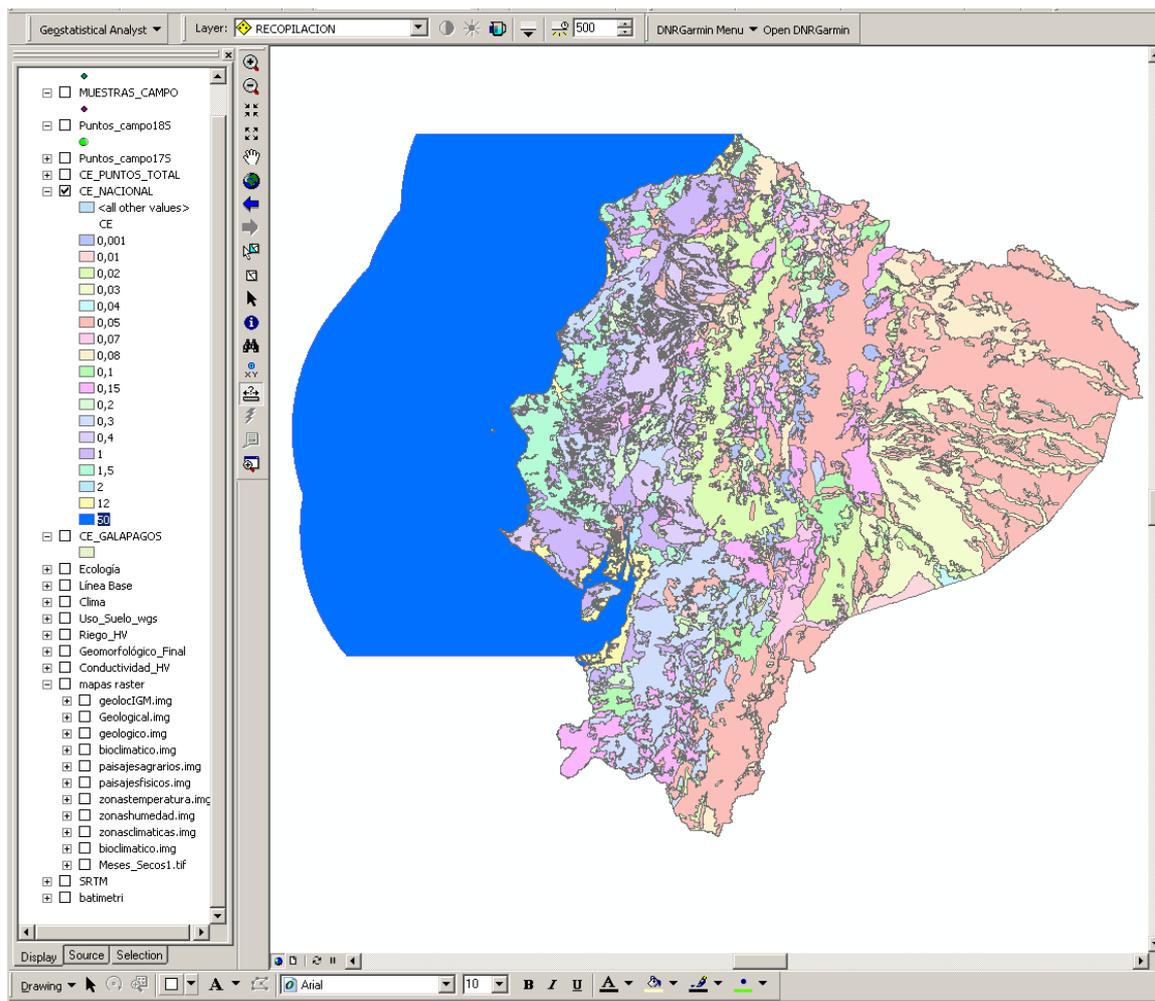


Figura 50. Mapa de conductividad eléctrica con ampliación al mar territorial del Ecuador Continental.

Todas las coberturas temáticas se encuentran originalmente en formato shapefile (*.shp) y geodatabase (*.gdb), las cuales han pasado por un proceso de control de calidad para asegurar que no exista problemas en los polígonos como agujeros o sobre posiciones, los cuales son solventados con herramientas de topología.

Además estos archivos se encuentran correctamente georreferenciados en el sistema de proyección Universal Transversa de Mercator-UTM, y el datum horizontal World Geodetic System año 1984.

Como se había manifestado en el capítulo de metodología, toda la información desde el inicio estaba en el sistema de referencia UTM WGS84, con lo cual se asegura que toda la información se encuentra en el sistema de referencia adecuado.

6.1.1. Mapa de Conductividad Eléctrica Archipiélago de Galápagos

Igualmente como producto final de la consultoría se obtuvo un Mapa de conductividad eléctrica del Archipiélago de Galápagos a escala 1:250 000, georreferenciado en Sistema espacial UTM, Datum World Geodetic System de 1984, zona 17 Sur, en formato Shapefile (*.shp) como se muestra en la figura 38.

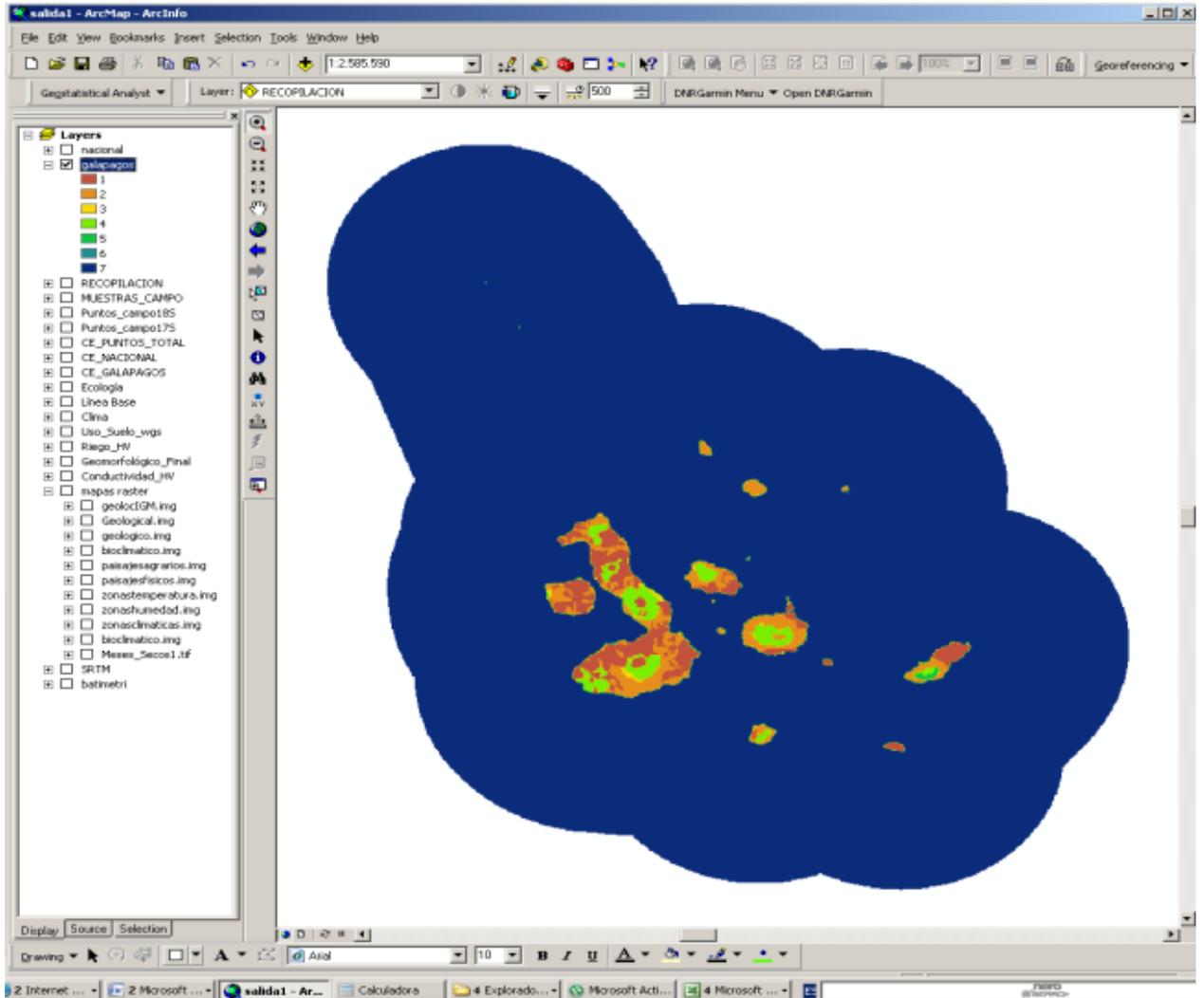


Figura 51. Imagen formato *.img (raster) de la conductividad eléctrica de los suelos.

De la misma forma se agregó una proyección de 200 km de desde las islas hacia el Océano Pacífico, para finalmente obtener la cobertura de la provincia de Galápagos.

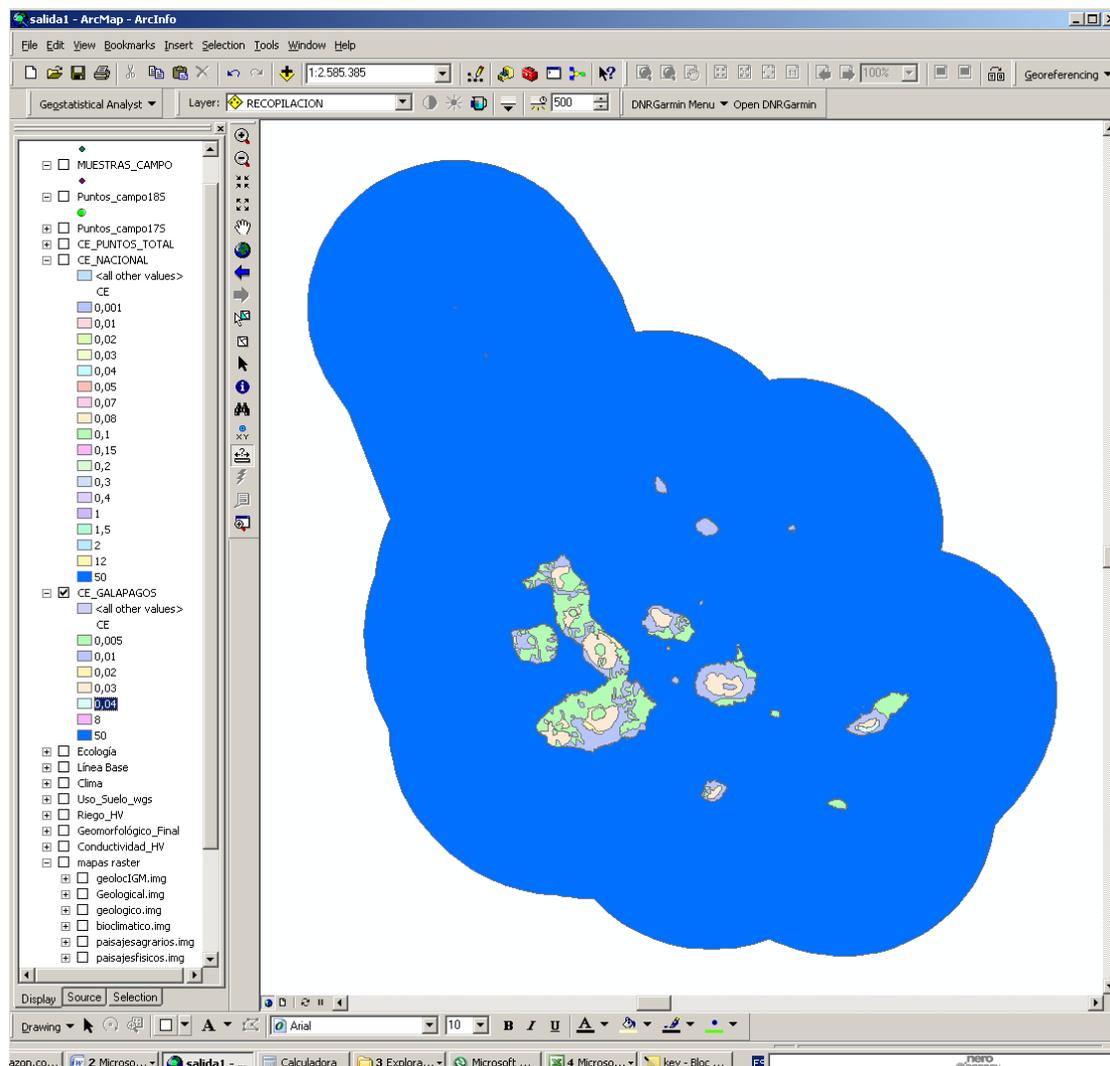


Figura 52. Mapa de conductividad eléctrica con proyección al mar territorial del Ecuador Insular.

Finalmente, la cobertura resultante fue migrada al formato raster que utilizar el ICS Telecom en su modelamiento digital de radio de cobertura en cual es un formato *.SOL, donde la nueva cobertura de conductividad eléctrica tiene a simple vista mayor cantidad de información y una tendencia más lógica, adelante se presentan las 2 coberturas, donde se puede identificar una variación bastante grande.

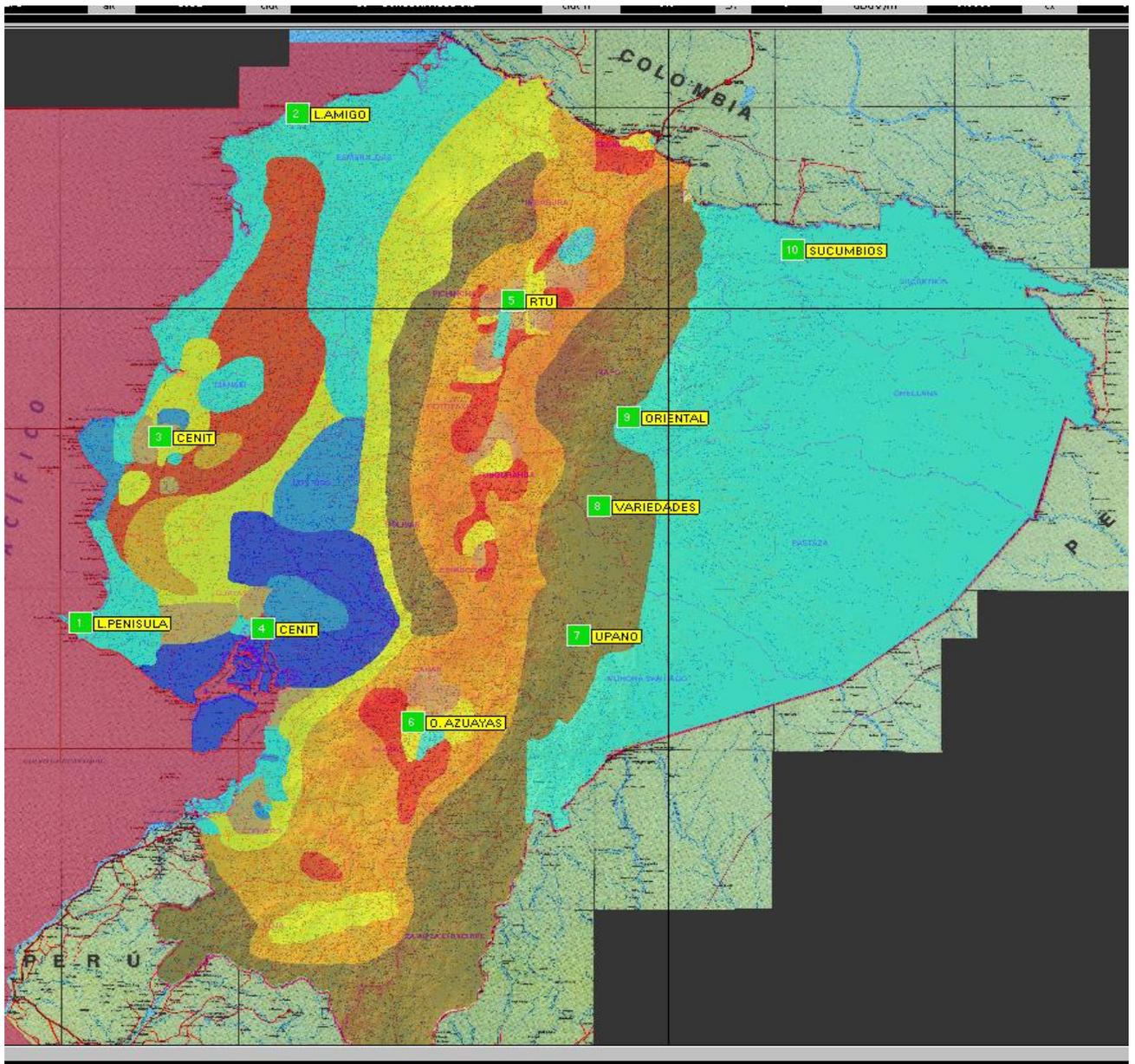
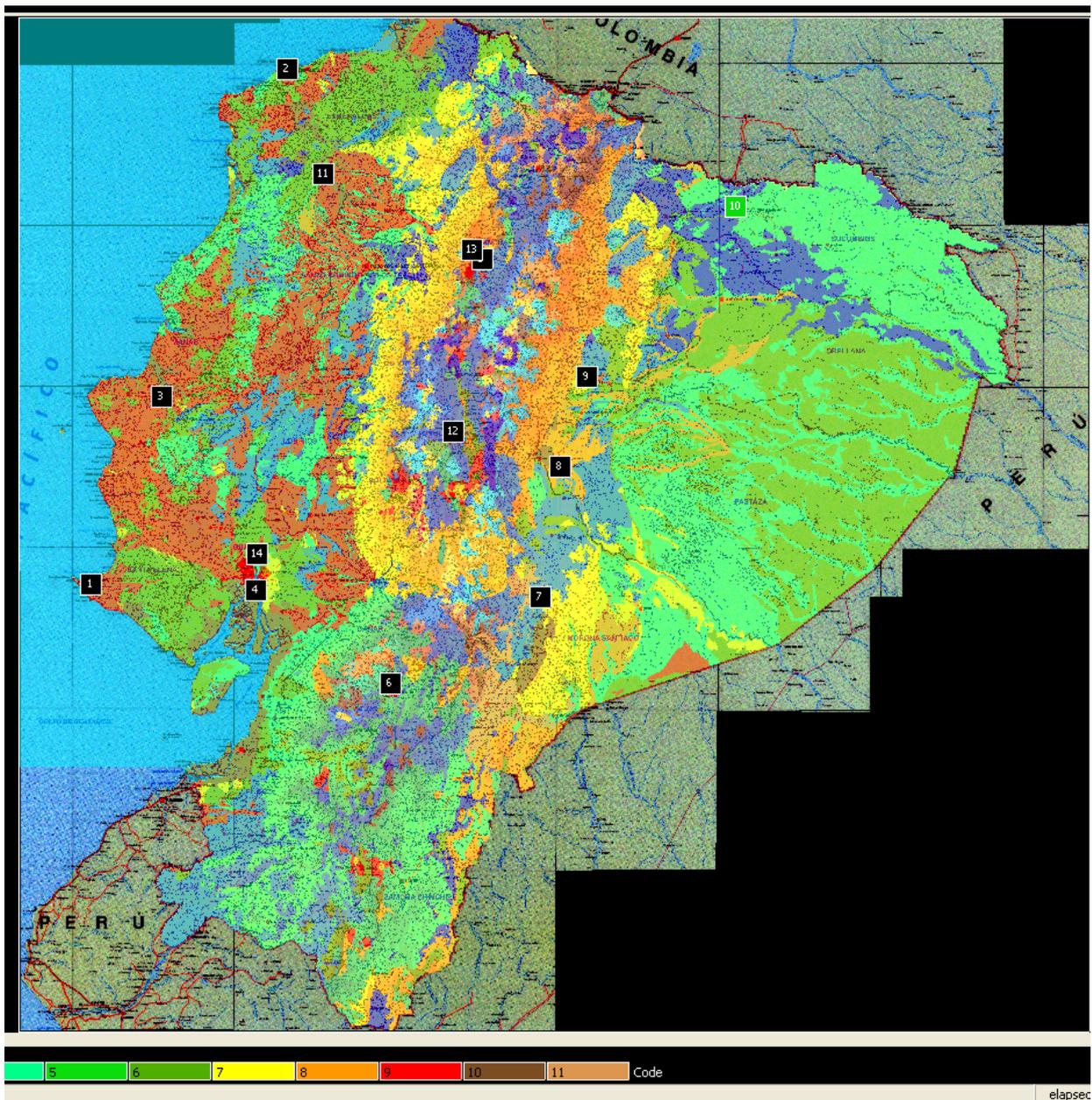


Figura 53. Clutter inicial generado en el año 1982.

Este clutter muestra que en la zona de la amazonía ecuatoriana presenta valores muy cercanos a los del litoral, siendo que estas zonas presentan valores más elevados por la cantidad salinidad que proviene desde el pacífico, además en los valles interandinos los valores de conductividad tampoco deben presentarse con valores muy elevados como en sectores de la cuenca del río Portoviejo donde los suelos son muy salinos por el tipo de riego por inundación que utilizan el cual en marea alta es mezclado con el agua dulce que proviene del continente.



El clutter actual presenta condiciones más lógicas del territorio, puesto que este está referido a las formas del paisaje, los valores más altos se encuentran en las zonas donde presentan la mayor cantidad de meses secos o que soportan una fuerte cantidad de salinidad desde el pacífico, tómesese también en cuenta que el valor más alto de conductividad se encuentra en el mar, por ello el fuerte desplazamiento de las ondas a través del agua salina del pacífico.

Se realizaron varias mediciones a la cobertura de conductividad eléctrica (clutter), las cuales fueron corroboradas con información de estudios periódicos realizados en campo para cada emisora, donde se observa un cambio significativo y que correspondió a los datos de campo, lo que no pasaba con la cobertura anterior, dando los siguientes resultados comparativos que se muestran en las siguientes figuras:

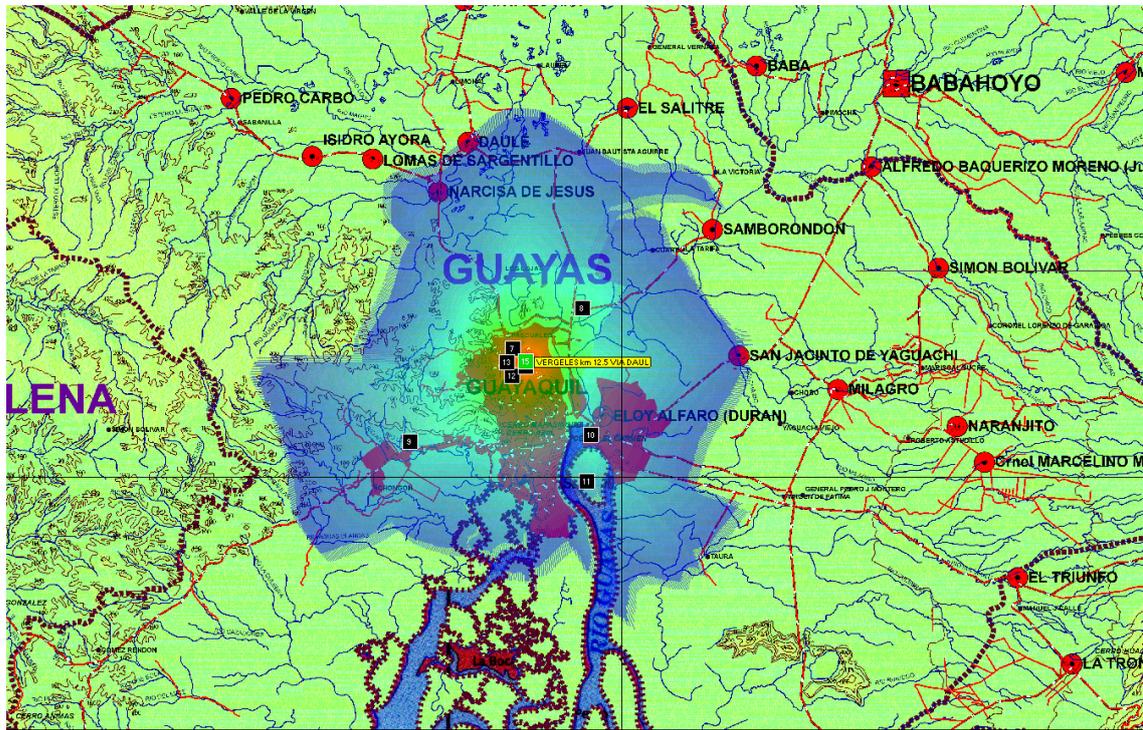


Figura 54. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM Los Vergeles en el software ICS Telecom

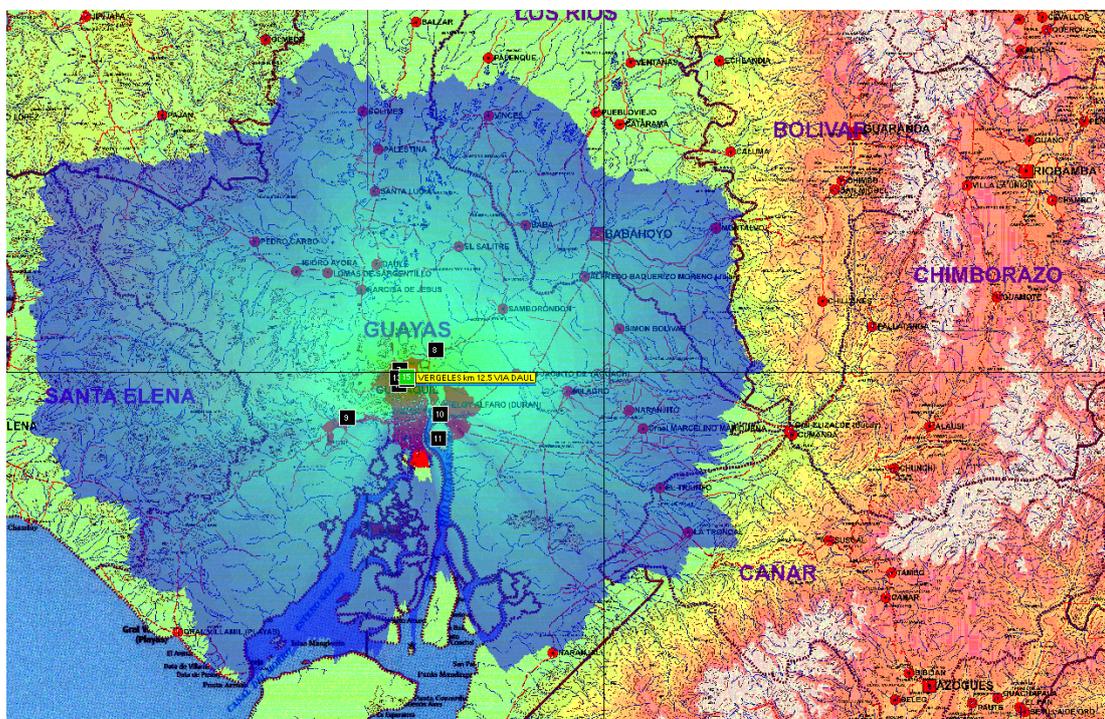


Figura 55. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM Los Vergeles en el software ICS Telecom

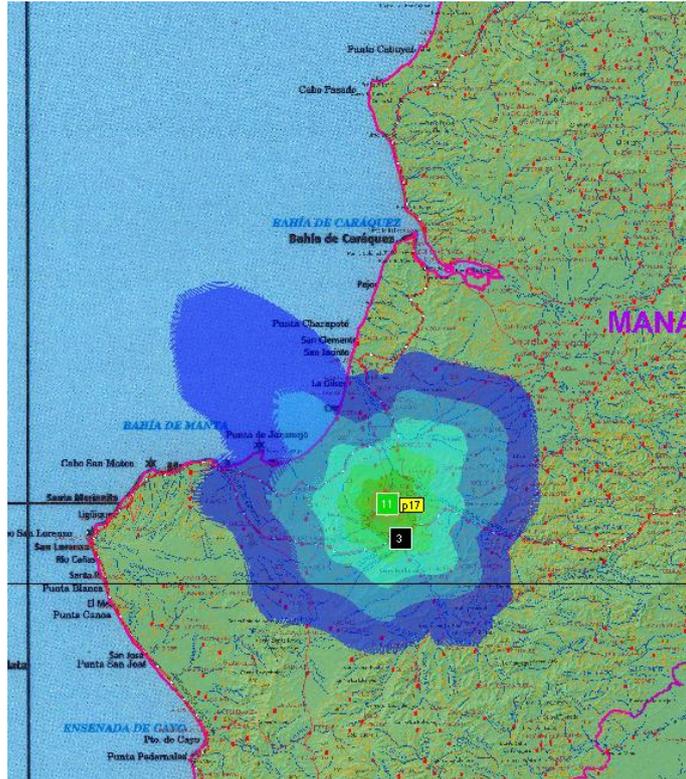


Figura 56. . Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM El Negrital en el software ICS Telecom

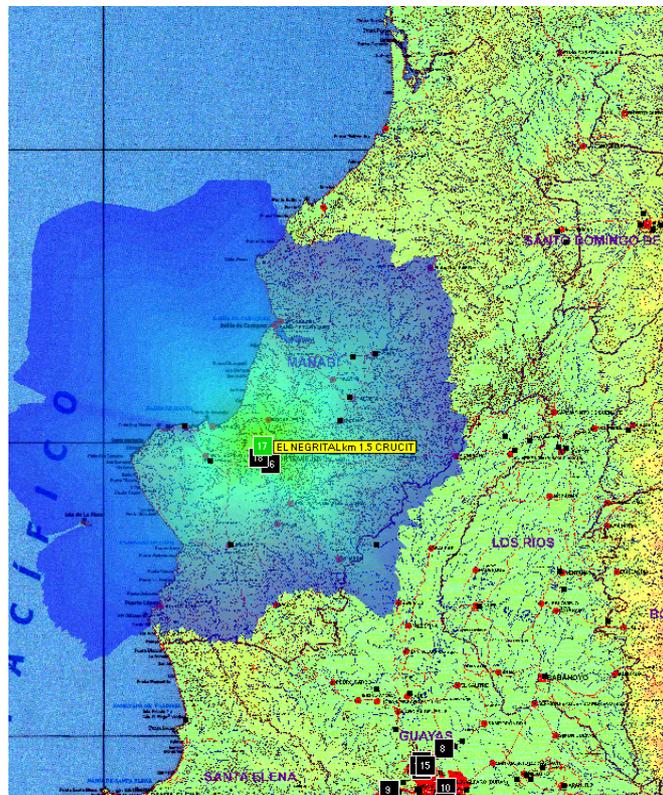


Figura 57. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM El Negrital en el software ICS Telecom

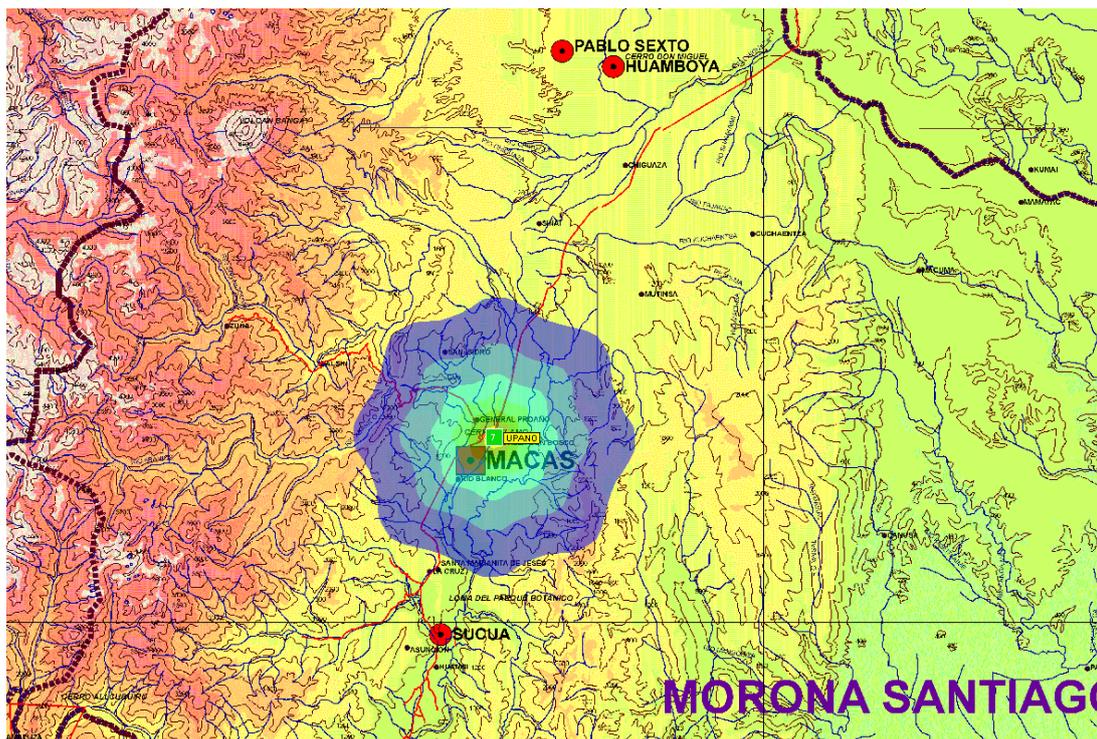


Figura 58. . Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM Upano en el software ICS Telecom

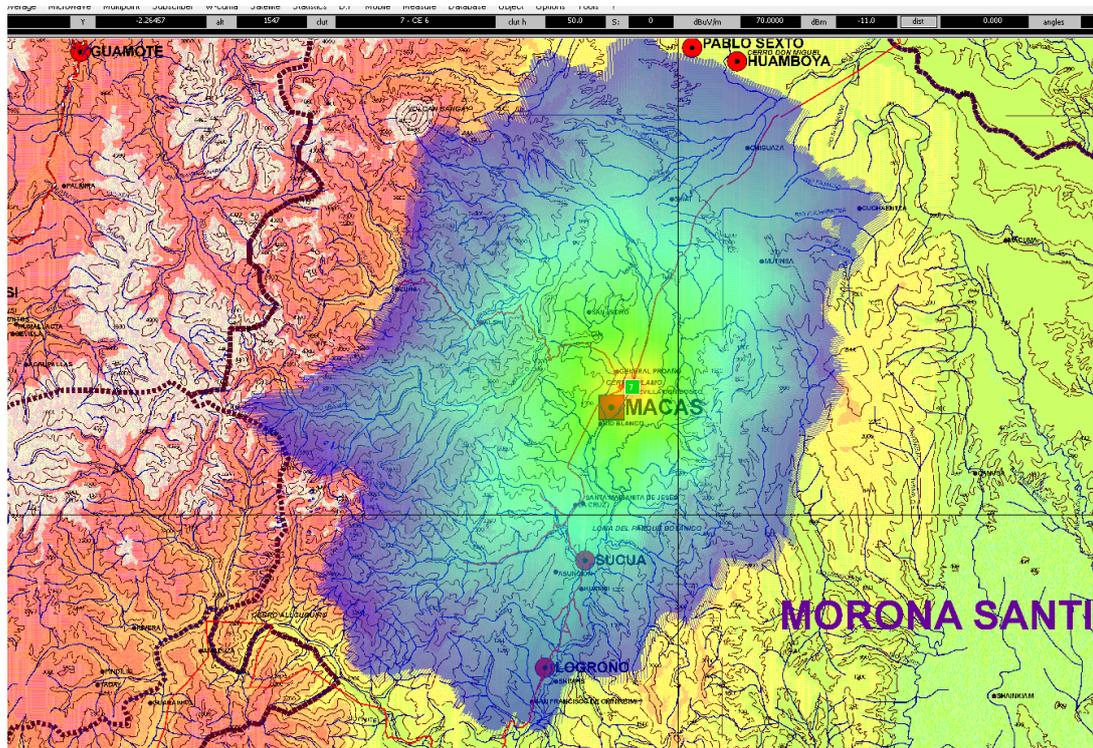


Figura 59. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM Upano en el software ICS Telecom

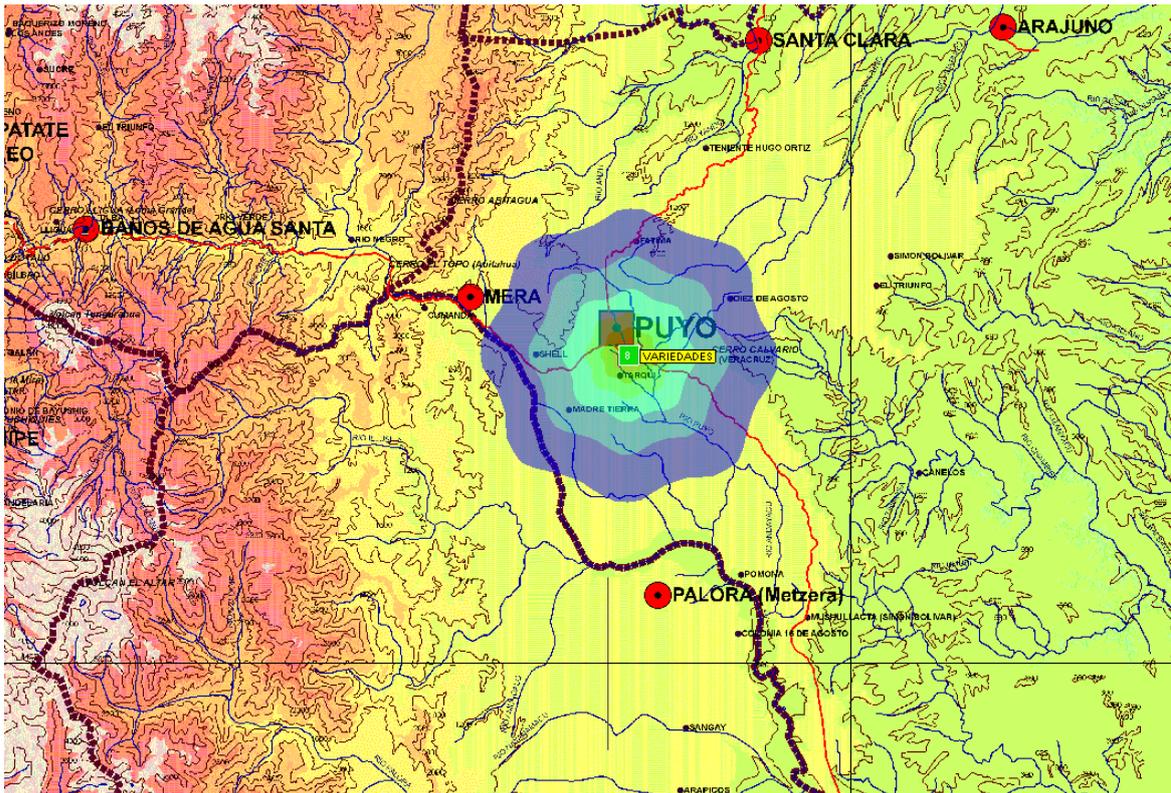


Figura 60. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM Variedades en el software ICS Telecom

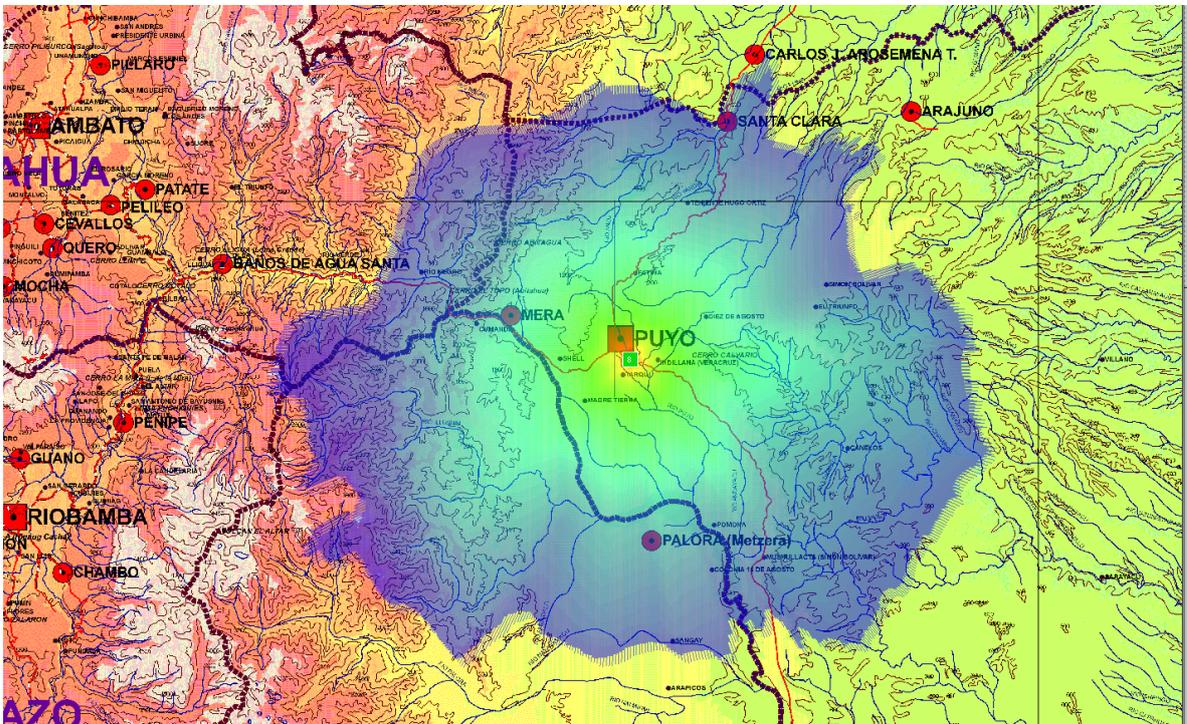


Figura 61. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM Variedades en el software ICS Telecom

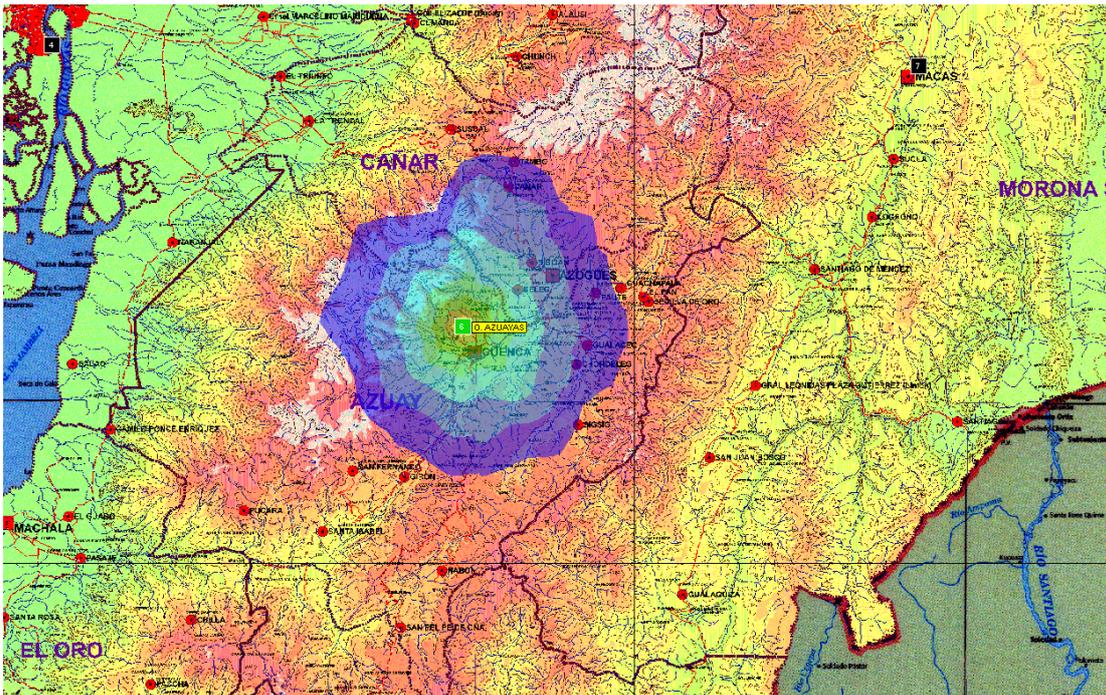


Figura 62. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM O. Azuayas en el software ICS Telecom

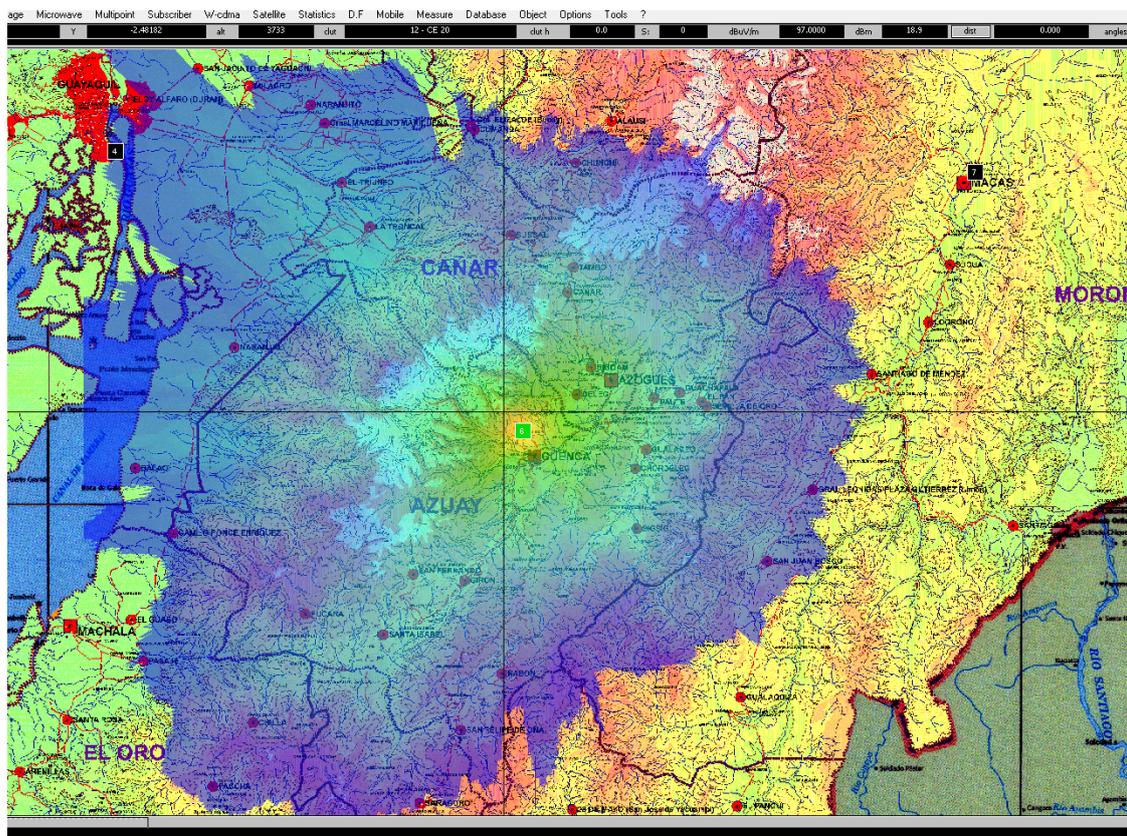


Figura 63. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM O. Azuayas en el software ICS Telecom

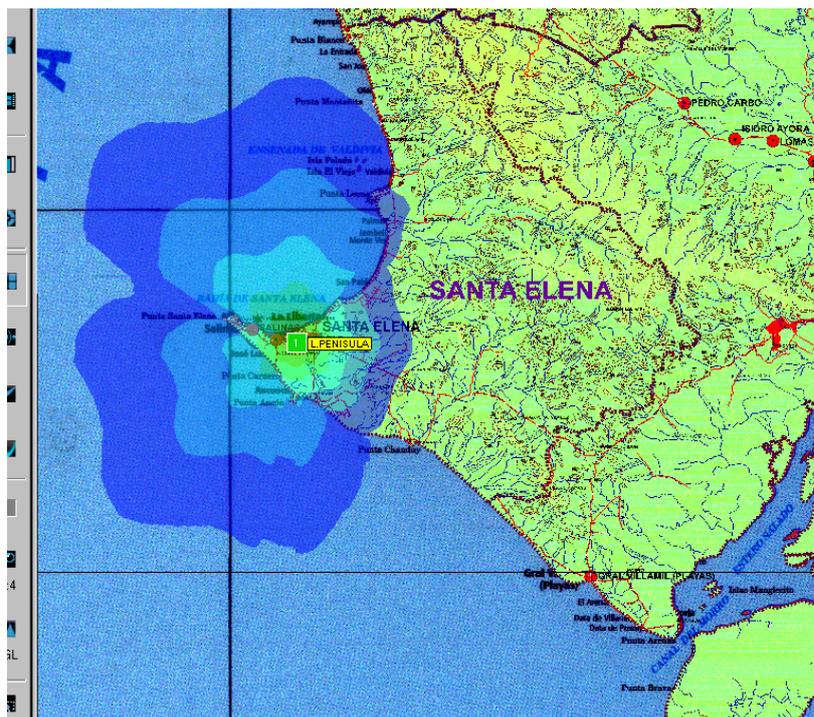


Figura 64. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM L. Península en el software ICS Telecom

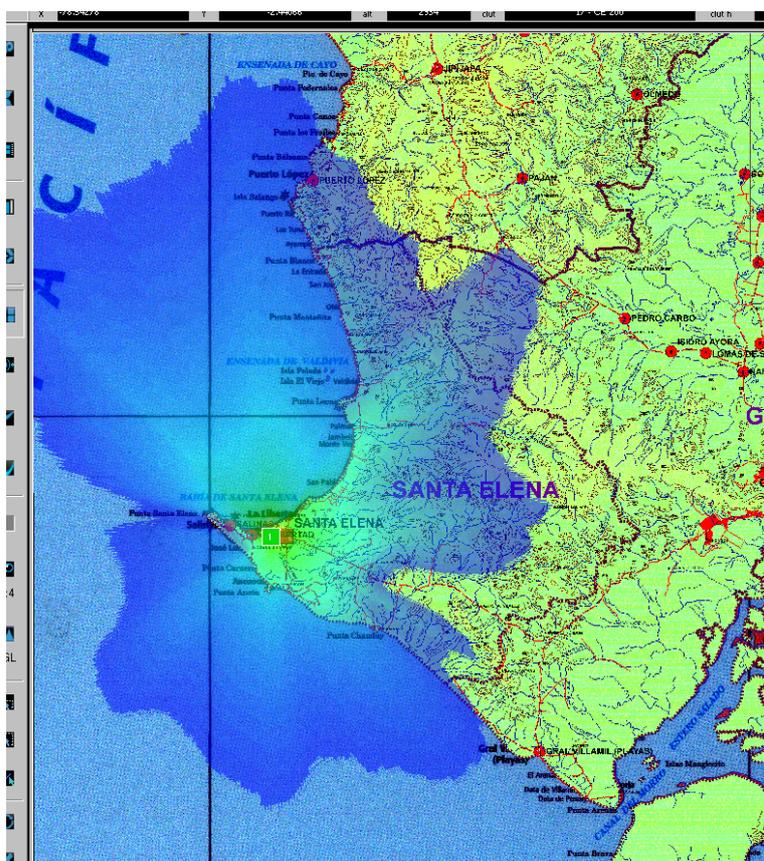


Figura 65. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM L. Península en el software ICS Telecom

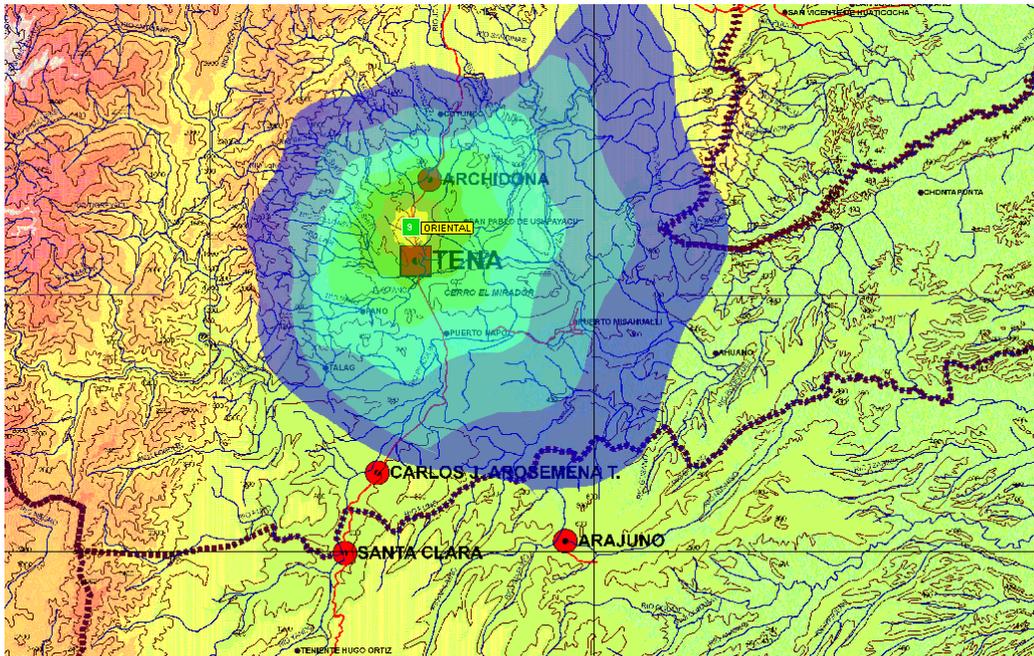


Figura 66. . Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM Oriental en el software ICS Telecom

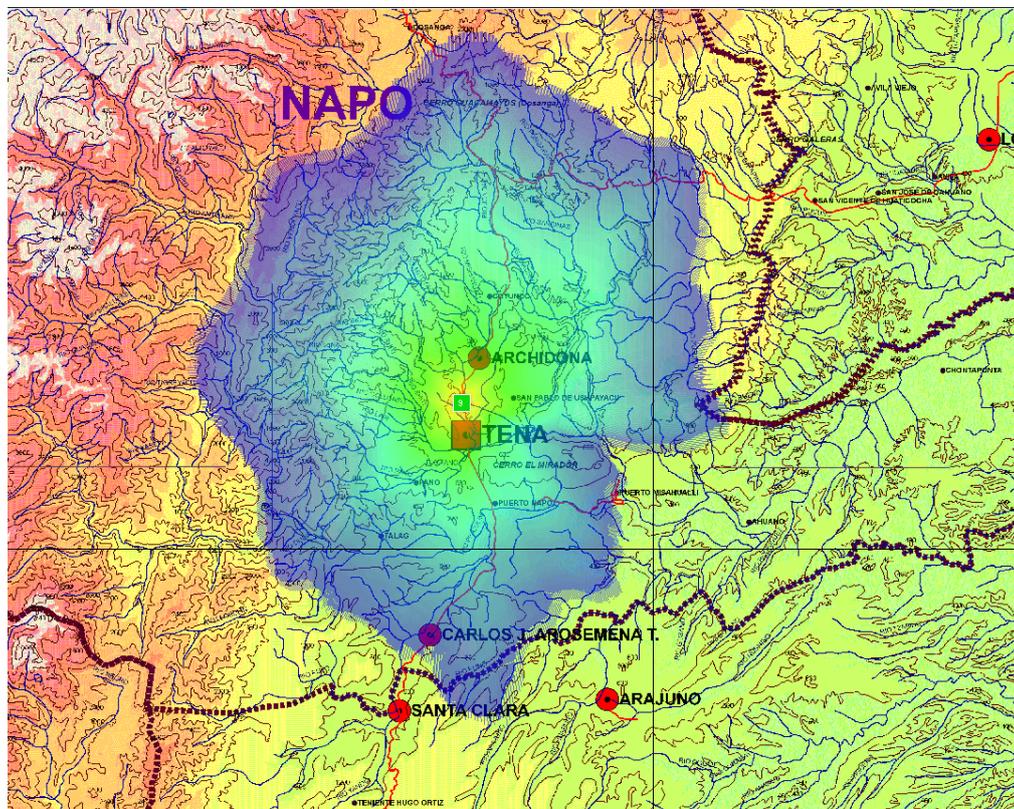


Figura 67. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM Oriental en el software ICS Telecom

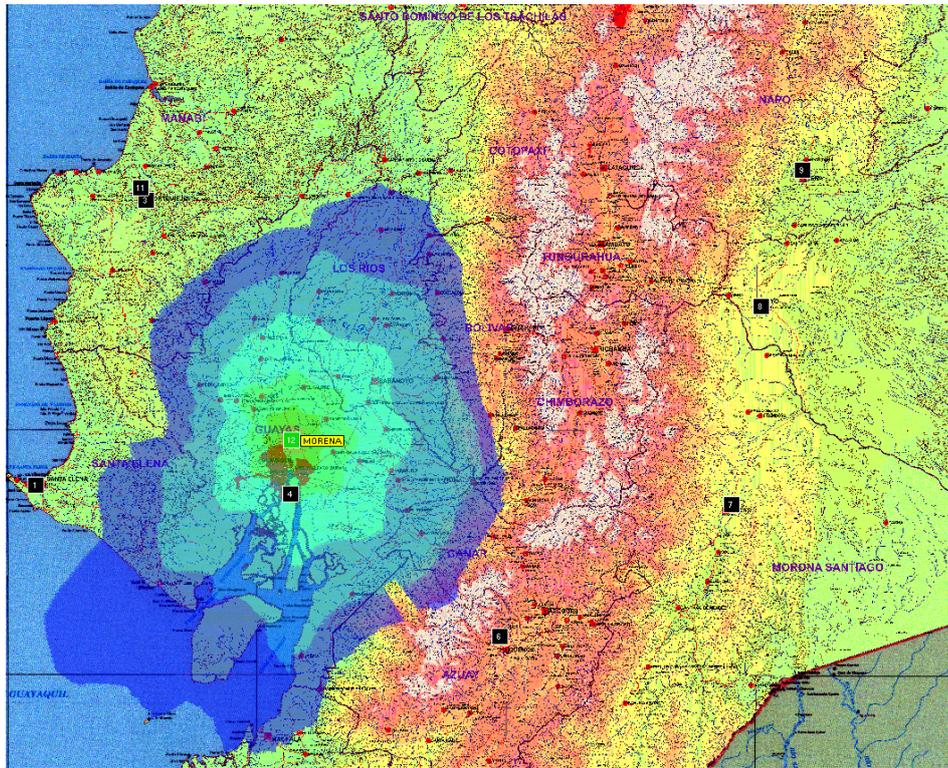


Figura 68. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM Morena con el software ICS Telecom

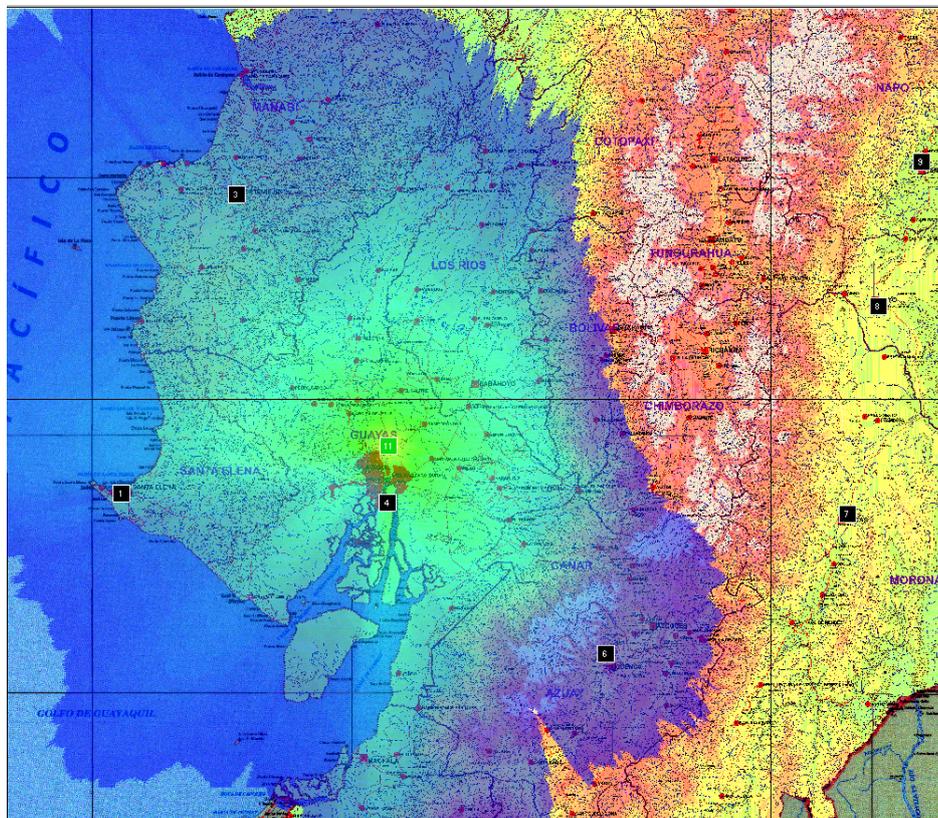


Figura 69. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM Morena con el software ICS Telecom

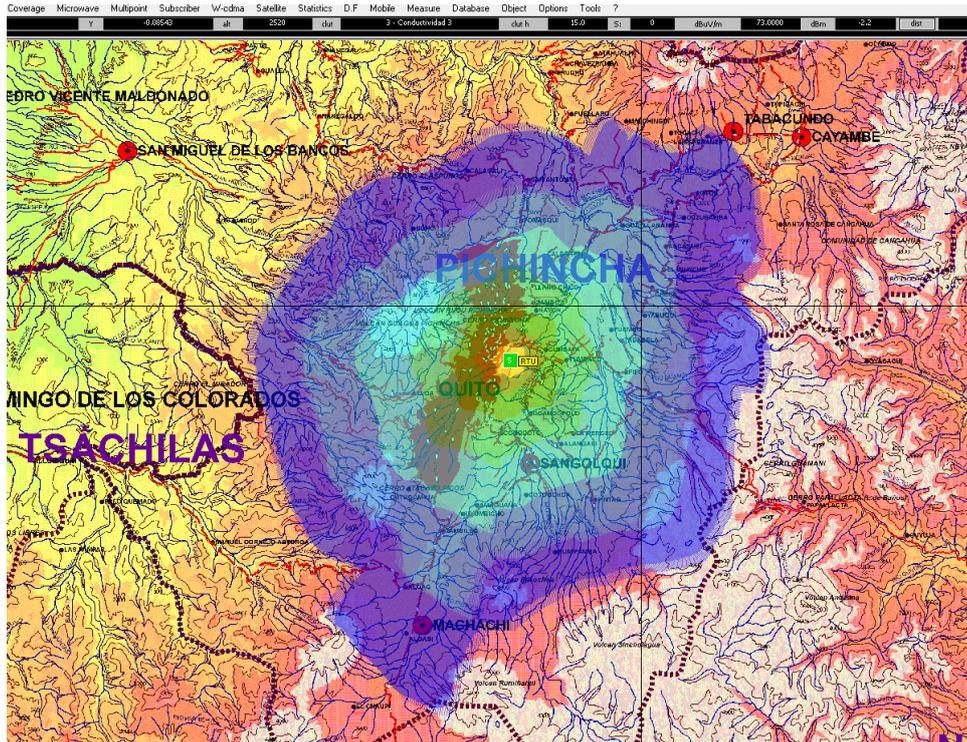


Figura 70. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM RTU con el software ICS Telecom

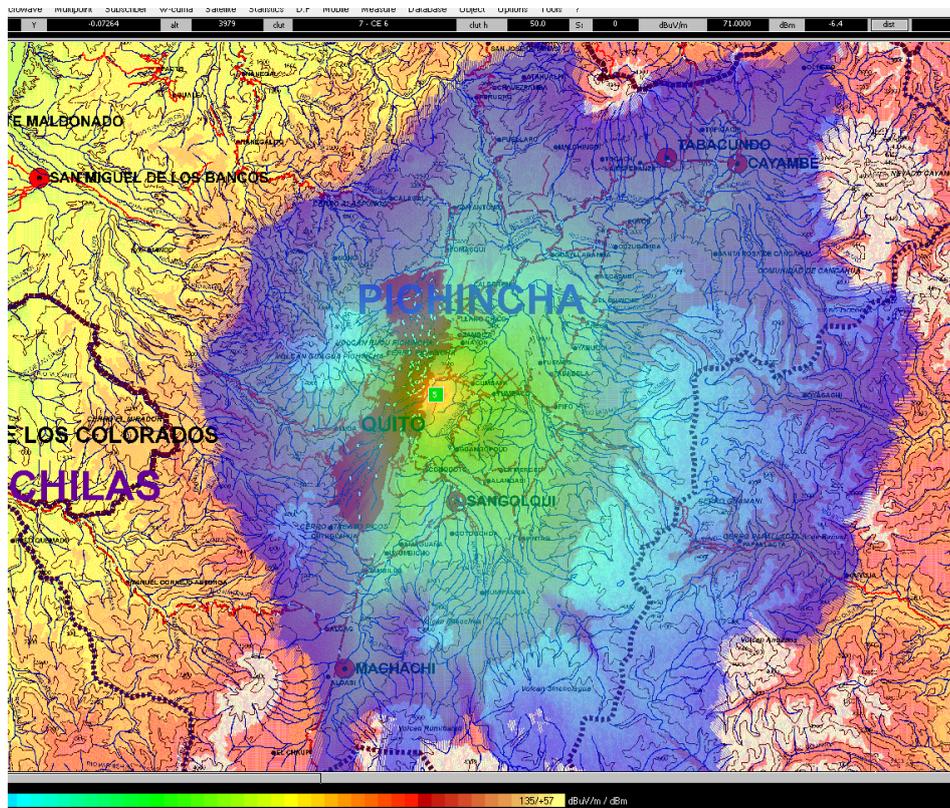


Figura 71. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM RTU con el software ICS Telecom

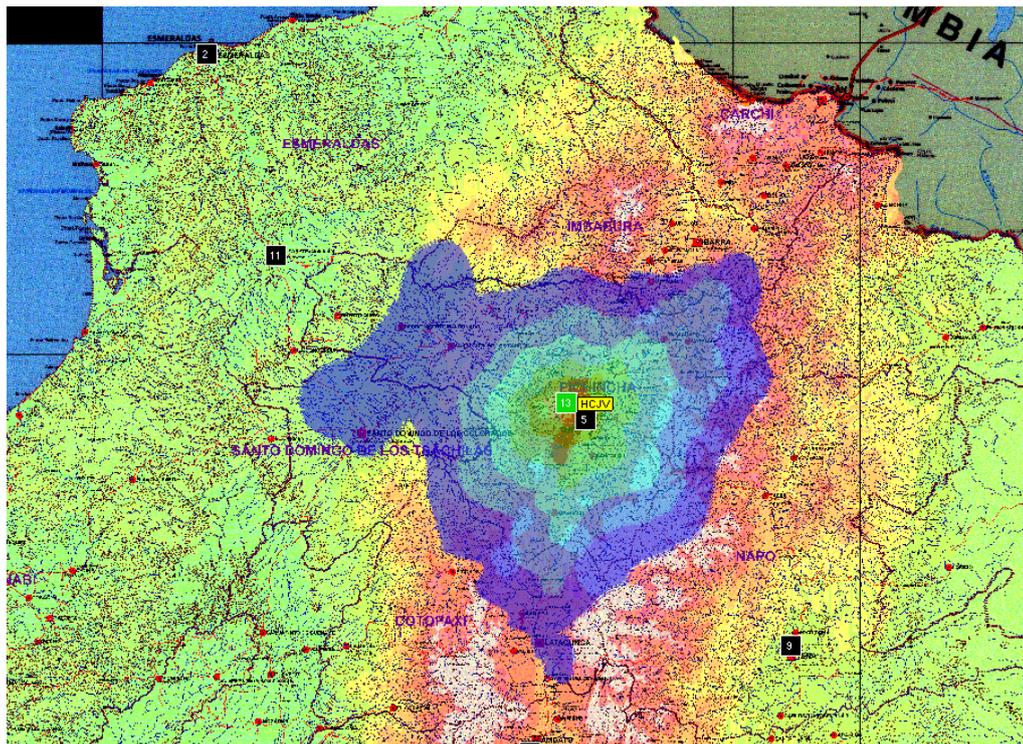


Figura 72. . Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter original en la estación AM HCJV con el software ICS Telecom

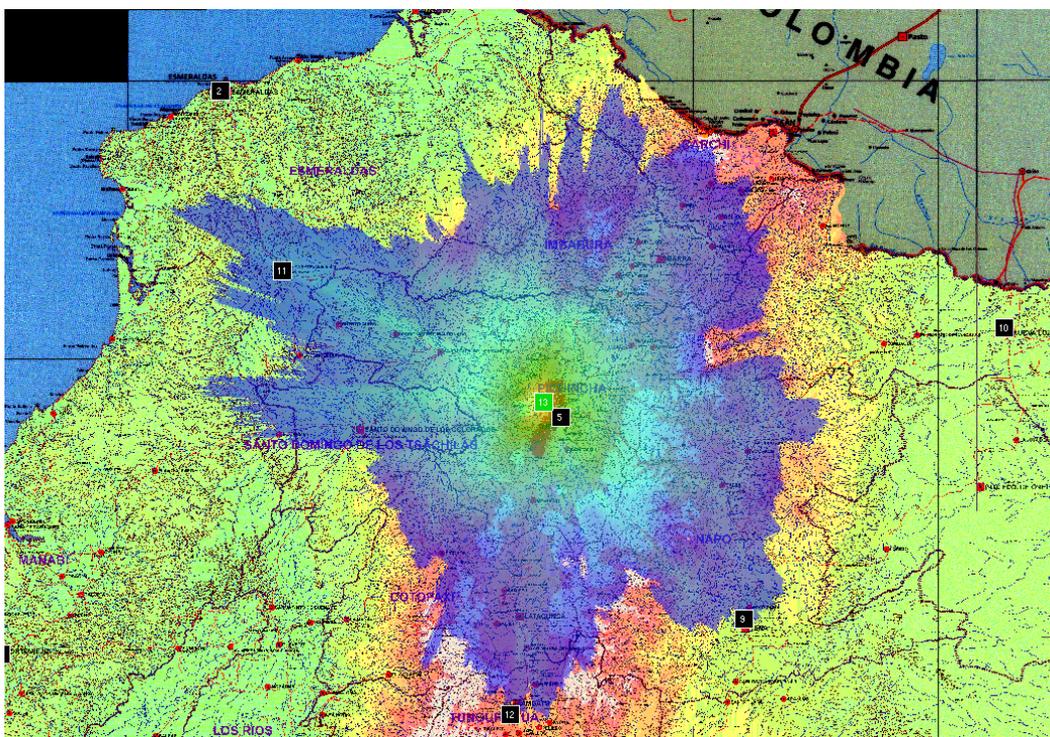


Figura 73. Modelamiento digital de radio de cobertura con Clutter actual en la estación AM HCJV con el software ICS Telecom

7. Conclusiones

- El mejor método para generar un mapa de Conductividad Eléctrica a gran escala responde a un enfoque holístico, donde se utilizó como unidades básicas la cobertura geomorfológica y se analizaron varias coberturas temáticas (clima, geología, suelos y otras) que permitieron llegar más cerca de la realidad que se corroboró finalmente con intervenciones dirigidas en campo, navegando en tiempo real sobre las coberturas temáticas.
- La cobertura de conductividad eléctrica de los suelos a escala 1:250 000 luego de varias pruebas se aceptó con un 100% de satisfacción por parte de la Superintendencia de Telecomunicaciones-SUPERTEL, ya que la entidad dispone de varios estudios realizados a nivel nacional donde se exponen los resultados, donde el modelamiento sobre la cobertura de CE cubrió todas las expectativas.
- La mejora de los resultados del radio de cobertura radioeléctrica medido con el ICS Telecom es significativamente más acertado con el clutter que se generó, todas las comparaciones con los estudios han sido correctas, por lo que se puede manifestar que la metodología empleada en este estudio cubre las necesidades de la Superintendencia de Telecomunicaciones-SUPERTEL así como el interés del estado ecuatoriano de disponer información para conocer el uso real del espectro radioeléctrico por parte de las emisoras de radio en Amplitud Modulada.
- Las coberturas se encuentran en el sistema espacial de referencia Universal Transversa de Mercator – UTM, Datum World Geodetic System de 1984, zona 17 Sur, en formato shapefile (*.shp).
- La cobertura digital es susceptible de ser actualizada o cambiada si así se lo requiriera.

8. Recomendaciones

- Cuando se requiera obtener información, utilizando un método analítico, con un enfoque de paisaje o similar, es de gran ayuda la de navegar en tiempo real sobre la información temática secundaria, lo que ayuda a tener una idea clara del territorio, ya que si el grupo técnico debe detenerse para ubicarse en un mapa analógico y con un GPS navegador, esto a más que hace perder tiempo al grupo, hace imprecisa la ubicación y no permite el hecho de navegar sobre la información, para entender cada una de las unidades.
- Un método analítico es siempre más costoso que un modelado estadístico, pero es necesario entender que un modelamiento estadístico es necesario para un análisis rápido y con una buena densidad y número de muestreo, porque en otro caso esto podría derivar en datos irreales, que fue el caso original por lo cual se decidió realizar un enfoque holístico con muestreo dirigido, el cual debía ser realizado por un estudio in-situ y en tiempo real, por lo cual se requirió de equipos para poder lograr con este objetivo.
- Utilizar desde el inicio del proyecto la información en el sistema espacial adecuado puede ayudar, ya que mucha información que se considera al principio utilizar en el transcurso del proyecto el dejada a un lado hasta que

nuevamente se requiere la misma y de no estar en el sistema adecuado puede causar problemas al grupo técnico.

9. Bibliografía

- APOLLIN, F.; EBERHART, C.; *Análisis y Diagnóstico de los Sistemas de Producción en el Medio Rural*. Quito., Consorcio CAMAREN. 1999.
- BARRIGA, S.; MITE, F.; CALVACHE, M.; Diagnóstico de la salinidad de los suelos cultivados en las principales áreas bajo riego en el Ecuador. Tesis de Grado. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. 2003.
- CEPEDA, J.; Química de suelos.; Editorial Trillas. México. 2007.
- DOERGE, T.; KITCHEN, N.; LUND, E.; Mapero de Conductividad Eléctrica de Suelo, Guías para el Manejo del Suelo Adecuado a Cada Sitio – SSMG-30., LOBO-GUERRERO, A. Traducido por., LOGEMIN S.A. Recuperado el 03 de Agosto de 2010, de http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/39_mapeo_conductividad_electrica.pdf
- FUENTES, J.; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.; El suelo y los fertilizantes., 5ta edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1999.
- FASSBENDER, H.; BORNEMISZA, E.; Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA., 1994.
- GALLEGOS, A. La Aptitud Agrícola de los Suelos. Editorial Trillas., 1997.
- IBAÑEZ, J.; Temperatu del Suelo y Microclima., 2008. Recuperado el 02 de Agosto de 2010, de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/21/82825>
- INSTITUTO DEL FOSFORO Y EL POTASIO-INPOFOS. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. En P. a. Institute.; USA INPOFOS., 1997.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC.; Métodos analíticos del laboratorio de suelos., 6ta edición. Colombia. 2006.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC.; Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Bogotá, D.C., 2005.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC; Principios Básicos de Cartografía Temática., Santa Fe de Bogota D.C., 1998.
- JORDÁN, A. Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. 2006.

- LOGSDON, S.; CLAY, D.; MOORE, D. TSEGAGE, T.; Step by Step Field Analysis, Soil Science., Soil Science Society of America., 2008.
- LUZURIAGA, C.; Curso de Edafología General. Escuela Superior Politécnica del Ejercito-ESPE., Quito. 2001.
- MENDOZA, E.; LUZURIAGA, C.; PLENECASSAGNE, A.; Métodos de análisis Suelos y Follares. MAG-ORSTOM. Tumbaco. 1992.
- MILLER, A.; Climatología., 5ta edición; Ediciones Omega; Barcelona. 1982.
- MORA, S.; VALVERDE, R.; Geología-Procesos de la dinámica interna y externa. Editorial tecnológica de Costa Rica., Instituto Tecnológico de Costa Rica., Costa Rica., 2005.
- OBANDO, G.; Fondo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO., 1997. Recuperado el 02 de Agosto de 2010, de <http://www.fao.org/docrep/003/x8763s/x8763s0a.htm#TopOfPage>
- OSORIO, C.; Fundamentos de geomorfología., Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Editorial Trillas, México, D.F., 1992.
- PADILLA, W.; Fertilización de suelos y nutrición vegetal. Clínica Agrícola-Agrobiolab. Quito. 2002.
- PLASTER, E.; La ciencia del suelo y su Manejo. Editorial Tromson., ITP-Paraninfo. EU. 2002.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C.; Edafología para la agricultura y el medio ambiente, 3ra edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2003.
- PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M.; Agenda de campo de suelos, Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente., Ediciones Mundi-Prensa, Cataluña-España., 2005.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; POCH, R.; Introducción a la edafología Uso y protección del suelo., Madrid. 2008.
- ROLDÁN, M.; Determinación de las constantes de la tierra. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional-EPN, Facultad de Electrónica y telecomunicaciones. Quito. 1981.
- ROMERO, E. G. (1997). Las Arcillas: Propiedades y Usos.; Recuperado el 19 de 07 de 2010, de Universidad Complutense de Madrid: <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.htm#supesp>
- SOSA, C. Prácticas de Edafología. Universidad Central del Ecuador, Quito. 2005.
- WIKIPEDIA. (2010). es.wikipedia.org. Recuperado el 14 de Julio de 2010, de http://es.wikipedia.org/wiki/Conductividad_el%C3%A9ctrica

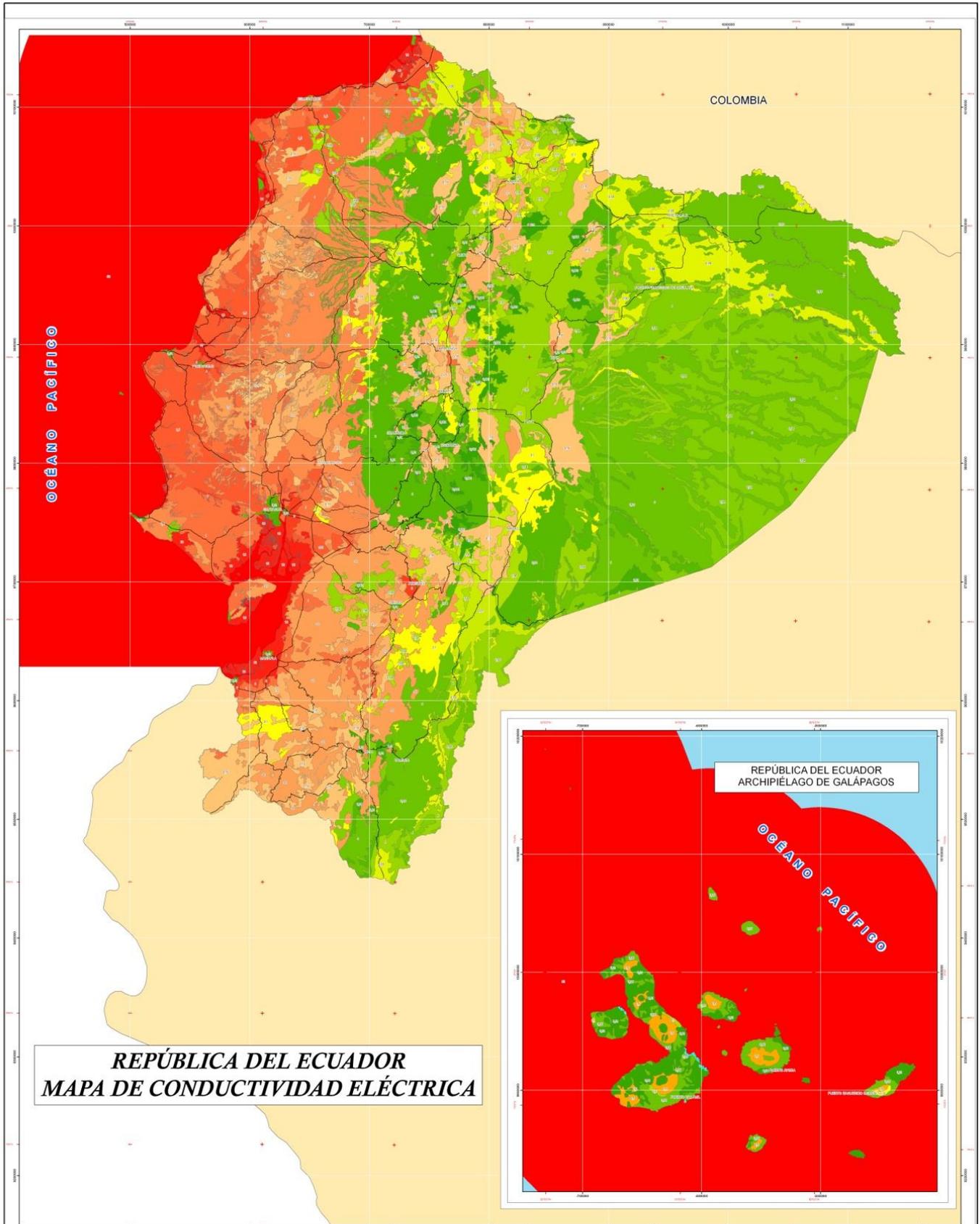
- WINCKELL, A.; MAROCCO, R.; WINTER, T.; HUTTEL, C.; POURRUT, P.; ZEBROWSKI, C.; SOURDAT, M.; Las condiciones climáticas del medio natural., Geografía básica del Ecuador, Tomo IV geografía física, Volumen I, C.E.D.I.G., 1992.
- WINCKELL, A.; ZEBROWSKI, C.; SOURDAT, M.; Las regiones y paisajes del Ecuador. Geografía básica del Ecuador, Tomo II Geografía de la Población Volumen I. C.E.D.I.G., 1997.
- UNIÓN INTERNACIONA DE TELECOMUNICACIONES-UIT, BDT. Manual sobre comunicaciones de socorro en situaciones de catástrofe. Consultado 19 julio 2010. Disponible en <http://www.itu.int/itudoc/itu-d/question/studygr2/q016-es.pdf>. 158 pp.

ANEXOS

ANEXO 1

MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE LA
REPUBLICA DEL ECUADOR

(FORMATO A3)



Norte de la cartografía
 Mapa Geológico de Conductividad Eléctrica
 de las Yacimientos del Ecuador
 PROYECTO GENERAL DE ANDERS DE MEXICOR
 Datos cartográficos: Estado: "Mapa Geológico de la Ecuador año 1959"
 Fuente: "Geológico", "Ecuador Geológico", "1959"
 ESCALA: 1:250,000
 Estado de Imagen: 1 / 250,000

LEYENDA TEMÁTICA
Conductividad Eléctrica para Ecuador Continental

Unidades (dSm)	Unidades (dSm)
0.04	0.10
0.07	0.22
0.08	0.32
0.10	0.44
0.12	0.56
0.14	0.68
0.16	0.80
0.18	0.92
0.20	1.04
0.22	1.16
0.24	1.28
0.26	1.40
0.28	1.52
0.30	1.64
0.32	1.76
0.34	1.88
0.36	2.00
0.38	2.12
0.40	2.24
0.42	2.36
0.44	2.48
0.46	2.60
0.48	2.72
0.50	2.84
0.52	2.96
0.54	3.08
0.56	3.20
0.58	3.32
0.60	3.44
0.62	3.56
0.64	3.68
0.66	3.80
0.68	3.92
0.70	4.04
0.72	4.16
0.74	4.28
0.76	4.40
0.78	4.52
0.80	4.64
0.82	4.76
0.84	4.88
0.86	5.00
0.88	5.12
0.90	5.24
0.92	5.36
0.94	5.48
0.96	5.60
0.98	5.72
1.00	5.84
1.02	5.96
1.04	6.08
1.06	6.20
1.08	6.32
1.10	6.44
1.12	6.56
1.14	6.68
1.16	6.80
1.18	6.92
1.20	7.04
1.22	7.16
1.24	7.28
1.26	7.40
1.28	7.52
1.30	7.64
1.32	7.76
1.34	7.88
1.36	8.00
1.38	8.12
1.40	8.24
1.42	8.36
1.44	8.48
1.46	8.60
1.48	8.72
1.50	8.84
1.52	8.96
1.54	9.08
1.56	9.20
1.58	9.32
1.60	9.44
1.62	9.56
1.64	9.68
1.66	9.80
1.68	9.92
1.70	10.04
1.72	10.16
1.74	10.28
1.76	10.40
1.78	10.52
1.80	10.64
1.82	10.76
1.84	10.88
1.86	11.00
1.88	11.12
1.90	11.24
1.92	11.36
1.94	11.48
1.96	11.60
1.98	11.72
2.00	11.84
2.02	11.96
2.04	12.08
2.06	12.20
2.08	12.32
2.10	12.44
2.12	12.56
2.14	12.68
2.16	12.80
2.18	12.92
2.20	13.04
2.22	13.16
2.24	13.28
2.26	13.40
2.28	13.52
2.30	13.64
2.32	13.76
2.34	13.88
2.36	14.00
2.38	14.12
2.40	14.24
2.42	14.36
2.44	14.48
2.46	14.60
2.48	14.72
2.50	14.84
2.52	14.96
2.54	15.08
2.56	15.20
2.58	15.32
2.60	15.44
2.62	15.56
2.64	15.68
2.66	15.80
2.68	15.92
2.70	16.04
2.72	16.16
2.74	16.28
2.76	16.40
2.78	16.52
2.80	16.64
2.82	16.76
2.84	16.88
2.86	17.00
2.88	17.12
2.90	17.24
2.92	17.36
2.94	17.48
2.96	17.60
2.98	17.72
3.00	17.84
3.02	17.96
3.04	18.08
3.06	18.20
3.08	18.32
3.10	18.44
3.12	18.56
3.14	18.68
3.16	18.80
3.18	18.92
3.20	19.04
3.22	19.16
3.24	19.28
3.26	19.40
3.28	19.52
3.30	19.64
3.32	19.76
3.34	19.88
3.36	20.00
3.38	20.12
3.40	20.24
3.42	20.36
3.44	20.48
3.46	20.60
3.48	20.72
3.50	20.84
3.52	20.96
3.54	21.08
3.56	21.20
3.58	21.32
3.60	21.44
3.62	21.56
3.64	21.68
3.66	21.80
3.68	21.92
3.70	22.04
3.72	22.16
3.74	22.28
3.76	22.40
3.78	22.52
3.80	22.64
3.82	22.76
3.84	22.88
3.86	23.00
3.88	23.12
3.90	23.24
3.92	23.36
3.94	23.48
3.96	23.60
3.98	23.72
4.00	23.84
4.02	23.96
4.04	24.08
4.06	24.20
4.08	24.32
4.10	24.44
4.12	24.56
4.14	24.68
4.16	24.80
4.18	24.92
4.20	25.04
4.22	25.16
4.24	25.28
4.26	25.40
4.28	25.52
4.30	25.64
4.32	25.76
4.34	25.88
4.36	26.00
4.38	26.12
4.40	26.24
4.42	26.36
4.44	26.48
4.46	26.60
4.48	26.72
4.50	26.84
4.52	26.96
4.54	27.08
4.56	27.20
4.58	27.32
4.60	27.44
4.62	27.56
4.64	27.68
4.66	27.80
4.68	27.92
4.70	28.04
4.72	28.16
4.74	28.28
4.76	28.40
4.78	28.52
4.80	28.64
4.82	28.76
4.84	28.88
4.86	29.00
4.88	29.12
4.90	29.24
4.92	29.36
4.94	29.48
4.96	29.60
4.98	29.72
5.00	29.84
5.02	29.96
5.04	30.08
5.06	30.20
5.08	30.32
5.10	30.44
5.12	30.56
5.14	30.68
5.16	30.80
5.18	30.92
5.20	31.04
5.22	31.16
5.24	31.28
5.26	31.40
5.28	31.52
5.30	31.64
5.32	31.76
5.34	31.88
5.36	32.00
5.38	32.12
5.40	32.24
5.42	32.36
5.44	32.48
5.46	32.60
5.48	32.72
5.50	32.84
5.52	32.96
5.54	33.08
5.56	33.20
5.58	33.32
5.60	33.44
5.62	33.56
5.64	33.68
5.66	33.80
5.68	33.92
5.70	34.04
5.72	34.16
5.74	34.28
5.76	34.40
5.78	34.52
5.80	34.64
5.82	34.76
5.84	34.88
5.86	35.00
5.88	35.12
5.90	35.24
5.92	35.36
5.94	35.48
5.96	35.60
5.98	35.72
6.00	35.84
6.02	35.96
6.04	36.08
6.06	36.20
6.08	36.32
6.10	36.44
6.12	36.56
6.14	36.68
6.16	36.80
6.18	36.92
6.20	37.04
6.22	37.16
6.24	37.28
6.26	37.40
6.28	37.52
6.30	37.64
6.32	37.76
6.34	37.88
6.36	38.00
6.38	38.12
6.40	38.24
6.42	38.36
6.44	38.48
6.46	38.60
6.48	38.72
6.50	38.84
6.52	38.96
6.54	39.08
6.56	39.20
6.58	39.32
6.60	39.44
6.62	39.56
6.64	39.68
6.66	39.80
6.68	39.92
6.70	40.04
6.72	40.16
6.74	40.28
6.76	40.40
6.78	40.52
6.80	40.64
6.82	40.76
6.84	40.88
6.86	41.00
6.88	41.12
6.90	41.24
6.92	41.36
6.94	41.48
6.96	41.60
6.98	41.72
7.00	41.84
7.02	41.96
7.04	42.08
7.06	42.20
7.08	42.32
7.10	42.44
7.12	42.56
7.14	42.68
7.16	42.80
7.18	42.92
7.20	43.04
7.22	43.16
7.24	43.28
7.26	43.40
7.28	43.52
7.30	43.64
7.32	43.76
7.34	43.88
7.36	44.00
7.38	44.12
7.40	44.24
7.42	44.36
7.44	44.48
7.46	44.60
7.48	44.72
7.50	44.84
7.52	44.96
7.54	45.08
7.56	45.20
7.58	45.32
7.60	45.44
7.62	45.56
7.64	45.68
7.66	45.80
7.68	45.92
7.70	46.04
7.72	46.16
7.74	46.28
7.76	46.40
7.78	46.52
7.80	46.64
7.82	46.76
7.84	46.88
7.86	47.00
7.88	47.12
7.90	47.24
7.92	47.36
7.94	47.48
7.96	47.60
7.98	47.72
8.00	47.84
8.02	47.96
8.04	48.08
8.06	48.20
8.08	48.32
8.10	48.44
8.12	48.56
8.14	48.68
8.16	48.80
8.18	48.92
8.20	49.04
8.22	49.16
8.24	49.28
8.26	49.40
8.28	49.52
8.30	49.64
8.32	49.76
8.34	49.88
8.36	50.00
8.38	50.12
8.40	50.24
8.42	50.36
8.44	50.48
8.46	50.60
8.48	50.72
8.50	50.84
8.52	50.96
8.54	51.08
8.56	51.20
8.58	51.32
8.60	51.44
8.62	51.56
8.64	51.68
8.66	51.80
8.68	51.92
8.70	52.04
8.72	52.16
8.74	52.28
8.76	52.40
8.78	52.52
8.80	52.64
8.82	52.76
8.84	52.88
8.86	53.00
8.88	53.12
8.90	53.24
8.92	53.36
8.94	53.48
8.96	53.60
8.98	53.72
9.00	53.84
9.02	53.96
9.04	54.08
9.06	54.20
9.08	54.32
9.10	54.44
9.12	54.56
9.14	54.68
9.16	54.80
9.18	54.92
9.20	55.04
9.22	55.16
9.24	55.28
9.26	55.40
9.28	55.52
9.30	55.64
9.32	55.76
9.34	55.88
9.36	56.00
9.38	56.12
9.40	56.24
9.42	56.36
9.44	56.48
9.46	56.60
9.48	56.72
9.50	56.84
9.52	56.96
9.54	57.08
9.56	57.20
9.58	57.32
9.60	57.44
9.62	57.56
9.64	57.68
9.66	57.80
9.68	57.92
9.70	58.04
9.72	58.16
9.74	58.28
9.76	58.40
9.78	58.52
9.80	58.64
9.82	58.76
9.84	58.88
9.86	59.00
9.88	59.12
9.90	59.24
9.92	59.36
9.94	59.48
9.96	59.60
9.98	59.72
10.00	59.84
10.02	59.96
1	

ANEXO II

SENSOR UTILIZADO PARA MEDIR LA CE

Manual de Instrucciones HI 98331 Conductímetro de Suelo Directo y Medidor de Temperatura




Tel.: (+34) 902 11 79 29
Web: www.infoagro.com/instrumental

GARANTIA

HI 98331 está garantizado por un año por defectos de fabricación y materiales cuando es usado para los fines que fue desarrollado y mantenido de acuerdo a las instrucciones.

La muestra está garantizada por un periodo de seis meses. Esta garantía está limitada a reparaciones o reemplazos libres de cargo.

Daños debido a accidentes, mal uso, interferidos o fallos de mantención prescrita no son cubiertos.

Si requiere servicio técnico, contáctese con el vendedor quien realizó la venta de este instrumento. Si está bajo garantía, reporte el número del modelo, fecha de compra, número serial y el motivo de la falla. Si la reparación no es cubierta por la garantía, será notificado de los costos incurridos. Si el instrumento es devuelto a Hanna Instruments, obtenga primero el número de autorización de instrumentos en devolución desde el departamento de Servicio Técnico y entonces le enviaremos su instrumento con los costos de envío

prepagados. Cuando envíe cualquier instrumento, cerciórese que está apropiadamente embalado para su completa protección.

EXAMEN PRELIMINAR

Remueva el embalaje del instrumento y examínelo cuidadosamente. Si existe daño causado por el envío, notifíquelo inmediatamente a su vendedor de Hanna Instruments.

Cada medidor contiene:
• HI 73331 Sonda para penetración de conductividad
• 4 baterías de 1.5V
• Destornillador de calibración

Nota: Conserve todo el material de embalaje hasta que haya probado el instrumento y funcione correctamente.

Cualquier elemento defectuoso debe ser devuelto en su empaque original.

US DESIGN PATENT
D462,024

DESCRIPCION GENERAL

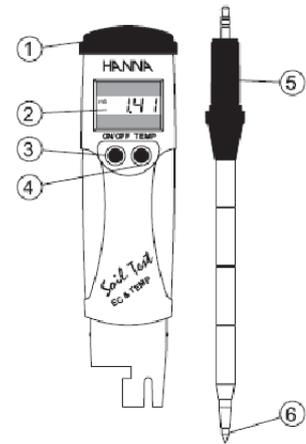
HI 98331 es un medidor especial de bolsillo diseñado especialmente para medir directamente la conductividad de suelos. El medidor también mide la temperatura y las lecturas de la conductividad son compensadas por la temperatura con un sensor incorporado en la sonda para penetración de conductividad HI 73331.

La sonda es intercambiable y puede ser rápidamente reemplazada por el usuario.

El rango de conductividad puede ser calibrado en un punto y el medidor ha sido diseñado para ser calibrado en líquido.

(Hanna Instruments se reserva el derecho de modificar el diseño, construcción y apariencia de sus productos sin aviso previo).

DESCRIPCION DE FUNCIONES



1. Compartimiento de Baterías
2. Display de Cristal Líquido (LCD)
3. Botón ON/OFF
4. Botón TEMP
5. HI 73331 Conductímetro de Suelo Directo y Medidor de Temperatura
6. Sensor incorporado de temperatura en la punta de la sonda

Todos los derechos reservados. La reproducción de toda o alguna de sus partes está prohibida sin el consentimiento del dueño de los derechos. Hanna Instruments Inc., Woonsocket, Rhode Island, 02895, USA.

ESPECIFICACIONES

Rango	Conductividad:	0.00 a 4.00 mS/cm (dS/m)*
	Temperatura:	0.0 to 50.0 °C
Resolución	Conductividad:	0.01 mS/cm
	Temperatura:	0.1 °C
Precisión (a 20 °C)	Conductividad:	±0.05mS/cm (0.00 a 2.00mS/cm) ±0.30mS/cm (2.00 a 4.00mS/cm)
	Temperatura:	±1 °C
Compensación de Temperatura	Automática, coeficiente de temperatura (β) fijada a 2%/°C	
Calibración	manual de 1 punto	
Tipo de Batería	4 x 1.5V de tipo botón	
Sonda (incluida)	HI 73331 penetración de 122 mm (4.5")	
Ambiente	0.0 to 50.0 °C	
Dimensiones	163 x 40 x 26mm (6.4 x 1.6 x 1.0") 150 mm para la sonda	
Peso	100 g (3.5 oz.)	

GUIA DE OPERACIONES

Tomando mediciones

Conecte la sonda HI 73331. El medidor requiere la sonda para realizar cualquier tipo de medida. Presione el botón ON/OFF para encender el medidor. Ponga la sonda a la profundidad deseada y sature la tierra si es necesario. El valor de conductividad, automáticamente compensado por la temperatura, será mostrada por la pantalla LCD.

El medidor despliega la conductividad en mS/cm, lo cual es equivalente a dS/m.

Presionando el botón TEMP, la temperatura medida por la sonda será mostrada mientras el botón se mantiene presionado.

Nota: Antes de tomar cualquier medición asegúrese que el medidor ha sido calibrado.

MANTENCION DE LA SONDA

La sonda HI 73331 es muy sencilla de usar. La única precaución a ser tomada es limpiar el área que rodea el

conector antes de remover la sonda, para así evitar ensuciar el conector.

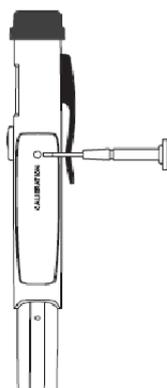
CALIBRACION

Para mantener una buena precisión, se recomienda una frecuente calibración del instrumento. Se recomienda calibrar el instrumento:

- Cuando la sonda de conductividad es reemplazada.
- Cuando se requiere una alta precisión.
- Al menos una vez al mes.

Procedimiento de Calibración

Sumerja la punta de la sonda en un vaso graduado con la solución HI 70031P de 1413 µS/cm. La punta de la sonda debe estar bajo 2" en el líquido. La sonda debe mantenerse separada al menos 1" de los bordes y del fondo del vaso graduado. Ajuste el trimmer para leer 1.41 en el LCD.



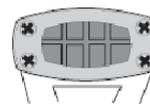
PROBLEMAS

- Las baterías deben ser cambiadas cuando las lecturas estén erróneas, el panel LCD esté difuso o el medidor pierda la calibración.

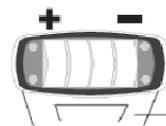
• El medidor no pueda medir la conductividad ni la temperatura sin la sonda HI 73331.

REEMPLAZO DE LA BATERIA

Para cambiar las baterías, remueva los 4 tornillos localizados en la parte de arriba del medidor.



Una vez que la tapa es removida, cuidadosamente reemplace las 4 baterías localizadas en el compartimiento mientras pone atención a su polaridad.



LADO DEL LCD

Reemplace la parte de arriba asegurándose que el sello está puesto en su lugar y ponga los tornillos bien apretados para asegurar que no entre agua.

ACCESORIOS

HI 73331 Conductivímetro de Suelo Directo y Medidor de Temperatura

HI 7031M Solución de calibración 1413 µS/cm (1.4 mS/cm) a 25°C, botella de 230 mL

HI 7031L Solución de calibración 1413 µS/cm (1.4 mS/cm) a 25°C, botella de 460 mL

HI 731326 Destornillador de Calibración, 20 piezas

Recomendaciones para los Usuarios

Antes de usar este producto, asegúrese que éste esté completamente apto para el ambiente en el cual será usado. La operación de este instrumento en áreas residenciales puede crear interferencias inaceptables en equipos como radios y TV.

Evite tocar las sondas en todo momento.

Cualquier variación introducida por el usuario al equipo puede degradar el desempeño del EMC del instrumento.

Para prevenir los shocks eléctricos, no use el instrumento cuando los voltajes de la superficie medida superen los 24 VAC o 60 VDC. Para prevenir los daños o quemar el instrumento, no realice ninguna medición en hornos microondas.

* El medidor da lecturas indicativas con baja precisión entre 4mS/cm y 10 mS/cm.