

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

**RECONSTRUCCIÓN ESTRATIGRÁFICA MEDIANTE TOMOGRAFÍA
ELÉCTRICA DE RESISTIVIDAD DE UN HUMEDAL ALTO-ANDINO EN EL
CANTÓN CHAMBO.**

Autor: PROAÑO LLERENA JEFFRY KLEVER

Tutor: Ing. Benito Mendoza PhD.

Riobamba - Ecuador

2018

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
**“RECONSTRUCCIÓN ESTRATIGRÁFICA MEDIANTE TOMOGRAFÍA
ELÉCTRICA DE RESISTIVIDAD DE UN HUMEDAL ALTO-ANDINO EN EL
CANTÓN CHAMBO”**

Presentado por: JEFFRY KLEVER PROAÑO LLERENA

Dirigida por: ING. BENITO MENDOZA PHD.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Benito Mendoza PhD.

Tutor del proyecto

Ing. Mauro Jiménez

Presidente del Tribunal

Ing. Juan Carlos Caicedo

Miembro del Tribunal

Ing. Iván Ríos PhD.

Miembro del Tribunal



Firma

Firma

Firma

Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: **“RECONSTRUCCIÓN ESTRATIGRÁFICA MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA DE RESISTIVIDAD DE UN HUMEDAL ALTO-ANDINO EN EL CANTÓN CHAMBO”**, ha sido elaborado por el señor JEFFRY KLEVER PROAÑO LLERENA, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con participación directa y contribuciones permanentes de mi persona en calidad de Tutor y director del proyecto, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva. Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



Ing. Benito Mendoza PhD
Tutor del proyecto

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **PROAÑO LLERENA JEFFRY KLEVER**, con cédula de identidad No. 172269634-9, soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Jeffry Klever Proaño Llerena

C.I: 172269634-9

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a Dios
por la oportunidad que me brinda día a día
para poder mejorar como persona y guiarme por
el camino de la sabiduría.

A mis padres por el apoyo incondicional que
muestran conmigo en cada actividad que la
deseo cumplir, y por inculcarme la importancia
del estudio.

A mis amigos que hicieron posible
lo “imposible” en la recolección de datos
Harlyn Rivera, Adrian Rivera, Andrés Suárez.

A los docentes amigos que me ayudaron en la
presente investigación, Benito Mendoza y Franklin Cargua.

Quiero dejar plasmado mi profundo
reconocimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo,
a los Docentes quienes con esmero y
afán supieron compartirme sus conocimientos.

DEDICATORIA

Con especial gratitud y cariño a mis padres y hermano:
Clever Proaño, María del Carmen Llerena y Cristian Proaño,
quienes muestran un apoyo incondicional en este largo
camino de preparación.

Dedicado para Blanquita Velásquez y Amilcar Llerena,
siempre los recordaré.

Jeffry Klever Proaño Ll.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

SIG: Sistemas de Información Geográfica.

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

Bs: Bosque.

C: Cultivos.

Hm: Humedales.

Pr: Páramos.

Pz: Pastizales.

ÍNDICE

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
SIGLAS Y ABREVIATURAS	vi
RESUMEN	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación	3
2. OBJETIVOS.	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos.	4
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1. Humedales	5
3.2. Estratigrafía.....	5
3.3. Estrato	5
3.4. Métodos geofísicos para estudiar la estratigrafía.....	5
3.4.1. Tomografía eléctrica.	6
3.4.2. Resistividad eléctrica.....	6
3.4.3. Método sísmico.	8
3.4.4. Métodos magnéticos y gravimétricos.....	8
3.4.5. Refracción-Reflexión.	9
3.4.6. Sondeos eléctricos verticales.....	9
3.4.7. Georadar.....	9
3.4.8. Electromagnetismo.....	9
3.5. Métodos para la medición de la resistividad del suelo	10
3.5.1. Configuración DIPOLO-DIPOLO.	10

3.5.2.	Método de Wenner	11
3.5.3.	Método de Schlumberger-Palmer	13
4.	METODOLOGÍA	14
4.1.	Caracterización de la zona de estudio	14
4.2.	Definición de los puntos de monitoreo	14
4.3.	Configuración del equipo en campo y adquisición de datos.....	14
4.4.	Procesamiento de datos.....	15
4.5.	Aplicación de técnicas geoestadísticas	15
4.6.	Obtención de la información satelital	16
4.7.	Procesamiento de las imágenes.....	17
4.8.	Clasificación supervisada.....	17
4.9.	Metodología para la determinación de la humedad del suelo.....	18
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
5.1.	Caracterización del área de estudio.....	19
5.2.	Análisis multitemporal del humedal.	19
5.3.	Análisis de humedad de suelo en el humedal.	20
5.4.	Geología y tipo del suelo de Chambo.	21
5.5.	Interpretación Geofísica del humedal alto-andino del cantón Chambo.....	24
5.6.	Reconstrucción en 3 dimensiones de la estratigrafía del suelo del humedal ...	29
6.	CONCLUSIONES	31
7.	RECOMENDACIONES.	33
8.	BIBLIOGRAFIA	34
9.	ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición de los electrodos en el arreglo Dipolo-Dipolo	11
Figura 2. Método de medición de Wenner	12
Figura 3. Curva de resistividad típica.....	13
Figura 4. Método de Schlumberger-Palmer	13
Figura 5. Análisis de humedad en las 3 zonas de muestreo	21
Figura 6. Tomografía - Línea 1 Norte	24
Figura 7. Tomografía - Línea 2 Norte	25
Figura 8. Tomografía - Línea 3 Norte	25
Figura 9. Tomografía - Línea 1 Centro	26
Figura 10. Tomografía - Línea 2 Centro	27
Figura 11. Tomografía - Línea 3 Centro	27
Figura 12. Tomografía - Línea 1 Sur.....	28
Figura 13. Tomografía - Línea 2 Sur.....	28
Figura 14. Tomografía - Línea 3 Sur.....	29
Figura 15. Reconstrucción en 3 dimensiones de la estratigrafía del suelo del humedal	30

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Variación del área del humedal 1991-2016.....	19
Mapa 2. Geología del cantón Chambo	22
Mapa 3. Tipo de suelo del cantón Chambo	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistividad, formación geológica, tipo de suelo y porcentaje de humedad del suelo del humedal.	30
Tabla 2. Taxonomía del suelo del humedal del cantón Chambo.....	37
Tabla 3. Puntos de muestreo.....	38
Tabla 4. Resultados de humedad de suelo.	38

RESUMEN

Los humedales de los países andinos constituyen un recurso de gran valor biológico, ecológico, económico, social, cultural y recreativo que no han recibido la atención necesaria por parte de los gobiernos, el sector privado y otros actores, por lo que se están convirtiendo en uno de los ambientes naturales más amenazados. Las causas más relevantes que llevan a la degradación de estos humedales son: la extracción de agua para usos agrícolas y mineros, la fragmentación de los sistemas acuáticos, los intensos procesos de urbanización, quemas, la contaminación y la construcción de grandes obras de infraestructura, el alto crecimiento de la población humana y una deficiente planificación del desarrollo.

En el cantón Chambo se evidencia una variación en el ciclo del humedal respecto a la extensión superficial del cantón, teniendo que en el período entre 2001-2010 el humedal sufre una disminución en su superficie, pasando del 20,18% a 9,79%, pero para el período 2010-2016 el humedal muestra un leve incremento de superficie a 10%; lo cual demuestra que es afectado por el cambio climático, ya que al aumentar ligeramente la temperatura aumenta la evapotranspiración y los humedales se ven sometidos a una constante de reducción y aumento de su área de ocupación.

La reconstrucción estratigráfica mediante tomografía eléctrica de resistividad del humedal alto-andino en el cantón, ha mostrado que el humedal tiene conexión hidráulica con el acuífero en la zona norte y sur, y en la zona centro no tiene esta conexión, por lo que la variabilidad de la extensión del humedal depende de las condiciones climáticas y del ciclo hidrológico en la zona, mostrando que la mayor variación del humedal es al sur de la zona de estudio, respecto al resto del área de influencia del humedal.

ABSTRACT

The Andean countries' wetlands are a resource of great biological, ecological, economic, social, cultural and recreational value that have not received the necessary attention from governments, the private sector and other actors, so they are becoming one of the most threatened natural environments. The most relevant causes leading to the degradation of these wetlands are: the extraction of water for agricultural and mining uses, the fragmentation of aquatic systems, the intense processes of urbanization, burning, pollution and the construction of large infrastructure works, the high growth of the human population and poor development planning. In the Chambo canton there is evidence of a variation in the wetland cycle with respect to the surface extension of the canton, in the term 2001-2010 the wetland suffers a decrease in its surface, going from 20.18% to 9.79% , but for the term 2010-2016 the wetland shows a slight increase in area to 10%; which shows that it is affected by climate change, since by increasing the temperature slightly increases evapotranspiration and wetlands are subject to a constant reduction and increase in their area of occupation. The stratigraphic reconstruction by electrical tomography of resistivity of the high-Andean wetland in the canton, has shown that the wetland has a hydraulic connection with the aquifer in the north and south, and in the central zone does not have this connection, so the variability The extent of the wetland depends on the climatic conditions and the hydrological cycle in the area, showing that the greatest variation of the wetland is to the south of the study area, with respect to the rest of the area of influence of the wetland.




Reviewed by: Trujillo, Myriam
Language Center Teacher

1. INTRODUCCIÓN

La gama de servicios que presentan los humedales los hacen fundamentales para el desarrollo del hombre, esto es así, puesto que se consideran como la principal fuente de abastecimiento de agua de consumo, debido a que no solo alimentan a los cauces superficiales, sino también a los flujos subterráneos; pero es notable su degradación respecto a otro tipo de ecosistemas, más de 3.000 millones de personas dependen de las aguas subterráneas como fuente de agua potable, pero lamentablemente su degradación y pérdida es más rápida que la de otros ecosistemas (Ramsar COP9, 2008).

Evaluaciones científicas muestran que desde 1900 desapareció el 64% de los humedales en el planeta, a consecuencia de ello, el acceso al agua dulce está mermando para entre uno y dos mil millones de personas en el mundo, además el almacenamiento de carbono y los medios de vida tradicionales relacionados con los humedales también se ven afectados, al medir la disminución en una muestra mundial de más de 1.000 humedales entre 1970 y 2008, se pudo notar que la extensión de dichos humedales se redujo en un 40% como promedio durante este período (Ramsar COP9, 2008).

En este contexto, la situación de los humedales de América Latina es crítica, debido a que muchas de estas zonas carecen de planes de ordenamiento, planes de manejo y personal calificado que orienten en forma técnica y científica su gestión, la situación se vuelve dramática al evidenciar que en algunos países los humedales se están secando, o confrontando altos niveles de contaminación por aguas residuales, agrícolas o industriales, sin dejar de lado los efectos de la minería. La inadecuada gestión en los humedales ha generado riesgos de inundaciones, sobre-aprovechamiento de aguas subterráneas, debilitamiento de las zonas de protección, y hasta la aceleración del cambio climático, de igual forma, se está perdiendo espacios para la producción de alimentos, para la promoción de la recreación y el turismo sostenible (ONG Vitalis Latinoamérica, 2015).

Por otra parte, para los países andinos los humedales constituyen un recurso de gran valor biológico, ecológico, económico, social, cultural y recreativo; la problemática se basa en que estos no han recibido la atención necesaria por parte de los gobiernos y el sector privado, entre otros actores, por lo que se están convirtiendo rápidamente en uno de los ambientes naturales más amenazados, las causas más relevantes que llevan a la degradación de estos humedales son: la extracción de agua para usos agrícolas y mineros,

la fragmentación de los sistemas acuáticos, los intensos procesos de urbanización, quemas, la contaminación y la construcción de grandes obras de infraestructura, además del alto crecimiento de la población humana y una sectorizada y poco integral planificación del desarrollo, los problemas que afectan a los humedales alto-andinos varían mucho dependiendo de su ubicación y características (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008).

En Ecuador los riesgos para los humedales se dan en la mayoría de casos por la intervención del hombre; en la construcción de carreteras y represas, en las actividades agrícolas y ganaderas que se realizan en los páramos, quema de tierras en páramo, el aumento del turismo en estos ecosistemas, entre otras acciones antrópicas que causan contaminación y aceleran la destrucción sobre la diversidad biológica de los humedales. Se estima que, si estos procesos continúan, en los próximos 25 años el Ecuador tendrá problemas serios con sus humedales (Briones, 2008).

Es de suma importancia analizar la variación en el ciclo de los humedales con nuevas metodologías y equipos que nos permitan evidenciar los cambios que tienen estos ecosistemas por la intervención del hombre; por tanto, el objeto de estudio de este trabajo [es reconstruir estratigráficamente mediante tomografías eléctricas de resistividad el humedal alto-andino del cantón Chambo.](#)

1.1.Planteamiento del problema.

Los humedales andinos son reconocidos en el mundo como los ambientes más frágiles por sus características, amenazas y alta significancia social y económica, determinada por los servicios ecosistémicos que prestan. En la actualidad, frente a los pronósticos de cambio climático, es necesario el estudio de estos ecosistemas para tomar medidas concretas sobre el uso y conservación de los humedales (Ahumada, Aguirre, Contreras, & Figueroa, 2011)

En Ecuador se evidencian distintos tipos de presiones que se ejercen sobre los humedales que influyen en la variación del ciclo natural del humedal, como: quemas de páramos que causan pérdida de vegetación y erosión de los suelos; la degradación de suelos por el uso intensivo en la agricultura, debido a la utilización de químicos; existen obras de infraestructura como: carreteras, represas, conducciones para el agua de riego, los cuales han causado graves impactos en los humedales; no existe un sistema de eliminación de

aguas servidas, de servicios higiénicos ni de eliminación de basura, factores que se conviertan en amenazas de contaminación de tierra y agua de ríos y vertientes (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008).

Según (Moreno Cobo, 2017) la realidad del cantón Chambo muestra que en el período entre 2001-2010 el humedal sufre una disminución en su superficie, respecto a la extensión del cantón, pasando del 20,18% a 9,79%, pero para el período 2010-2016 el humedal muestra un leve incremento de superficie a 10%; en cambio en la zona de páramo en el mismo período de tiempo inicial de análisis se muestra un incremento importante de 32,64% a 44,27% en su superficie, pero en el período 2010-2016 disminuye a 40,55%. La explicación al panorama de cambios que presentan estos ecosistemas, es gracias a la transición de humedal a páramo, sugiere una gran influencia del cambio climático sobre los humedales, al aumentar ligeramente la temperatura aumenta la evapotranspiración y los humedales se ven sometidos a una constante de reducción y aumento de su área de ocupación.

1.2. Justificación

El actual desconocimiento de estudios estratigráficos principalmente en la subcuenca del río Chambo conlleva que en la misma no se hayan realizado considerables estudios hidrológicos e hidrogeológicos, lo que implica una limitada información de las características físicas y geológicas del lugar, generando así, desconocimiento de los cambios en el tiempo del humedal alto-andino de Chambo (Tenelema Allaica, 2017).

Por esta razón, el presente trabajo de investigación utilizará como plataforma de estudio tomografías eléctricas, análisis de humedad de suelo y un estudio multitemporal de la zona en análisis para obtener mayor información de las características estratigráficas de la parte alta de este cantón.

El análisis de esta investigación permitirá comprender mejor la estructura hidrogeológica del sector, para después ser aplicada en un modelo matemático que interrelacione las características estratigráficas de la zona con las características hidráulicas, para así determinar el volumen de agua existente en el acuífero, con esto se busca a su vez detectar si las actividades antrópicas llevadas a cabo en la zona causan algún tipo de deterioro del humedal y si dichas actividades ejercen cambios en el sistema del mismo.

2. OBJETIVOS.

2.1.Objetivo general.

- Reconstruir estratigráficamente mediante tomografía eléctrica de resistividad un humedal alto-andino en el cantón Chambo.

2.2.Objetivos específicos.

- Determinar el área de influencia de un humedal alto-andino en el cantón Chambo de las dos últimas décadas.
- Realizar tomografías eléctricas de resistividad en las zonas de influencia del humedal.
- Reconstruir estratigráficamente en 3 dimensiones el humedal alto-andino.
- Comparar los resultados de la estratigrafía con el período de influencia de las últimas décadas para determinar la variación en el ciclo del humedal.

3. MARCO TEÓRICO

3.1.Humedales

Los humedales alto-andinos son un sistema complejo, los mismos que forman parte de los ecosistemas de páramo, juegan un rol vital en el desarrollo de las cuencas andinas, así como de otros sistemas hidrográfico. Uno de los principales servicios que ofrecen los humedales alto-andinos es la provisión de agua, además proveen fibras vegetales, alimentos genéticos, almacenan y regulan caudales, capturan carbono y representan un invaluable patrimonio cultural (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008).

3.2.Estratigrafía

Es una rama de la geología que trata del estudio e interpretación de la composición (naturaleza, génesis) y distribución temporal y espacial de los depósitos sedimentarios y demás rocas asociadas, así como de sucesos y fenómenos relacionados con ellas. La estratigrafía reconoce en las rocas, formas, composiciones litológicas, propiedades geofísicas y geoquímicas, sucesiones originarias, relaciones de edad, distribución y contenido fosilífero. Todas estas características sirven para reconocer y reconstruir secuencialmente eventos geológicos (Paredes Togas & Tongombol Chuquimango, 2013)

3.3.Estrato

En Geología se llama estrato a cada una de las capas en que se presentan divididos los sedimentos, las rocas sedimentarias, las rocas piroclásticas y las rocas metamórficas cuando esas capas se deben al proceso de sedimentación

Los estratos son capas en las que se disponen las rocas sedimentarias, se forman por acumulación, compactación y cementación de los sedimentos. Esta acumulación se produce en zonas determinadas, las llamadas cuencas sedimentarias (Guerrero & Bravo, 2011)

3.4.Métodos geofísicos para estudiar la estratigrafía.

3.4.1. Tomografía eléctrica.

La tomografía eléctrica es una técnica geofísica que tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo. Ello se obtiene introduciendo una corriente eléctrica continua en la superficie del terreno a través de dos electrodos y midiendo el voltaje en otro par de electrodos a lo largo de un perfil de medida y hasta un cierto rango de profundidad. Las medidas obtenidas corresponden a los valores de resistividad aparente; una vez procesadas, se obtiene información sobre la resistividad real del subsuelo, que es característica de cada tipo de material. Esta técnica requiere la obtención de un número muy elevado de datos, con un pequeño espaciado entre medidas, y también que las medidas se realicen involucrando de forma progresiva varios rangos de profundidad (Lugo, Playà, & Rivero, 2008)

En cada dato, el instrumental recoge información sobre las variaciones verticales y horizontales de la resistividad del subsuelo. El resultado final, después del procesado de los datos, es una imagen en 2D distancia-profundidad que muestra la resistividad real del subsuelo, y que puede ser interpretado en términos geológicos, de forma similar a un corte geológico (Lugo et al., 2008)

La ventaja de utilizar un tomógrafo radica en que brinda una imagen de resistividad en dos dimensiones, atendiendo a las heterogeneidades laterales del terreno. El relevamiento se realiza utilizando una gran cantidad de electrodos, normalmente más de 24, que son instalados en el suelo y conectados por medio de un cable. La función del tomógrafo consiste en seleccionar de manera automática cuatro del total de electrodos y utilizarlos para la inyección de corriente y medición del potencial eléctrico (Weinzettel, Varni, Dietrich, & Usunoff, 2009).

3.4.2. Resistividad eléctrica.

La resistividad eléctrica es una propiedad que se relaciona con la composición y arreglo de los constituyentes sólidos del suelo, el contenido de agua y la temperatura, y puede ser considerada como una forma de acceder al conocimiento de la variabilidad de las propiedades físicas del mismo (Weinzettel et al., 2009)

Los métodos de resistividad emplean una fuente artificial de corriente, la cual es introducida en la tierra a través de electrodos. La medición de la diferencia de potencial

eléctrico en la vecindad del flujo de corriente, así como también la corriente inyectada, hacen posible determinar la resistividad aparente del subsuelo. La resistividad eléctrica propia del terreno se relaciona con varios parámetros tales como la naturaleza y arreglo de los constituyentes sólidos del suelo, el contenido de agua y su composición y la temperatura y puede ser considerada como una forma de acceder al conocimiento de la variabilidad de las propiedades físicas del mismo (Weinzettel et al., 2009)

La resistividad eléctrica del suelo es una medida de su capacidad para limitar el paso de la corriente eléctrica. Representa la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, o de un estrato del suelo. Se obtiene indirectamente al procesar un grupo de medidas de campo, su magnitud se expresa en (Ωm) o (Ωcm), es inversa a la conductividad.

La resistividad eléctrica (ρ): Es la relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo. Es la resistencia específica de una sustancia. Numéricamente es la resistencia ofrecida por un cubo de 1m x 1m x 1m, medida entre dos caras opuestas.

Un terreno es un semiespacio continuo donde las líneas de corriente se propagan en forma radial alejándose de la fuente, las superficies equipotenciales son semiesferas perpendiculares a ellas. Tal es así, que el potencial eléctrico a lo largo de cualquiera de estas superficies puede ser expresado como:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

Poder inyectar corriente en el terreno y medir la diferencia de potencial requiere de cuatro electrodos: dos electrodos por medio de los cuales se inyecta corriente en el terreno, denominados arbitrariamente A y B y dos de medición de diferencia de potencial, llamados M y N. Entonces, utilizando la ecuación anterior y reordenando sus términos, se tiene que la resistividad r es:

$$\rho = \left[\frac{2\pi}{(1/AM) - (1/BM) - (1/AN) + (1/BN)} \right] \frac{\Delta V}{I} = K \frac{\Delta V}{I}$$

Donde ΔV es la diferencia de potencial eléctrico medido entre los electrodos M y N, mientras que AM, BM, AN y BN son distancias geométricas entre los electrodos mencionados. La constante K, también denominada factor geométrico, depende de cómo

estén distribuidos los distintos electrodos. La manera en que éstos son acomodados recibe el nombre de configuración o dispositivo electródico. Si el semiespacio bajo estudio (terreno) fuera homogéneo en cuanto a su resistividad, el valor de esta propiedad física obtenida por este método sería constante e independientemente de la separación entre electrodos. Como esta situación no acontece en la naturaleza, dado que la resistividad varía en profundidad debido a los distintos materiales que se presentan en el subsuelo, lo que se adquiere en cada medición es una resistividad aparente ρ_A . Esta es una resistividad ficticia que se obtiene tras aplicar la ecuación para un medio homogéneo a uno que no lo es y que de algún modo integra las diferentes resistividades y espesores respectivos de las diferentes capas que son afectadas por el campo eléctrico generado para este fin. Para poder conocer el valor de la resistividad real de cada capa, el conjunto de las resistividades aparentes debe ser sometido a un modelado matemático (Weinzettel et al., 2009).

3.4.3. Método sísmico.

Este procedimiento se funda en la diferente velocidad de propagación de las ondas vibratorias de tipo sísmico a través de diferentes medios materiales. Las mediciones realizadas permiten establecer que esa velocidad de propagación varía entre 150 y 2.500m/seg en suelos, correspondiendo los valores mayores a mantos de grava muy compactos y las menores a arenas sueltas; los suelos arcillosos tienen valores medios, mayores para las arcillas duras y menores para las suaves. En roca sana los valores fluctúan entre 2.000 y 8.000m/seg. Esencialmente el método consiste en provocar una explosión de un punto determinado del área a explorar usando una pequeña carga de explosivo. Por la zona a explorar se sitúan registradores de ondas (geófonos), separados entre sí de 15 a 30 metros. La función de los géofonos es captar la vibración que se transmite amplificada a un oscilógrafo central que marca varias líneas, una para cada geófono (Vargas Celi & Ulloa Lamán, 2015).

3.4.4. Métodos magnéticos y gravimétricos.

El objetivo principal de la gravimetría es medir anomalías en el campo gravitatorio de la Tierra, causadas por cambios de densidad entre distintos materiales. Los datos de campo deben ser corregidos respecto a puntos de referencia de conocida gravedad. Las

correcciones serán respecto al tiempo, altura topográfica, posición geográfica, mareas y cercanía a grandes masas de roca (Ferro et al., 2011)

3.4.5. Refracción-Reflexión.

El método de la Sísmica de Refracción y Reflexión se basa en la distribución de velocidades sísmicas originadas por una fuente artificial (golpeo o explosión sobre la superficie del suelo). La velocidad sísmica aumentará en aquellos materiales de mayor densidad permitiendo distinguir entre distintos tipos de materiales (Castelhano & Fialho Azinhaga, 2011)

3.4.6. Sondeos eléctricos verticales.

Para poder identificar contrastes de la resistividad geoelectrica a distintas profundidades, es decir, la realización de un sondeo eléctrico vertical, se realiza mediante una formula así: intensidad (I), por medio de unos electrodos (AB), el cual nos permite medir una diferencia de potencial (dV) entre dos electrodos (MN). La resistividad geoelectrica se obtiene por aplicación de la Ley de Ohm según la siguiente expresión: $R = K \frac{dV}{I}$ donde: K=configuración geoelectrica (Auge, 2008)

3.4.7. Georadar.

El Georadar o GPR es una avanzada tecnología no invasiva, es decir, sin la necesidad de perforaciones, catas o similares, que permite obtener una imagen del subsuelo pudiendo localizar servicios enterrados, estructuras geológicas, problemas relacionados con la geotecnia, vestigios arqueológicos, y contaminación de suelos y aguas subterráneas (Bereciartua-Pérez & Picón-Ruiz, 2011)

3.4.8. Electromagnetismo.

Esta es una de las técnicas más empleadas para la detección de objetos metálicos. Este tipo de prospecciones se realizan con dos bobinas de cobre una llamada bobina transmisora y otra bobina receptora separadas a una distancia determinada. Se aplica una

corriente alterna sobre la bobina trasmisora creando un campo magnético alterno llamado campo primario, que a su vez se transmite por todas partes incluido al subsuelo. Este campo magnético alternativo induce una corriente alterna a través del conductor creando un nuevo campo magnético llamado campo secundario. Lo que el bobina receptor recibe es la combinación del campo primario y secundario. Ambos campos magnéticos a su vez inducen una corriente alterna a través de la bobina receptora. Esta corriente es medida la cual es usada para determinar la intensidad del campo magnético combinado y la conductividad eléctrica en el punto donde se ha producido la medición (Calderón, Pérez, Benavides, & Morales, 2014)

3.5.Métodos para la medición de la resistividad del suelo

3.5.1. Configuración DIPOLO-DIPOLO.

Este arreglo consiste en cuatro electrodos dispuestos en forma lineal –ABMN- sobre un perfil es ampliamente usado por el bajo acoplamiento entre la corriente y los circuitos potenciales. El espaciamiento entre los electrodos de corriente es determinado por el factor “a” que es la misma distancia entre los electrodos de potencial, además este arreglo tiene otro factor denominado “n”. Para los estudios con este arreglo el factor “a” se mantiene fijo y el factor “n” se va incrementando ya que con esto se busca aumentar la profundidad de investigación. El arreglo Dipolo-Dipolo presenta una alta resolución para los contrastes laterales de resistividad, tiene una resolución mayor en niveles cercanos a la superficie y es el arreglo que presenta un mayor número de mediciones, por lo tanto, es bueno para encontrar estructuras verticales tales como cavidades, pero relativamente pobre para encontrar estructuras horizontales tales como diques o capas sedimentarias. Su disposición es la siguiente:

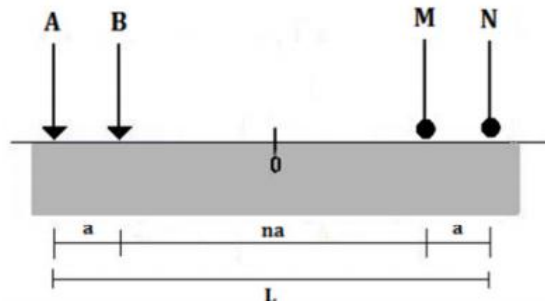


Figura 1. Disposición de los electrodos en el arreglo Dipolo-Dipolo
Fuente: (Chelotti y Acosta, 2010)

La ecuación para el cálculo de la resistividad aparente para este arreglo es:

$$\rho_a = \pi n(n+1)(n+2)a \frac{\Delta V}{I}$$

En general este arreglo tiene una profundidad de investigación muy buena, ya que tiene mejor cobertura horizontal, esta puede ser una gran ventaja cuando el número de nodos es pequeño. Una desventaja es que la fuerza de la señal es baja para “n” con valores grandes, ya que la señal del arreglo con un factor de “n” pequeño es 28 veces más fuerte que con un factor de “n” grande (Dietrich, 2013).

3.5.2. Método de Wenner

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular ya que el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas, los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a”.

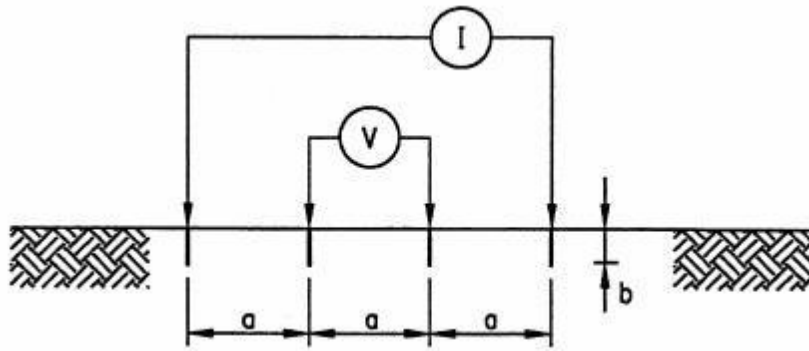


Figura 2. Método de medición de Wenner
Fuente: (EPM, 2008)

Una corriente “I” se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “V” entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia $R (=V/I)$ del volumen de suelo cilíndrico de radio “a” encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo ρ_a , a la profundidad “a” es aproximada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4\pi Ra}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)}$$

Dado que en la práctica la distancia “a” es mucho mayor que la profundidad de enterramiento “b”, la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$\rho = 2\pi Ra$$

Para determinar el cambio de la resistividad del suelo con la profundidad, el espaciamiento entre electrodos se varía desde unos pocos metros hasta un espaciamiento igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra (por ejemplo, la mayor distancia posible entre 2 puntos de una malla, o la profundidad de las varillas). El espaciamiento “a” del electrodo se interpreta como la profundidad aproximada a la cual se lee la resistividad del suelo. Para caracterizar la variación de la resistividad del suelo dentro de un área específica, se deben realizar varios grupos de medidas (perfiles) en diferentes direcciones.

Diferentes lecturas tomadas con varios espaciamientos alineados dan un grupo de resistividades (perfil), que cuando son graficadas contra el espaciamiento, indican si hay capas diferentes de suelo y dan una idea de su respectiva profundidad y resistividad. La siguiente figura ilustra este concepto.

GRÁFICO DE RESISTIVIDADES

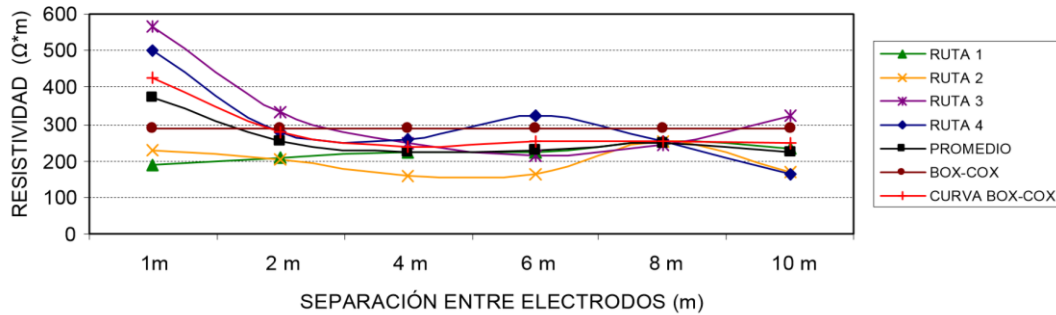


Figura 3. Curva de resistividad típica
Fuente: (EPM, 2008)

3.5.3. Método de Schlumberger-Palmer

En este arreglo, al igual que en el de Wenner, los electrodos de emisión (corriente) y medición (tensión) están situados en línea recta, la variante de este arreglo radica en que la separación entre electrodos es, aunque simétrica, desigual para la correspondiente entre los electrodos de tensión y entre estos y los de corriente.

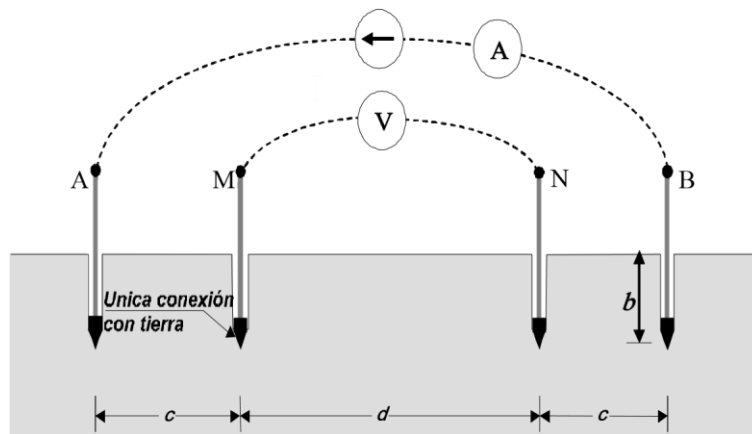


Figura 4. Método de Schlumberger-Palmer
Fuente: (EPM, 2008)

El procedimiento para obtener el modelo del terreno, consiste en separar progresivamente los electrodos, alrededor de un punto central permanente, denominado punto de máxima exploración. La fórmula con la cual se calcula la resistividad aparente del terreno es:

$$\rho = \frac{\pi c(c + d)R}{d}$$

Donde:

c: es la separación entre el electrodo de corriente y su correspondiente de tensión.

d: es la separación entre los electrodos de tensión.

4. METODOLOGÍA

Para la reconstrucción estratigráfica mediante tomografía eléctrica de resistividad de un humedal alto-andino se deben realizar los siguientes procesos:

4.1. Caracterización de la zona de estudio

Es necesario realizar un diagnóstico ambiental del área de influencia del humedal para conocer las principales características de la zona de estudio como: ubicación, topografía, límites, geología, hidrología e hidrogeología. Para complementar la información, es necesario revisar estudios previos que se han ejecutado en el área de análisis.

4.2. Definición de los puntos de monitoreo

Es de suma importancia conocer el área de estudio, sus formas de acceso, objetivos específicos, cercanía a las fuentes de agua y condiciones ambientales para el trabajo de campo. De acuerdo a la necesidad del estudio y la hidrogeología del lugar se definen los puntos de monitoreo con la utilización del GPS (Sistema de Posicionamiento Global), para la correcta interpolación de datos y la interpretación de resultados.

4.3. Configuración del equipo en campo y adquisición de datos

La secuencia de medidas para una tomografía eléctrica en dos dimensiones (2D), inicia con la colocación de los electrodos en la superficie del suelo de manera equidistante, intentando que formen una línea recta, se define el inicio y final del perfil a fin de no tener problemas en la fase de interpretación. Es recomendable realizar las mediciones en una topografía lo más plana posible, para evitar anomalías en las medidas de resistividad; en el caso que esto sea inevitable, el software permite minimizar este fenómeno mediante el ajuste de la malla.

Los electrodos se introducen en el terreno lo suficiente como para garantizar un buen contacto electrodo-suelo al conectarlos al cable de transmisión. En el computador se configuran las variables del dispositivo de adquisición: número de electrodos utilizados (48), distancia entre ellos (5 m), configuración de medida (Dipolo-Dipolo) y número de medidas a realizar (968). Este arreglo se transfiere al dispositivo de adquisición para

proceder a la medición automática de toda la secuencia. Antes de iniciar las mediciones es necesario verificar que todas las conexiones funcionen correctamente, y que la resistividad entre electrodo-suelo sea lo más baja como garantizar unos buenos resultados. En el caso de tener valores superiores generalmente basta con introducir un poco más los electrodos, o humedecer el terreno para mejorar la conductividad. Una vez concluido el proceso de adquisición de datos, la información almacenada digitalmente se transfiere a la computadora, para su posterior procesamiento con el software correspondiente (Solana Capilla, 2014).

4.4. Procesamiento de datos

El resultado obtenido de la toma de medidas en campo es dispuesto en forma de pseudosección de resistividad aparente en forma de una malla de discretización de dos dimensiones (2D). Esta pseudosección son curvas de iso-resistividades que reflejan cuantitativamente la variación espacial en 2D de resistividades aparentes del perfil investigado. Estos datos se interpolan para que efectuar la inversión completa en 2D de perfiles eléctricos de superficie (Tenelema Allaica, 2017).

4.5. Aplicación de técnicas geoestadísticas

Para la modelación 2D de cada tomografía eléctrica se emplean Sistemas de Información Geográficas que poseen diversos métodos de interpolación que transforma los datos XYZ en mapas de calidad. En este caso, estos valores se determinan en base a la escala de resistividades descritas mediante colores en las imágenes tomográficas. Para ello, se grafica una línea de tendencia de resistividades y se obtiene una ecuación exponencial que calcula el número mínimo de cuadrados (y) mediante puntos utilizando la siguiente ecuación:

$$y = ce^{bx}$$

Dónde:

c y b: constantes

e: función logarítmica natural

x: variable

Esta ecuación permite determinar los valores medios de resistividad, mismos que se ubican en una escala de 16 colores desde el azul intenso hasta el morado.

Por otra parte, en las imágenes de las tomografías se diseñan una malla de discretización cuadrada horizontal con celdas de 5m en distancia y en profundidad. Las intersecciones de las líneas representan las resistividades dentro de las 16 variedades de colores.

Los datos previo el ingreso al software son agrupadas en una tabla con variables latitud, longitud, altura (XYZ), estos datos se ingresan al software y se grafica mediante métodos de interpolación: Distancia invertida; mínima curvatura, método modificado de shepard, vecinos naturales y función base radial, como resultado se obtiene imágenes con una presentación general de las tomografías eléctricas, para una interpretación detallada de la estratigráfica.

El modelamiento en tres dimensiones (3D) del humedal se efectúa con el uso de Sistemas de Información Geográficas, que poseen herramientas que a partir de una muestra de datos permiten determinar los valores necesarios para una correcta interpolación. El método utilizado es la interpolación, el cual es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores Z.

La interpretación estratigráfica, se realiza relacionando las imágenes tomográficas y los valores de resistividad de los materiales geológicos y la geología local del acuífero (Tenelema Allaica, 2017).

4.6. Obtención de la información satelital

Para realizar el estudio multiespectral de la zona de influencia del humedal alto-andino del cantón Chambo, se utilizó imágenes satelitales, las cuales fueron descargadas de la base de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Estos datos satelitales multiespectrales fueron seleccionados del satélite Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 con una resolución espacial ajustada de 15x15 m y de 30x30 m.

Para determinar la variabilidad que ha sufrido el humedal, se contó con las imágenes satelitales de Landsat 5 con fecha 15 de octubre de 1991, para el Landsat 7 con fecha 3 de noviembre del 2001 y para el Landsat 8 con fecha 4 de octubre del 2010 y 20 de noviembre del 2016.

La principal característica a tomar en cuenta para la determinación del área de influencia dentro de esta investigación, es la problemática que atraviesa el humedal, con el cambio de uso de suelo y el cambio climático que afectan de manera directa a este frágil entorno.

4.7. Procesamiento de las imágenes.

El procesamiento de datos Landsat implica el empleo de técnicas de percepción remota, y uso de los SIG, que están orientadas a realzar o suprimir ciertas características de las imágenes, con el fin de mejorar la calidad visual para su clasificación e interpretación (Urbanski, 2013). Se inicia con la georeferenciación de las imágenes satelitales, con la cual se rectificó la proyección cartográfica, acorde a la zona de ubicación (Dávila, F. J.; Camacho, 2012). Luego, se utiliza la herramienta *Image Analysis* del software ArcGis 10.1, para la combinación de las bandas espectrales de cada imagen. En nuestro caso, la composición de bandas es de 3-2-1 para el Landsat 7 y 4-3-2 para Landsat 8, ya que permiten una mejor interpretación visual (Urbanski, 2013). A continuación, con la delimitación del área de interés, se utiliza la herramienta *Pan-sharpened composit* que crea la composición de todas las bandas, mejorando el tamaño del pixel de 30 m a 15 m. Posteriormente se realiza el tratamiento de las imágenes con las correcciones atmosféricas y radiométricas. En las correcciones radiométricas se compensa el efecto de los factores ambientales, ya que trabaja con la reflectancia, homogenizando las imágenes, tratando distorsiones provocadas por la atmósfera, y también los problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor (Ariza, 2013). En la corrección atmosférica se elimina el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por los gases, partículas en suspensión, aerosoles y nubes (Luna, 2011).

4.8. Clasificación supervisada

Se obtuvo puntos de control del lugar en análisis para delimitar los sitios más representativos, utilizando un posicionador geográfico (GPS de alta precisión), para posteriormente validarlo con el análisis visual que nos proporcionan las imágenes satelitales. Las imágenes fueron clasificadas de manera independiente mediante el método de clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud.

Según (Moreno Cobo, 2017) “el proceso cuenta con dos fases: la primera es la de aprendizaje, donde se realiza el retrato espectral de cada categoría, con la construcción de sitios de entrenamiento localizados en la imagen y luego la construcción de las categorías de coberturas: Bs (Bosque), C (Cultivos), Hm (Humedales), Pr (Páramos), y Pz (Pastizales), para generar mapas de uso de suelo dentro de una superficie de 163,73 km²., correspondiente a los años 1991, 2001, 2010 y 2016. En la segunda fase, se calcula para

cada píxel la probabilidad de pertenencia a cada categoría con base en su respuesta espectral y se asigna finalmente a la clase a la cual es más probable que pertenezca de acuerdo con la información espectral”.

4.9. Metodología para la determinación de la humedad del suelo

Para determinar la humedad del suelo serán necesarios:

- Balanza con aproximación de 0.01 g
- Estufa para secar suelo a 105-110° C
- Recipientes de aluminio

El método gravimétrico es el único método directo de medición de la humedad del suelo. Dicho método consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad. La muestra de suelo se considera seca cuando su peso permanece constante a una temperatura de 105°C.

Primero, las muestras de suelo húmedo se pesan individualmente en sus contenedores de transporte. Los contenedores se abren y se colocan en un horno secador que es capaz de mantener una temperatura de $105 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Para muestras que contienen turba o cantidades significativas de yeso, el horno debe tener una temperatura de $50 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, por lo cual se requerirá entonces de un mayor tiempo para que la muestra alcance un estado seco. Después del secado, las muestras se pesan de nuevo en sus contenedores. La diferencia entre el peso húmedo y el peso seco de una muestra es la medida de su contenido de agua original. (Herrera, Iglesias, Lara, González, & López, 2011)

$$MC = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - m} * 100$$

Donde:

MC-humedad del suelo, %

P1-masa del suelo húmedo dentro del recipiente, g

P2-masa del suelo seco dentro del recipiente, g

m-masa del recipiente sin muestra, g

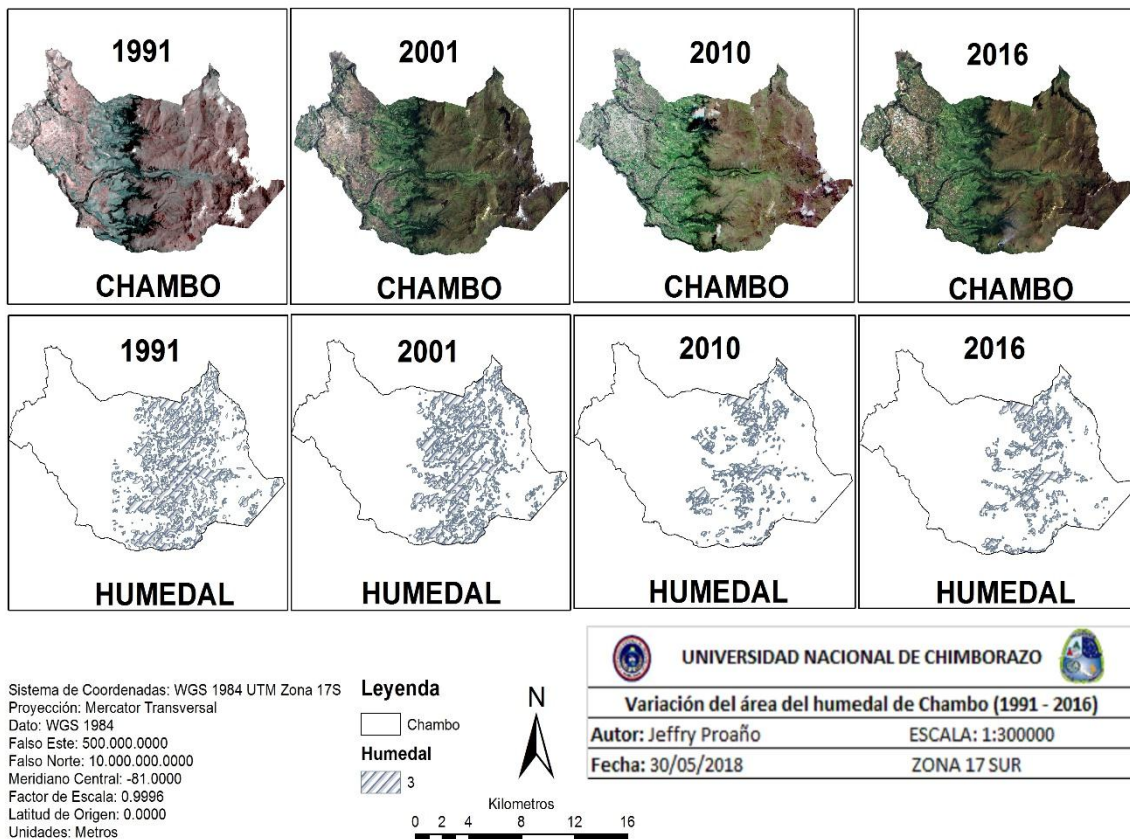
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización del área de estudio.

La zona de estudio se ubica en el cantón Chambo, al noreste de la provincia de Chimborazo, entre la Cordillera Real y la Cordillera Occidental, donde se tiene un área aproximada de 163,73 km².

5.2. Análisis multitemporal del humedal.

El estudio multitemporal de la variación del área del humedal se realizó utilizando imágenes satelitales en el período comprendido desde 1991 hasta 2016, en el cual se evidencian cambios visibles en su área que se muestra en el mapa 1.



Mapa 1. Variación del área del humedal 1991-2016
Elaborado por: El autor

1991 es el año que se tomó como referencia de partida, en este año el humedal presenta una superficie aproximada de 31,88 km², correspondientes al 19,47%, respecto a la

extensión del cantón Chambo; para el año 2001 el humedal presenta un leve aumento en el área a 32,22 km², correspondientes al 19,68% respecto a la superficie del cantón; para el año 2010 el humedal muestra un retroceso en su superficie, con un valor de 14,04 km², lo que representa el 8,58% respecto a la extensión de Chambo; para el año 2016 en el humedal presenta una extensión de 16,20 km², representando el 9,90% de superficie del cantón Chambo.

Tras el estudio multitemporal de la variación del área del humedal del cantón Chambo se evidencian cambios tanto en la superficie del terreno como en la cantidad de agua almacenada en el ecosistema. Esto se ve influenciado por el clima, las características geomorfológicas del terreno, la intensidad de uso del suelo, la cobertura vegetal natural y la fauna silvestre, pero de manera general y directa el humedal se ve afectado por acciones antrópicas no sustentables como la quema de tierras en el páramo, la plantación de especies tropicales, el aumento de turismo, avance en la frontera agrícola y demás actividades que contaminan y aceleran la destrucción en este ecosistema.

Con los problemas descritos ponemos en riesgo los servicios ecosistémicos que ofrece el humedal como: la seguridad alimentaria, la calidad y cantidad de agua, calidad de suelo, recreación, turismo, entre otras, que son de gran importancia para la biodiversidad, para el funcionamiento de otros ecosistemas y para el desarrollo de la población del sector.

5.3. Análisis de humedad de suelo en el humedal.

El análisis de humedad (figura 5) se realizó a 3 profundidades (0.30 m; 0.60 m; 0.90 m), determinando 3 puntos de muestreo por zona, esto permitió realizar el análisis de humedad con los siguientes resultados en porcentaje de acuerdo a la profundidad: a 0.3m el 56,57%, a 0.6m el 50,79% y a 0.9 m el 43,51%; categorizando según la percepción de humedad de drenaje e irrigación de Edwar Plaster como una zona que posee un grado de humedad “moderado – bueno”. Además de acuerdo al análisis de textura del suelo, la característica es franco-limoso. De igual manera, el comportamiento de la humedad en esta zona está influenciada por la topografía, siendo la pendiente un factor importante para que el agua no tenga mucho tiempo para infiltrarse en el suelo, convirtiéndose en drenajes superficiales que van a dar a las quebradas aledañas.

En la zona central del humedal se obtuvieron los siguientes resultados del porcentaje de humedad: a 0.3m - 113,13%, a 0.6m - 141,46% y a 0.9m - 122,18%. El suelo de esta zona se categoriza como “saturado”, esta zona no posee pendientes marcadas, dificultando el

drenaje del agua en el suelo, lo que se manifiesta en el porcentaje de humedad alto, además la textura del suelo es franco-arcilloso. En esta zona se observa actividades antrópicas como: plantaciones de pino, ganadería y agricultura cuya consecuencia es la compactación del suelo.

En el sector sur se obtuvieron los siguientes resultados del porcentaje de humedad: a 0.3m - 52,86%, a 0.6m - 55,20% y a - 57,59%; catalogando el grado de humedad en esta zona como “moderado y bueno”. De igual manera, como en la zona sur se evidencia presencia de pendientes, existe mayor escorrentía superficial respecto a la infiltración. Además, la textura del suelo es considerad como franco-limoso. El humedal se ve afectado directamente por actividades antrópicas, netamente de ganadería y turismo.

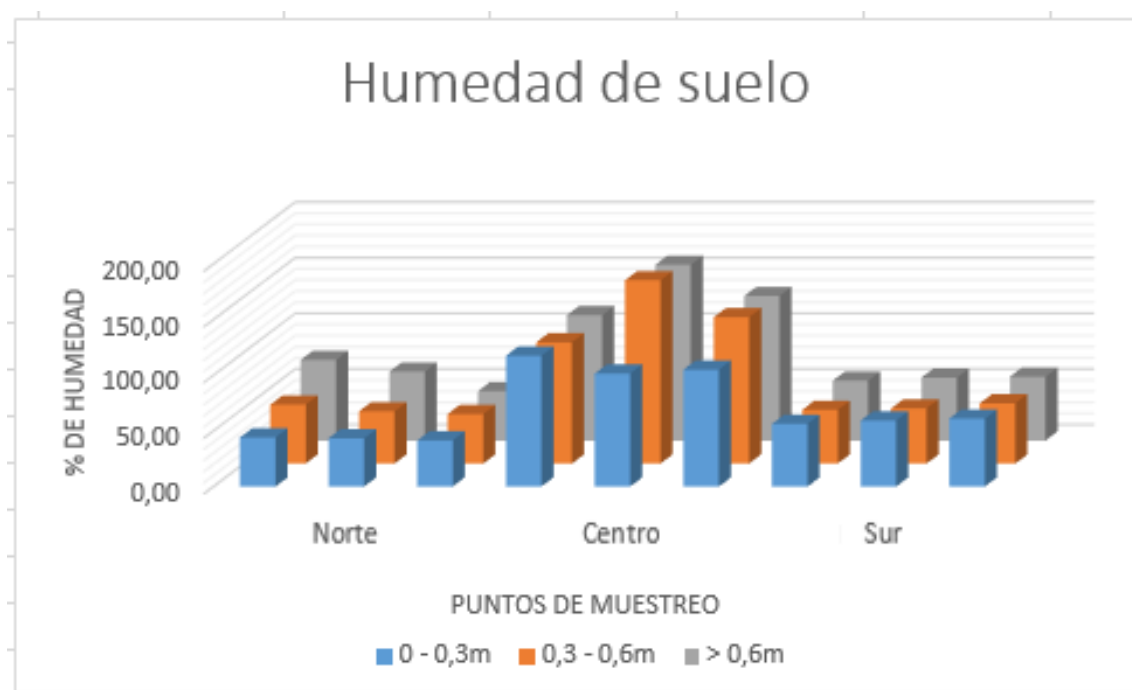
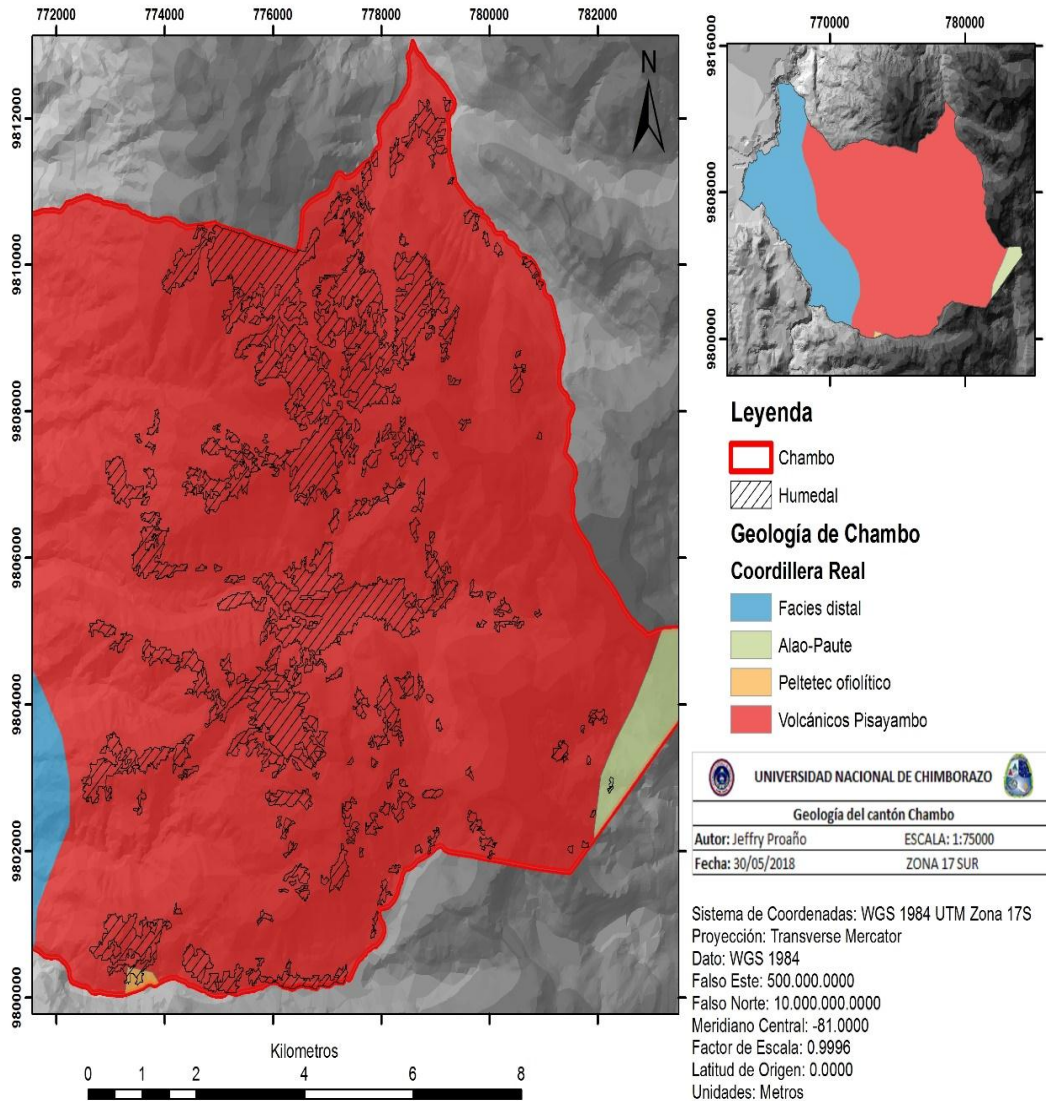


Figura 5. Análisis de humedad en las 3 zonas de muestreo
Elaborado por: El autor

5.4. Geología y tipo del suelo de Chambo.

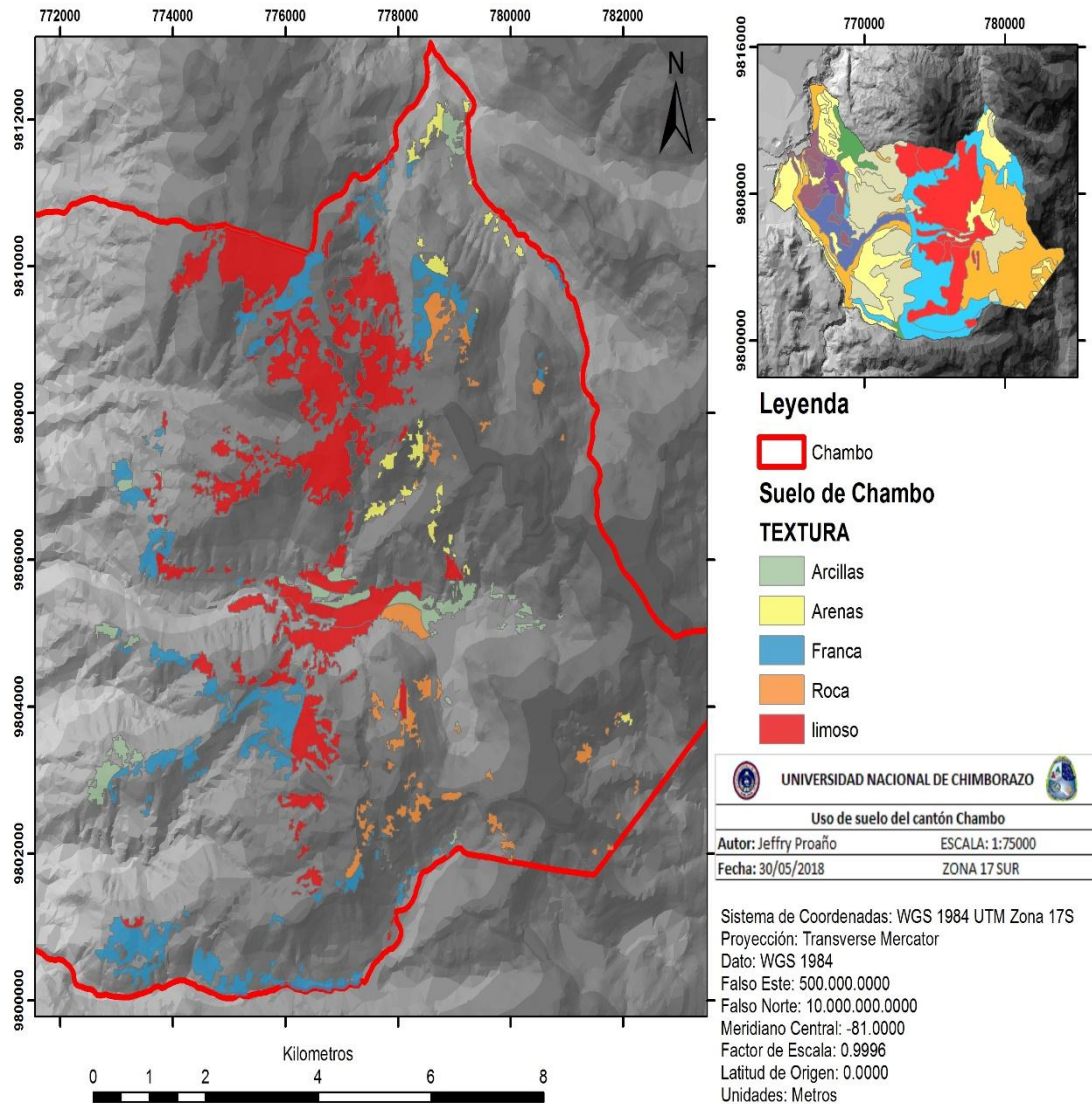
Para el análisis de la geología del cantón Chambo (mapa 2) se estableció que el cantón Chambo se asienta sobre las siguientes formaciones: Facies distal, Alao-Paute, Peltetec ofiolítico y Volcánicos Pisayambo, esto de acuerdo a la cartografía del IGM (2014).



Mapa 2. Geología del cantón Chambo
 Elaborado por: El autor

El humedal se ubica en la unidad geológica Volcánicos Pisayambo, la misma que está constituida por andesitas a riolitas y piroclastos, correspondiente al 99,64% del humedal, así mismo un 0,07% del humedal corresponde a la unidad Alao-Paute, compuesta por metalavas basálticas y andesíticas, y tan solo un 0,28% de la extensión del humedal se asienta en la unidad Peltetec ofiolítico.

El tipo de suelo del cantón Chambo (mapa 3), de acuerdo a la cartografía del IGM (2014), es un suelo limoso, correspondiente al 53,1% del humedal, asimismo un 7,89% del humedal es suelo arcilloso, un 9,03% es roca, y un 25,80% es un suelo franco, lo que se correlaciona con las muestras de suelo obtenidas en el campo.



Mapa 3. Tipo de suelo del cantón Chambo
 Elaborado por: El autor

En la tabla 2 se describe la taxonomía del suelo del humedal del cantón Chambo, detallando su textura y el área que abarca cada una de ellas dentro del humedal.

5.5. Interpretación Geofísica del humedal alto-andino del cantón Chambo.

Para el estudio estratigráfico del humedal se determinaron 3 zonas de muestreo (tabla 3) norte, centro y sur; estos puntos de muestreo se determinaron para obtener una muestra representativa de la estratigrafía del sector y además por la accesibilidad a la zona. De esta manera mediante las tomografías se determinó la resistividad eléctrica de la zona.

La representación estratigráfica del sector norte mediante los resultados de la resistividad eléctrica se describen a continuación:

La tomografía de la Línea 1 Norte (figura 6) muestra resistividades entre 14.8 y 228 ohm*m, esta zona muestra la presencia de tobas trituradas, ya que presenta áreas con resistividades eléctricas entre 14.8 y 32.3 ohm*m, aquí, esta estructura se encuentra en la mayor parte de la tomografía, mostrando una estructura heterogénea en donde existe presencia de conducción de agua entre una zona acuífera y otra zona superficial. En el centro de la tomografía, también se observa, la presencia de una zona semipermeable, gravas entre finas y gruesas con resistividades desde 32.2 hasta 70.5 ohm*m. Además, se observa la presencia de rocas intrusivas con resistividades 104 y 228 ohm*n.

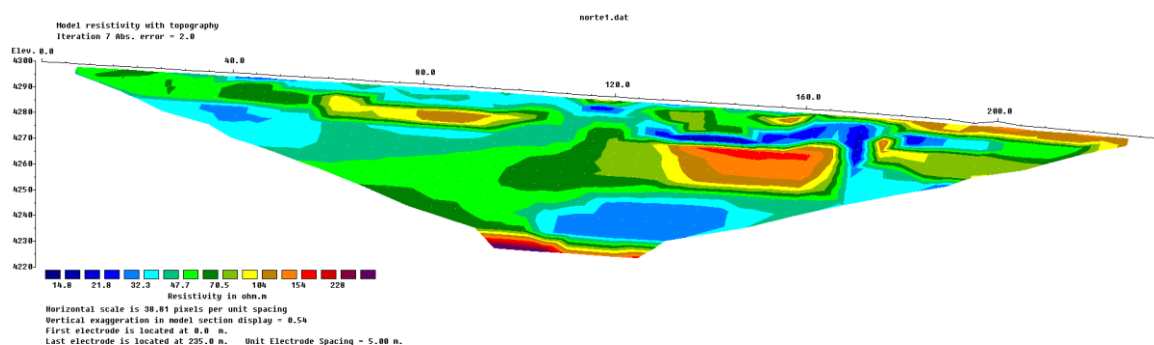


Figura 6. Tomografía - Línea 1 Norte
Elaborado por: el autor

La tomografía de la Línea 2 Norte (figura 7) muestra resistividades entre 20.5 y 261 ohm*m. Las resistividades eléctricas entre 20.5 y 42.4 ohm*m, muestran una zona permeable con la presencia de tobas trituradas, al igual que en la Línea 1, esta estructura se encuentra en la mayor parte de la tomografía, en la cual existe un cambio hidrológico entre una zona acuífera y otra zona superficial. Las resistividades eléctricas entre 61.0 y 87.7 ohm*m, en la gama de colores verdes muestran la presencia de una zona semipermeable, gravas entre finas y gruesas, las cuales se encuentran en pequeñas proporciones, pero en toda la tomografía. Las resistividades desde 126 hasta 261 ohm*m,

muestran la presencia de rocas intrusivas, las que se pueden observar en la parte media e inferior izquierda de la tomografía.

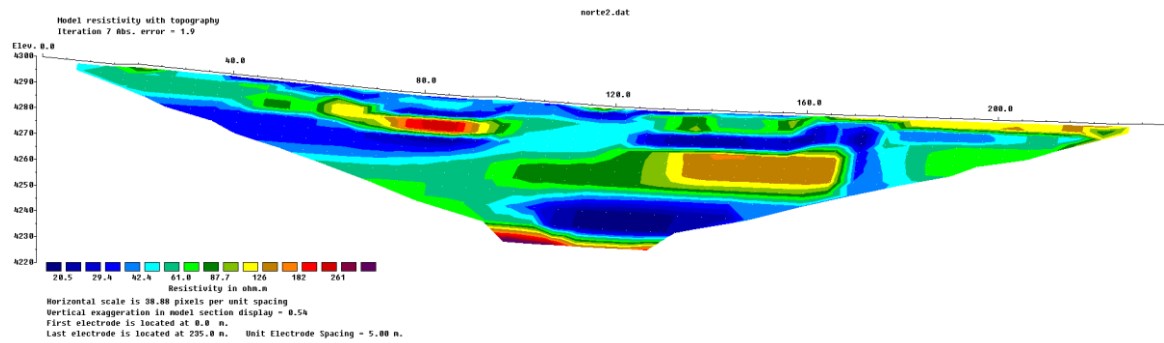


Figura 7. Tomografía - Línea 2 Norte
Elaborado por: el autor

La tomografía de la Línea 3 Norte (figura 8) muestra resistividades entre 21.5 y 463 ohm*m. En la mayor parte de la tomografía se muestra la presencia de tobas volcánicas y cineritas, ya que presentan áreas con resistividades eléctricas entre 21.5 y 33,4 ohm*m, la cual tiene el mismo comportamiento de las tomografías de las Líneas 1 y 2, es decir, existe conducción de agua entre una zona acuífera y otra zona superficial ya que su estructura es heterogénea. Las resistividades de 51.8 hasta 124 ohm*m, muestran una zona semipermeable, con la presencia de esquistos arcillosos o alterados. La menor parte de la tomografía muestra rangos de resistividades altas de 193 hasta 463 ohm*m, que son característicos de zonas impermeables compuestas por rocas ígneas y metamórficas, calizas, granitos, y en escasa proporción tobas y lavas volcánicas.

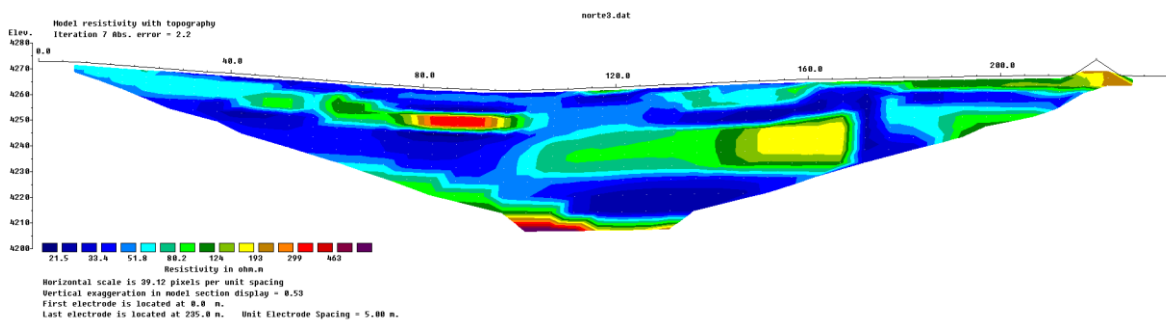


Figura 8. Tomografía - Línea 3 Norte
Elaborado por: el autor

La representación estratigráfica de la zona centro mediante los resultados de la resistividad eléctrica se describen a continuación:

La tomografía de la Línea 1 Centro (figura 9) presenta un rango de resistividades comprendidas entre 43.6 y 1464 ohm*m. En la primera escala de resistividades se tiene valores de 43.6 hasta 72.0 ohm*m, donde se evidencia zonas permeables con una posible conducción de agua a partir de los 20 metros de profundidad del humedal respecto a la superficie, además existen pequeños acuíferos contenidos por rocas que tienden a ser impermeables. Gran parte de la tomografía en la gama de colores verdes posee resistividades de 119 hasta 325 ohm*m, lo que muestra zonas semipermeables en distintas fracciones del humedal compuestas por areniscas arcillosas, lavas y esquistos arcillosos. En menor proporción se muestran resistividades de 536 y 1464 ohm*m, zonas impermeables que pueden estar conformadas por lavas, areniscas cuarcitas y granito sanos.

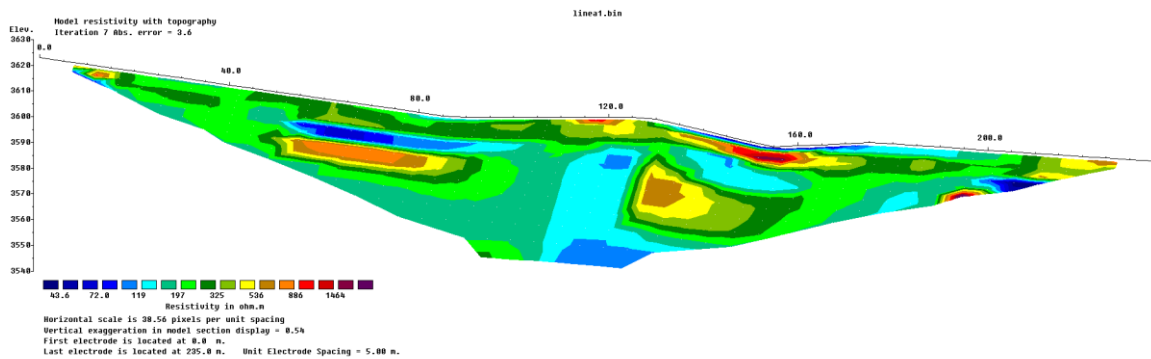


Figura 9. Tomografía - Línea 1 Centro
Elaborado por: el autor

La tomografía de la Línea 2 Centro (figura 10) refleja resistividades comprendidas desde 14.8 hasta 6068 ohm*m, donde se observa pequeñas proporciones de resistividades de 14.8 y 35.0 ohm*m, en la gama de colores azules que muestra zonas permeables constituidas de calizas y agua de fuentes. Las resistividades de 82.7 y 461 ohm*m se encuentran en la mayor parte de la tomografía, lo que muestra un suelo semipermeable compuesto por gravas con agua dulce y areniscas arcillosas. Existe una pequeña zona con altas resistividades comprendidas desde 1088 hasta 6068 ohm*m, que se describe como una zona impermeable conformada de gneis, granitos sanos, lavas que pueden retener un acuífero en su alrededor.

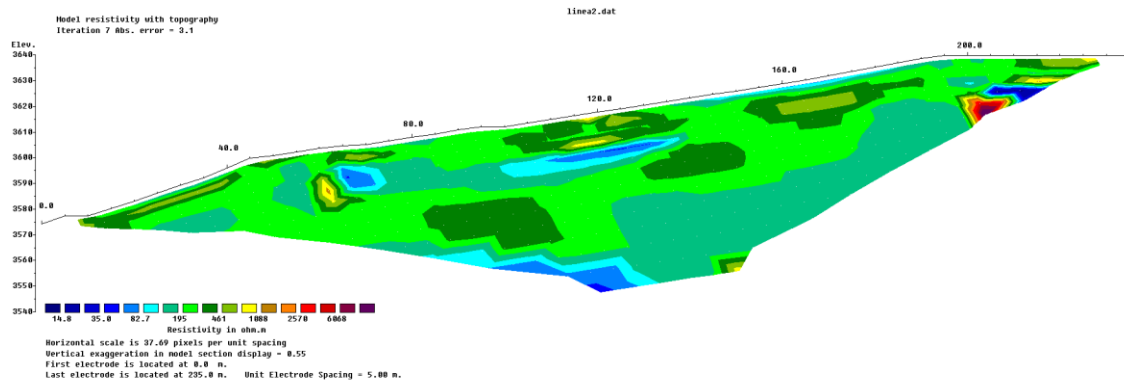


Figura 10. Tomografía - Línea 2 Centro
Elaborado por: el autor

La tomografía de la Línea 3 Centro (figura 11) tiene resistividades entre 9.16 y 307 ohm*m. En la parte central se evidencia zonas con alta permeabilidad que representan agua de acuíferos aluviales, suelo compuesto de margas y calizas, cuyo rango de resistividades eléctricas comprende valores de 9.16 hasta 15.1 ohm*m. En la parte superficial y central de la tomografía se muestra zonas semipermeables con valores de resistividad de 41.3 y 68.2 ohm*m, cuyo suelo está formado de tobas volcánicas, y cineritas. Resistividades de 113 y 307 ohm*m, se pueden observar en la parte inferior derecha e izquierda, cuya tomografía confirma los resultados de tomografías anteriores (Línea 1 y Línea 2), las cuales muestran que existen acuíferos retenidos por rocas impermeables. Son zonas conformadas por esquistos arcillosos o alterados y areniscas arcillosas.

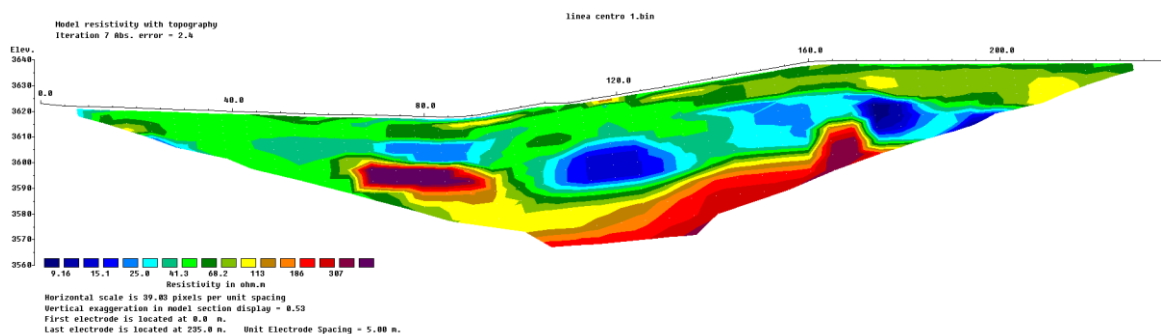
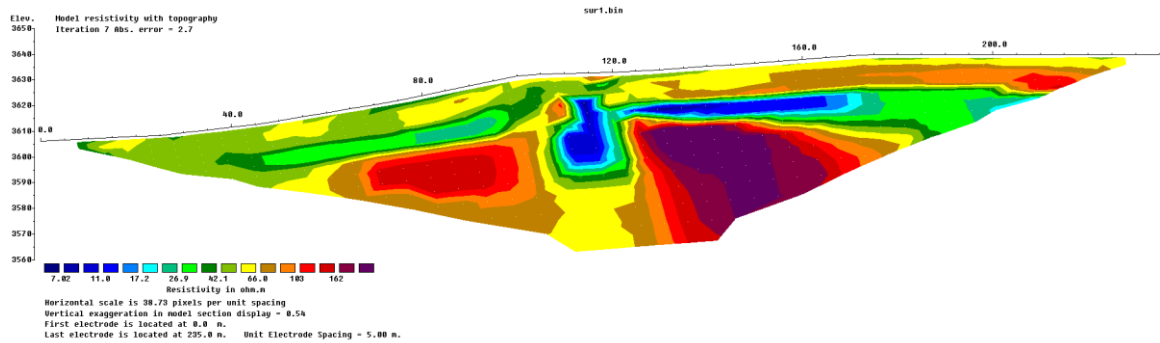


Figura 11. Tomografía - Línea 3 Centro
Elaborado por: el autor

La tomografía de la Línea 1 Sur (figura 12) posee resistividades de 7.02 y 162 ohm*m. El primer rango de resistividades de esta tomografía tiene valores comprendidos de 7.02 y 11.0 ohm*m, donde se muestra una acumulación de agua de acuíferos aluviales retenida por estructuras visiblemente impermeables. El segundo intervalo de resistividades presenta valores de 17.2 y 42.1 ohm*m, zona semipermeable formada por tobas

volcánicas y cineritas que se la observa en la parte superficial del humedal y alrededor de la formación del acuífero. Las resistividades desde 66.0 hasta 162 ohm*m, se las observa en la profundidad del humedal, donde nos muestran una zona impermeable formada por areniscas arcillosas que retienen acumulación de agua del humedal.

Figura 12. Tomografía - Línea 1 Sur
Elaborado por: el autor



La tomografía de la Línea 2 Sur (figura 13) muestra resistividades entre 5.10 y 212 ohm*m, en las que las resistividades de 5.10 hasta 8.68 ohm*m muestran una acumulación de agua en la parte central de la tomografía. Las resistividades de 14.8 hasta 42.9 ohm*m están presentes en toda la tomografía, lo que alude que son zonas semipermeables, conformadas por tobas volcánicas y cineritas. Las resistividades de 73.1 y 212 ohm*m muestran impermeabilidad en el suelo de este humedal, al igual que la tomografía anterior se observa la acumulación de agua dentro de esta zona, ya que está formada por areniscas arcillosas impermeables que impiden el drenaje del agua.

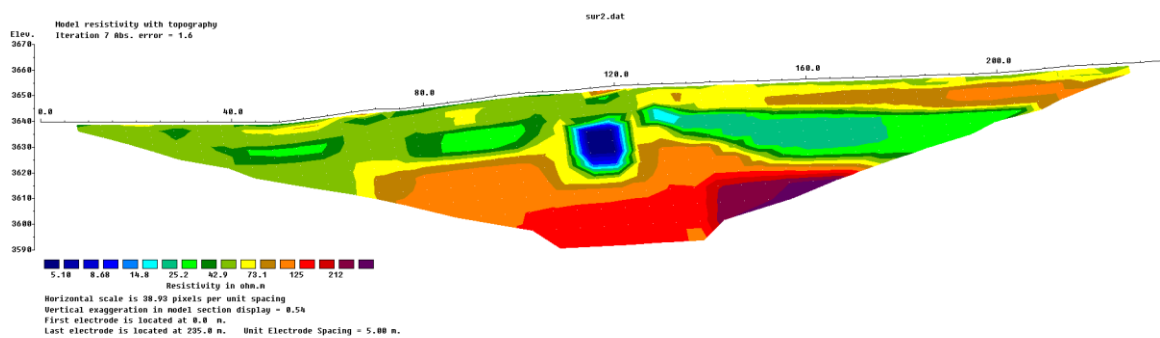


Figura 13. Tomografía - Línea 2 Sur
Elaborado por: el autor

La tomografía de la Línea 3 Sur (figura 14) muestra resistividades entre 3.58 y 295 ohm*m. Las resistividades de 3.58 y 6.72 ohm*m, corrobora lo antes mencionado en las tomografías 1 y 2, donde se observa la acumulación de agua por acción de rocas impermeables. Las resistividades entre 12.6 y 44.5 ohm*m muestran zonas semipermeables formadas por tobas volcánicas y cineritas que se las encuentra en su mayor parte en la zona superficial del humedal. El ultimo rango de resistividades muestra valores entre 83.5 y 295 ohm*m, lo que representa zonas formadas por areniscas arcillosas que acumulan el agua de este humedal.

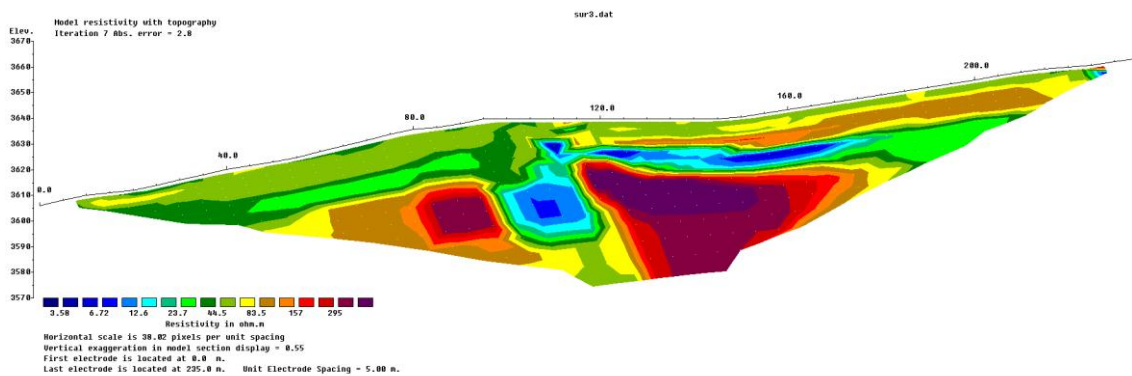


Figura 14. Tomografía - Línea 3 Sur
Elaborado por: el autor

El porcentaje de error medio de los variogramas de las interpolaciones realizadas por el kriging para cada reconstrucción estratigráfica es del 2.48, esto muestra que los valores tomográficos obtenidos en las campañas, representan la realidad estratigráfica.

5.6.Reconstrucción en 3 dimensiones de la estratigrafía del suelo del humedal

Para la reconstrucción estratigráfica en 3D se utilizaron los resultados de las tomografías eléctricas de resistividad, para lo cual, se realizó la interpolación entre las mismas obteniendo el siguiente resultado (figura 15), en la parte norte se observa la presencia de recarga lateral, ya que los valores son bajos, es decir se encuentra una zona acuífera, en el centro se observa en cambio zonas con resistividades altas, por lo que no existe intercambio entre el humedal y el acuífero; al sur se observan resistividades bajas encontrándose zonas de recarga. Además, la topografía en la zona norte y sur tienen pendientes accidentadas, además la mayor parte del páramo es almohadillas y pajonales, lo que implica retención de agua, aun cuando exista pendiente fuerte. En el centro es una zona con características de planicie, es más bien un área de recolección de agua por efecto

de la topografía, y de aquí se alimentan las diferentes quebradas, esto también se relaciona con el tipo de suelo y la geología del sector mostrado en la tabla 1.

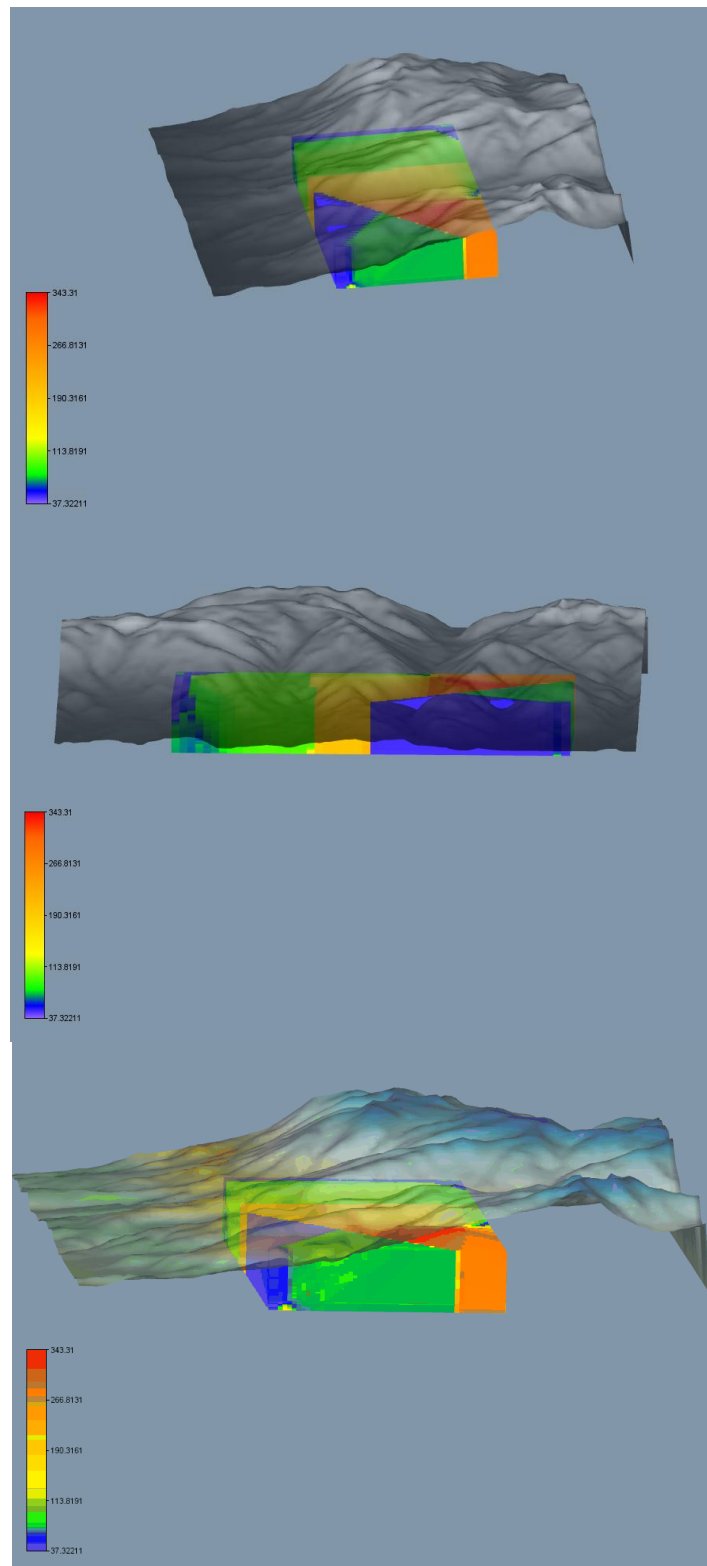


Figura 15. Reconstrucción en 3 dimensiones de la estratigrafía del suelo del humedal
Elaborado por: el autor

Tabla 1. Resistividad, formación geológica, tipo de suelo y porcentaje de humedad del suelo del humedal.

NORTE						
PUNTOS DE MUESTREO		VALOR (ohm*m)	RESISTIVIDAD	FORMACIÓN GEOLÓGICA	TEXTURA	%H
775652	9810286	70.5	Tobas volcánicas, cineritas	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Limoso	56,57
775765	9810232	44.5	Tobas volcánicas, cineritas	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Limoso	50,79
775877	9810177	104	Esquistos arcillosos o alterados	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Limoso	43,51
CENTRO						
PUNTOS DE MUESTREO		VALOR	RESISTIVIDAD	FORMACIÓN GEOLÓGICA	TEXTURA	%H
775928	9805732	150	Esquistos arcillosos o alterados	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Arcilloso	113,13
776038	9805667	180	Esquistos arcillosos o alterados	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Arcilloso	141,46
776146	9805604	190	Esquistos arcillosos o alterados	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Arcilloso	122,18
SUR						
PUNTOS DE MUESTREO		VALOR	RESISTIVIDAD	FORMACIÓN GEOLÓGICA	TEXTURA	%H
772714	9803029	40	Tobas volcánicas, cineritas	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Limoso	52,86
772823	9803093	40	Tobas volcánicas, cineritas	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Limoso	55,20
772932	9803156	30	Tobas volcánicas, cineritas	Volcánicos Pisayambo (andesitas a riolitas y piroclastos)	Franco-Limoso	57,59

Elaborado por: el autor

6. CONCLUSIONES

Se determinó el área de influencia del humedal, el cual presenta una extensión aproximada de 16,20 km², además de acuerdo al análisis de humedad de suelo, esta zona presenta grado de humedad moderado, bueno y saturado. De igual manera, esta área es afectada por acciones naturales y actividades antrópicas no sustentables que ponen en riesgo los servicios ecosistémicos que ofrece el humedal para la biodiversidad, para el funcionamiento de otros ecosistemas y para el desarrollo de la población del sector.

Las tomografías eléctricas determinan las resistividades de los materiales geológicos, estos presentan rangos de resistividad eléctrica desde 3.58 hasta 6068 ohm*m; en este sentido las resistividades eléctricas bajas en promedio son de 15.56 ohm*m, representan zonas permeables con grandes posibilidades de conducción de agua y presencia de acuíferos. Las resistividades medias en promedio son de 140.66 ohm*m y muestran zonas semipermeables compuestas por areniscas arcillosas, esquistos arcillosos o alterados, gneis y granito alterados. Las resistividades altas en promedio son de 1051.11 ohm*m, estos representan zonas impermeables compuestas por areniscas cuarcitas, lavas, esquistos sanos, rocas ígneas.

Se reconstruyó estratigráficamente en 3 dimensiones el humedal alto-andino, donde se puede observar que en la zona norte existe una recarga lateral, es decir se encuentra una zona acuífera, en el centro no existe intercambio entre el humedal y el acuífero; al sur existen zonas de recarga. La topografía en la zona norte y sur tienen pendientes accidentadas, además la mayor parte del páramo es almohadillas y pajonales, lo que implica retención de agua, aun cuando exista pendiente fuerte. En el centro es una zona con características de planicie, es un área de recolección de agua por efecto de la topografía, y de aquí se alimentan las diferentes quebradas, esto también se relaciona con el tipo de suelo y la geología del sector.

Como se observa en los resultados estratigráficos el humedal tiene conexión hidráulica con el acuífero en la zona norte y sur, y en la zona centro no tiene esta conexión, por lo que la variabilidad de la extensión del humedal depende de las condiciones climáticas y del ciclo hidrológico en la zona. Mostrando que la mayor variación del humedal es al sur de la zona de estudio, respecto al resto del área de influencia del humedal.

7. RECOMENDACIONES.

Se debe conocer el área de estudio para establecer los puntos de muestreo más significativos que ayudarán a una mejor obtención de datos y posteriores resultados, de la misma forma determinar la mejor accesibilidad para llevar a cabo los análisis.

Es necesario este tipo de investigaciones para compartir la información a la sociedad que ignora el cambio negativo que se está dando en las fuentes hídricas por actividades antrópicas no sustentables que afectan ecosistemas en general.

Es importante realizar estudios de variabilidad climática en los períodos de estudio para corroborar con los resultados de campo, estudios multitemporales y las tomografías eléctricas del suelo.

8. BIBLIOGRAFIA

- Ahumada, M., Aguirre, F., Contreras, M., & Figueroa, A. (2011). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. *Gobierno de Chile. Ministerio Del Medio Ambiente; Servicio Agrícola Y Ganadero. Departamento de Protección de Recursos Naturales. Unidad de Gestión Ambiental; Dirección General de Aguas. Departamento de Conservación Y Protección de Recursos Hídricos*, 50.
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). *Centro de Investigación Y Desarrollo En Información Geográfica Del IGAC -CIAF*, 46. <https://doi.org/10.5751/ES-06710-190329>
- Auge, M. (2008). Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea.
- Bereciartua-Pérez, A., & Picón-Ruiz, A. (2011). Localización e identificación de activos soterrados mediante georadar y procesamiento de imagen. *Dyna (Spain)*, 86(4), 438–447. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.6036/3965>
- Calderón, C. M., Pérez, H. M., Benavides, A. M., & Morales, L. J. (2014). Desarrollo de un arreglo circular de antenas utilizando herramientas de electromagnetismo computacional. *Informacion Tecnologica*, 25(1), 41–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000100006>
- Castelhano, M., & Fialho Azinhaga, P. (2011). Lo que está bajo nuestros pies. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 550–555. <https://doi.org/DOI:10498/14558>
- Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA. (2008). Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos. *Agua, vida, futuro*, 54.
- Dávila, F. J.; Camacho, E. (2012). Georreferenciación De Documentos Cartográficos Para La Gestión De Archivos Y Cartotecas “Propuesta Metodológica.” *Revista Catalana de Geografia*, 1–9. Retrieved from [https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1003/Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de archivos y cartotecas propuesta metodológica.pdf?sequence=1](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1003/Georreferenciación%20de%20documentos%20cartográficos%20para%20la%20gestión%20de%20archivos%20y%20cartotecas%20propuesta%20metodológica.pdf?sequence=1)

- Ferro, D., Rodríguez, I., Concepción, B., Chavez, F., Cordova, V., & Rizo, R. (2011). El hierro en la roca zeolitizada del yacimiento de Palmarito de Cauto: separación y caracterización de fases magnéticas, 22–37.
- Guerrero, R., & Bravo, V. M. (2011). Conceptos básicos de Estratigrafía, (44), 55–59. Retrieved from http://www.umar.mx/revistas/44/09_estratigrafia.pdf
- Herrera, M., Iglesias, C., Lara, D., González, O., & López, E. (2011). Desarrollo de un sensor para la medición continua de la compactación del suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1), 6–11.
- Lugo, E., Playà, E., & Rivero, L. (2008). Aplicación de la tomografía eléctrica a la prospección de formaciones evaporíticas. *Geogaceta*, 44, 223–226. Retrieved from <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/8215/Aplicacion-de-la.pdf?sequence=2>
- Luna, V. (2011). *Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso del suelo rural-urbano en la región de Atlixco, Puebla*. INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CAMPUS.
- Moreno Cobo, A. V. (2017). *ANÁLISIS DE LAS TRANSICIONES DE LOS CAMBIOS DE USO Y COBERTURA DEL SUELO MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS AÑOS (2001-2016) EN EL CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- ONGVitalis Latinoamérica, A. C. (2015). ¿Cuál es la situación de los humedales de América Latina? | Vitalis. Retrieved April 15, 2018, from <http://www.vitalis.net/2015/02/cual-es-la-situacion-de-los-humedales-de-america-latina/>
- Paredes Togas, J. J., & Tongombol Chuquimango, D. V. (2013). *La estratigrafía (facies, edades)*. Tarapoto.
- Ramsar COP9. (2008). Estrategia Regional de Conservación y Uso Sostenible de los Humedales Altoandinos, 2008.

- Solana Capilla, M. (2014). *COMPARACIÓN DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS PARA DETERMINACIÓN DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS*. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS.
- Tenelema Allaica, V. H. (2017). *ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO DEL ACUÍFERO DEL RÍO CHAMBO MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS Y TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Urbanski, J. (2013). GEOBIA for ArcGIS.
- Vargas Celi, J. L., & Ulloa Lamán, J. D. (2015). *PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A PARTIR DE PERFILES GEOFÍSICOS Y COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS EN UNA ZONA NORTE DE LOS DEPÓSITOS DELTAICOS-ESTUARINOS EN GUAYAQUIL*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Weinzettel, P., Varni, M., Dietrich, S., & Usunoff, E. (2009). Evaluación de tres dispositivos de tomografía eléctrica para la identificación de horizontes petrocálcicos en el suelo. *Ciencia Del Suelo*, 27(1), 135–146. Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672009000100014&script=sci_arttext&tlng=en

9. ANEXOS

9.1. **Tabla 2.** Taxonomía del suelo del humedal del cantón Chambo

TAXONOMÍA	DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA	TEXTURA	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
ENTIC DYSTRANDEPT	Suelo pseudo limoso o pseudo limo-arenoso, muy negro con retención de agua 20 a 50%.	Limoso	0,015	0,09
ROCAS	Rocas	Roca	0,015	0,09
ANDIC PARALITHIC ARGUODOLL-ANDIC HAPLU	Suelo negro, arcilloso con muchos revestimientos brillantes encima de la cangahua suelta o toba volcánica poco dura a 40-60 cm. De profundidad	Arcillas	0,065	0,40
TROPOHEMISTS y/o CRYAQUEPTS	Suelos muy ricos en materia orgánica, poco meteorizada, más del 30%, con poco mineral. Saturados con agua, mal drenados y pantanosos	Arcillas	0,221	1,36
ANDIC PARALITHIC ARGUODOLL	Suelo negro, arcilloso con muchos revestimientos brillantes encima de la cangahua suelta o toba volcánica poco dura a 40-60 cm. De profundidad	Arcillas	0,357	2,20
HISTIC CRYAQUEPT	Materia orgánica negra, suave, untuosa, meteorizada sobre 30 a 40 cm., de espesor.	Arcillas	0,636	3,93
ISOTHERMIC	Suelos poco profundos, (20 a 30cm), sobre material más o menos duro- no derivados de ceniza volcánica, erosionados sobre pendientes.	Arenas	0,672	4,15
NIEVE	Nieve	Roca	1,448	8,94
ENTIC CRYANDEPT	Suelo pseudo limoso muy negro con más de 20% y menos de 50% de retención de agua.	Limoso	2,649	16,35
DYSTRANDEPTS y/o CRYANDEPTS	Suelos derivados de materiales piroclásticos, alofánicos, franco arenosos, gran capacidad de retención de agua; saturación de bases <50%; densidad aparente <0.85g/cc.	Franca	4,179	25,80
DYSTRIC CRYANDEPT	Suelo pseudo limoso muy negro con más de 50% de agua.	Limoso	5,940	36,67

Elaborado por: el autor

9.2. **Tabla 3.** Puntos de muestreo

NORTE	
PUNTOS DE MUESTREO	
775652	9810286
775765	9810232
775877	9810177
CENTRO	
PUNTOS DE MUESTREO	
775928	9805732
776038	9805667
776146	9805604
SUR	
PUNTOS DE MUESTREO	
772714	9803029
772823	9803093
772932	9803156

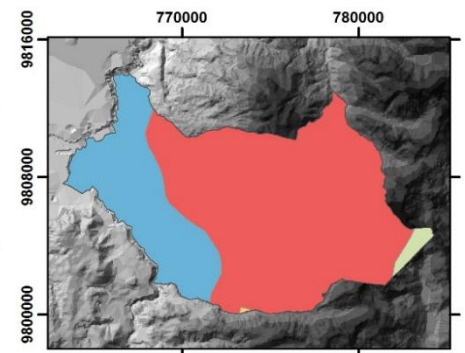
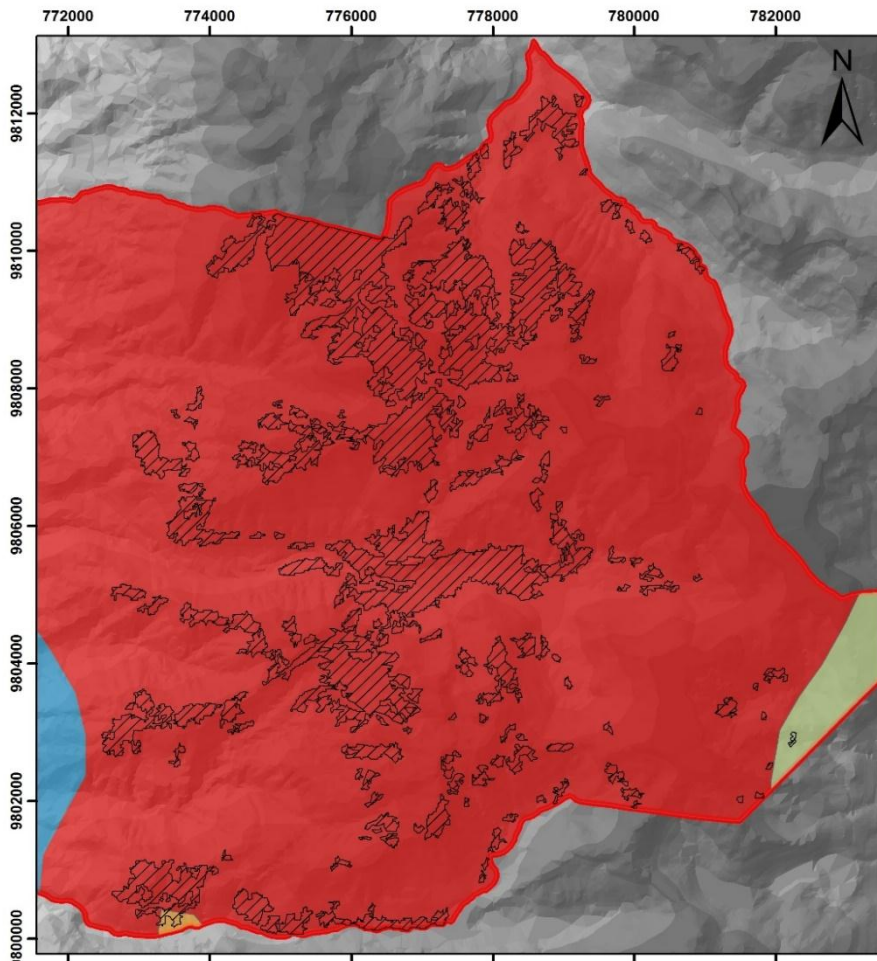
Elaborado por: el autor

9.3. **Tabla 4.** Resultados de humedad de suelo.







Repeticiones	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Prof. Zona.	0-0,3m			0,3-0,6m			>0,6m		
1N	42,81	46,02	43,64	52,65	52,67	53,69	74,07	77,44	66,18
2N	43,21	44,51	42,43	50,66	42,66	47,54	70,12	60,05	55,96
3N	44,17	41,50	38,98	45,72	44,36	43,62	43,23	45,66	44,31
1C	116,04	118,02	118,85	107,92	112,16	106,91	113,12	112,70	112,43
2C	104,25	100,60	99,94	156,23	164,10	173,83	163,64	155,25	155,27
3C	120,57	113,39	81,14	130,04	120,96	143,63	137,71	131,26	120,94
1S	57,98	54,92	56,23	47,67	49,41	47,96	52,50	54,13	54,98
2S	60,60	58,61	58,94	46,94	51,22	50,64	54,51	55,33	60,00
3S	60,77	60,06	62,43	51,98	55,59	55,04	55,08	57,26	60,06



Elaborado por: el autor

9.4.Geología del cantón chambo

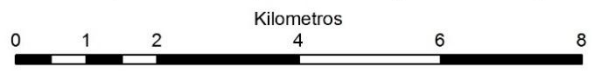


Leyenda

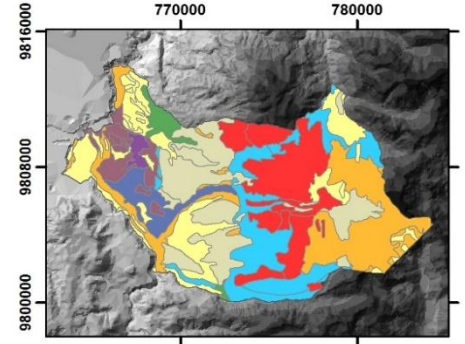
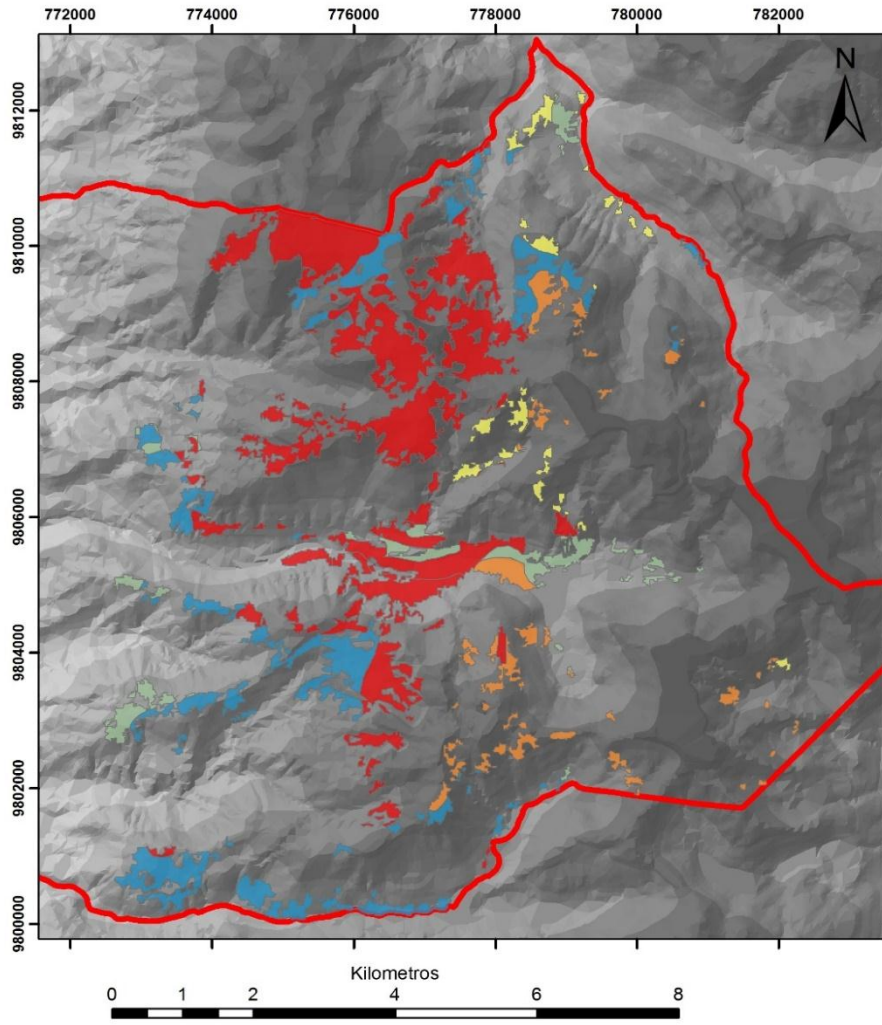
-  Chambo
 -  Humedal
- Geología de Chambo**
- Coordillera Real**
-  Facies distal
 -  Alao-Paute
 -  Peltetec ofiolítico
 -  Volcánicos Pisayambo

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO 	
Geología del cantón Chambo	
Autor: Jeffry Proaño	ESCALA: 1:75000
Fecha: 30/05/2018	ZONA 17 SUR

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Dato: WGS 1984
 Falso Este: 500.000.0000
 Falso Norte: 10.000.000.0000
 Meridiano Central: -81.0000
 Factor de Escala: 0.9996
 Latitud de Origen: 0.0000
 Unidades: Metros



9.5. Uso del suelo del cantón Chambo



Leyenda

Chambo

Suelo de Chambo

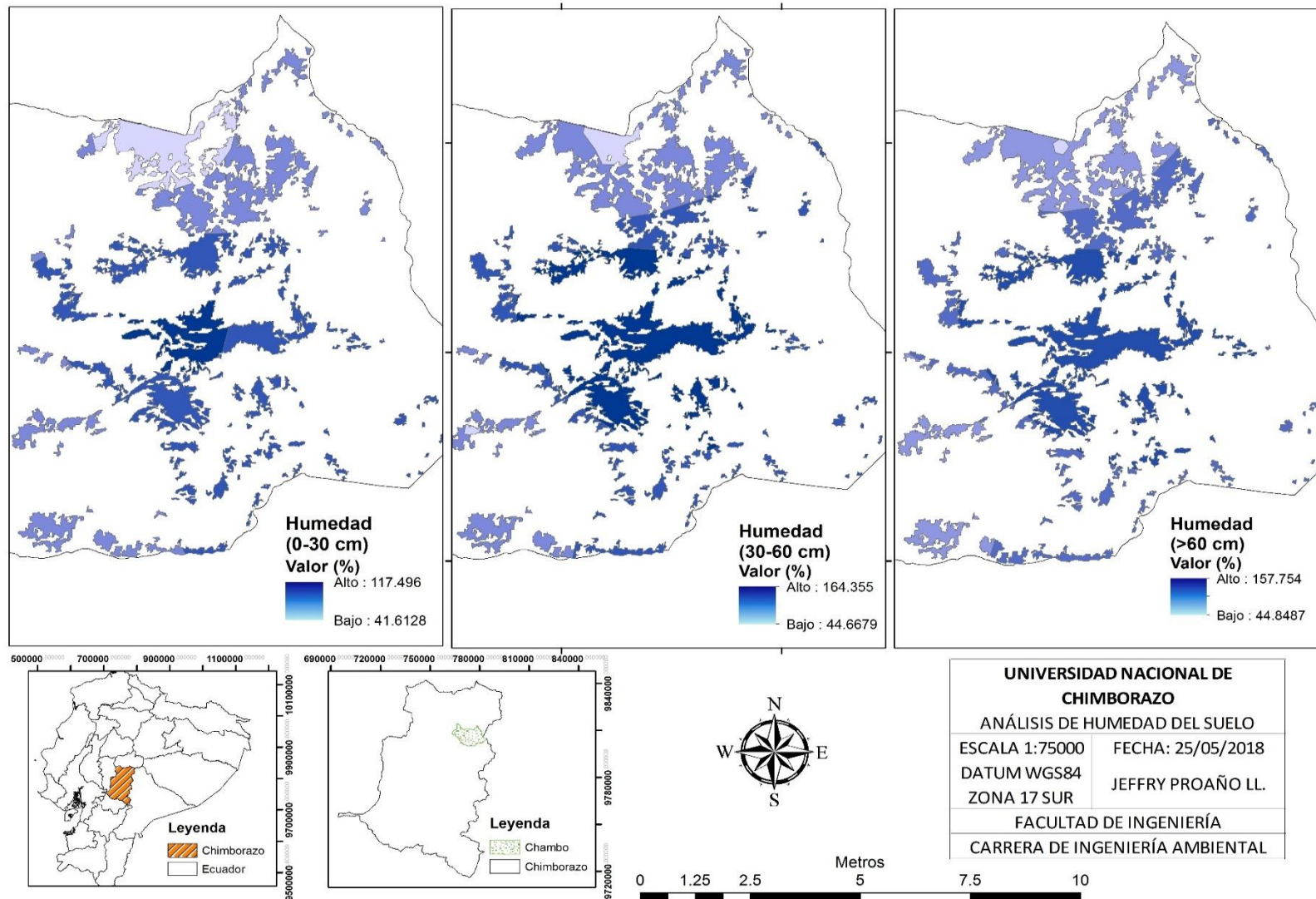
TEXTURA

- Arcillas
- Arenas
- Franca
- Roca
- limoso

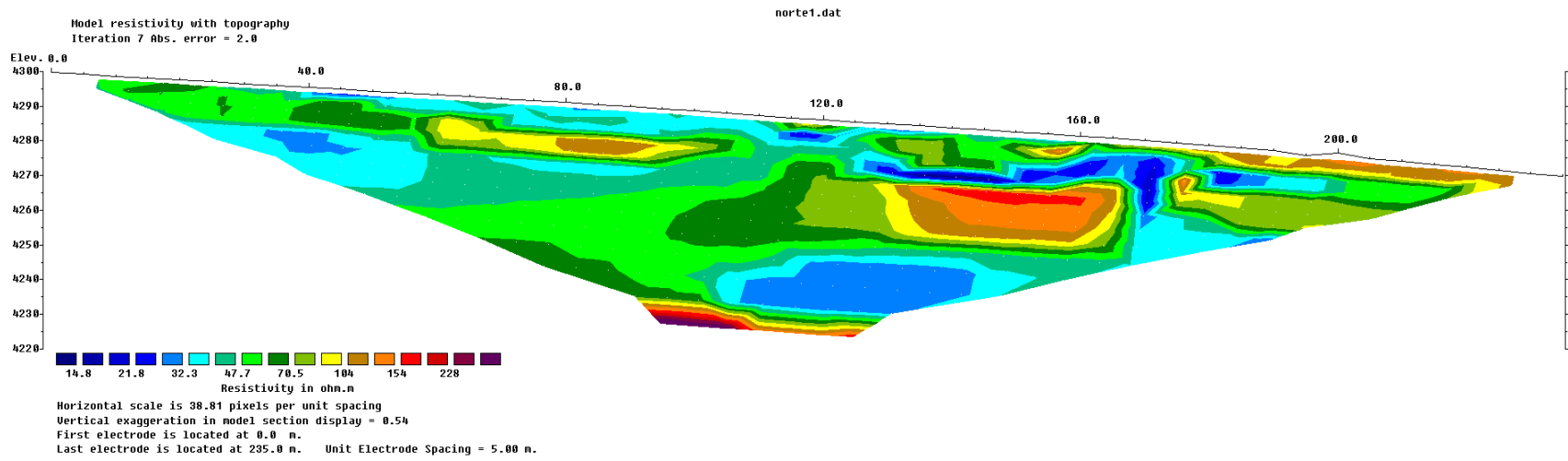
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO	
Uso de suelo del cantón Chambo	
Autor: Jeffry Proaño	ESCALA: 1:75000
Fecha: 30/05/2018	ZONA 17 SUR

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Dato: WGS 1984
 Falso Este: 500.000.0000
 Falso Norte: 10.000.000.0000
 Meridiano Central: -81.0000
 Factor de Escala: 0.9996
 Latitud de Origen: 0.0000
 Unidades: Metros

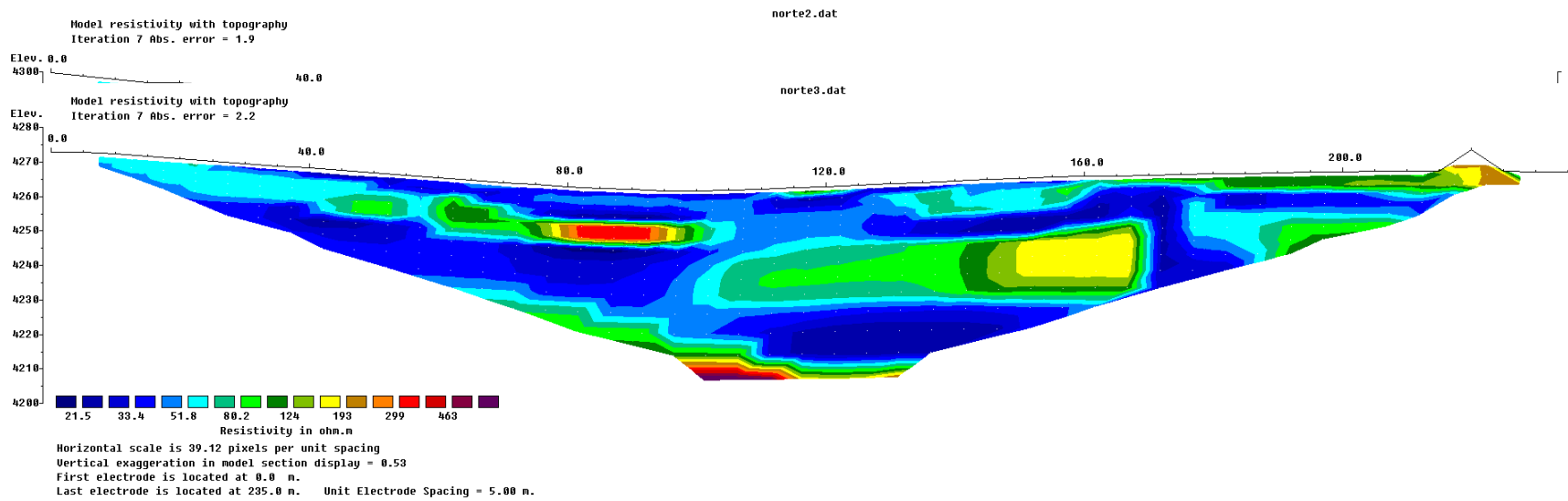
9.6. Análisis de humedad del suelo



9.7. Tomografía - Línea 1 Norte

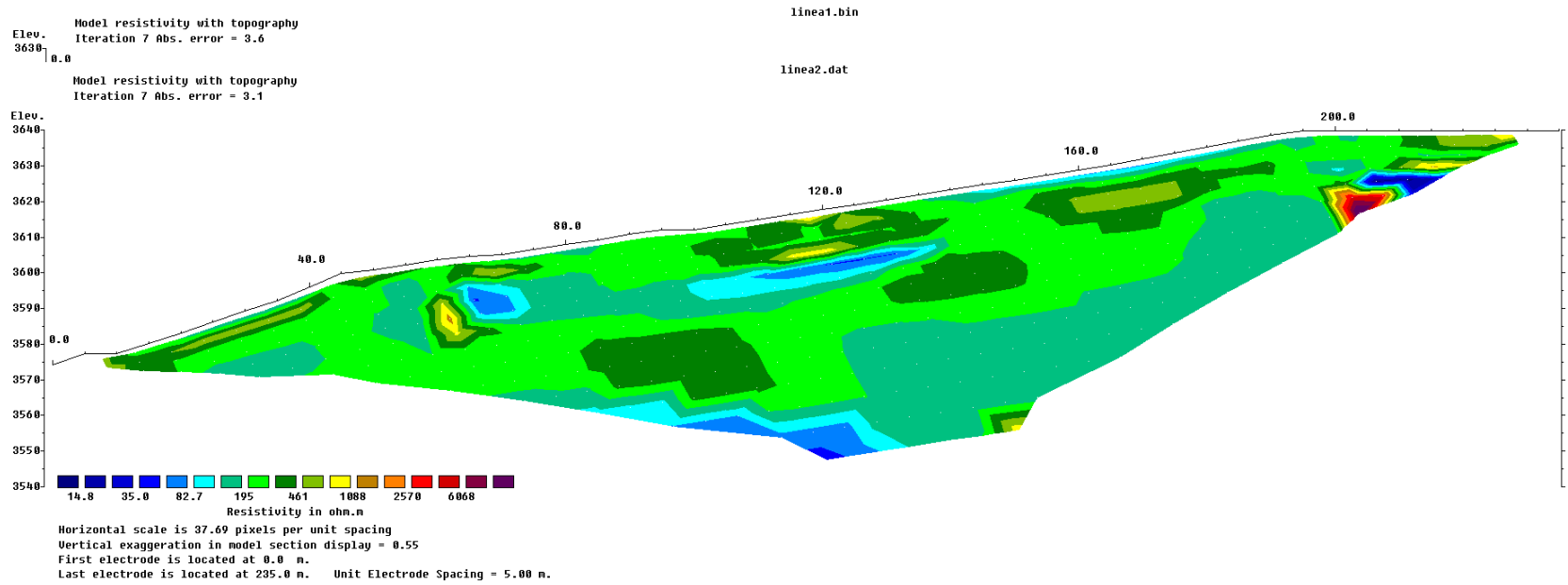


9.8. Tomografía - Línea 2 Norte



9.9. Tomografía - Línea 3 Norte

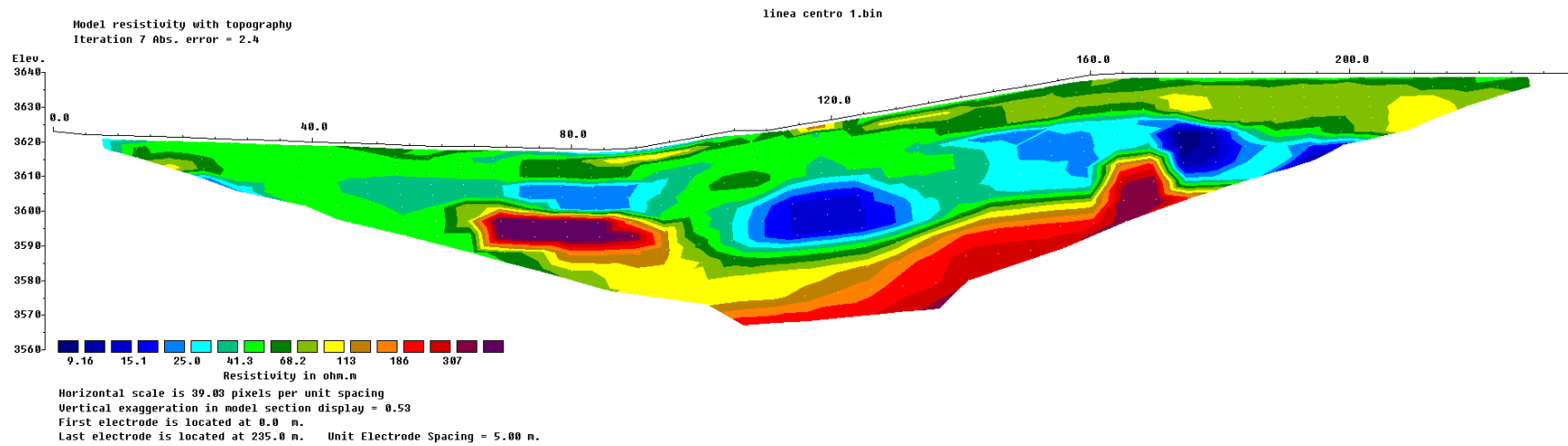
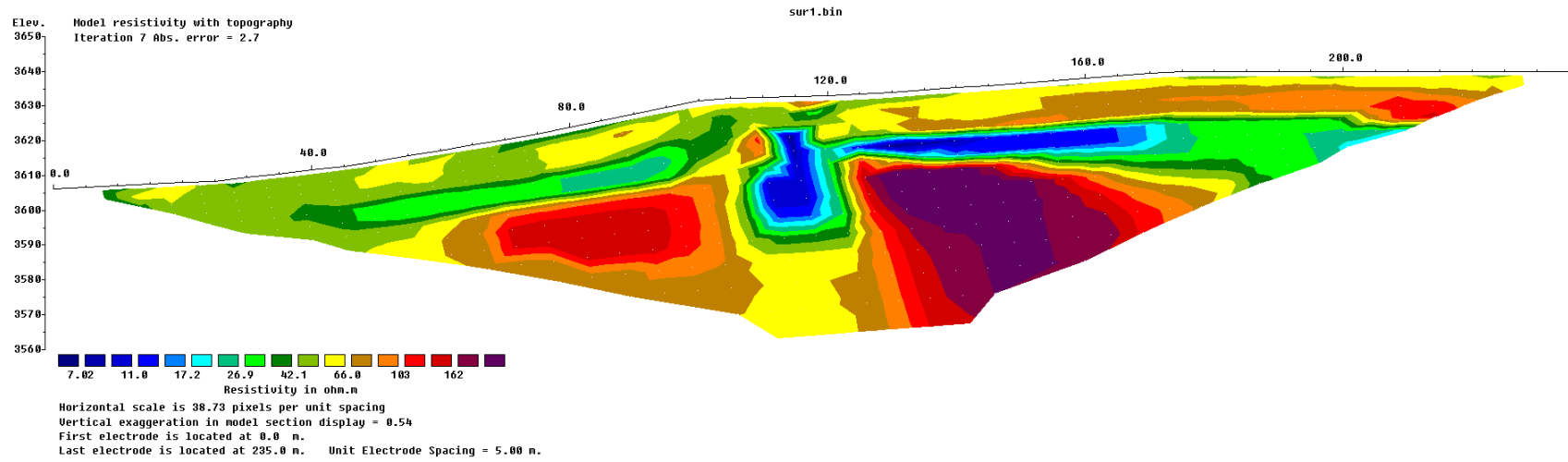
9.10. Tomografía - Línea 1 Centro



9.11. Tomografía - Línea 2 Centro

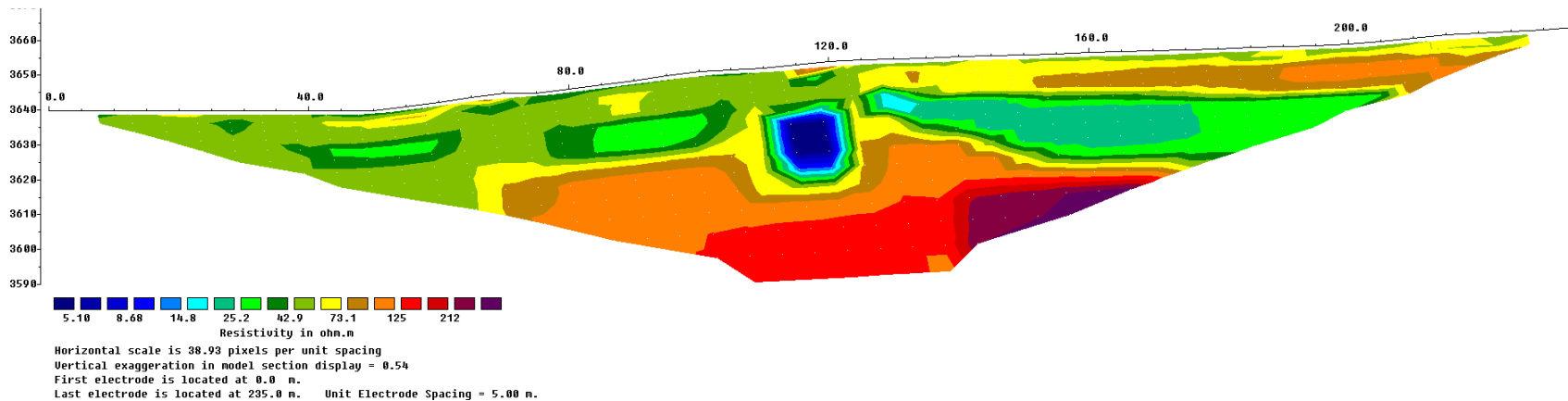
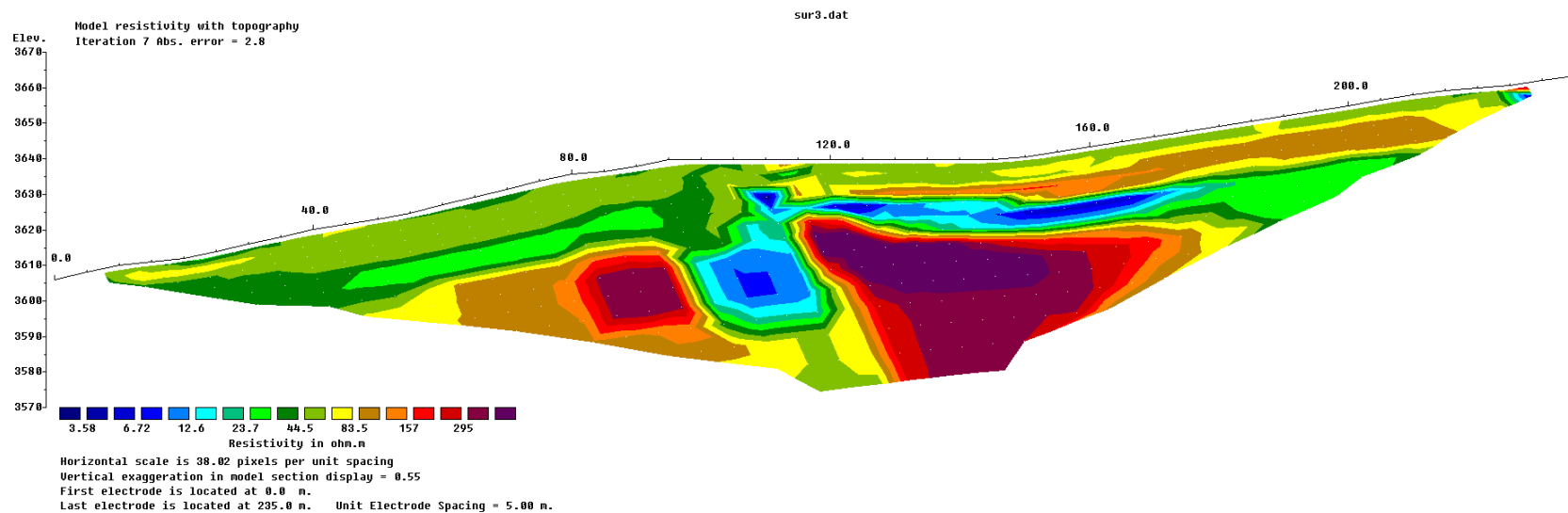
9.12. Tomografía - Línea 3 Centro

9.13. Tomografía - Línea 1 Sur

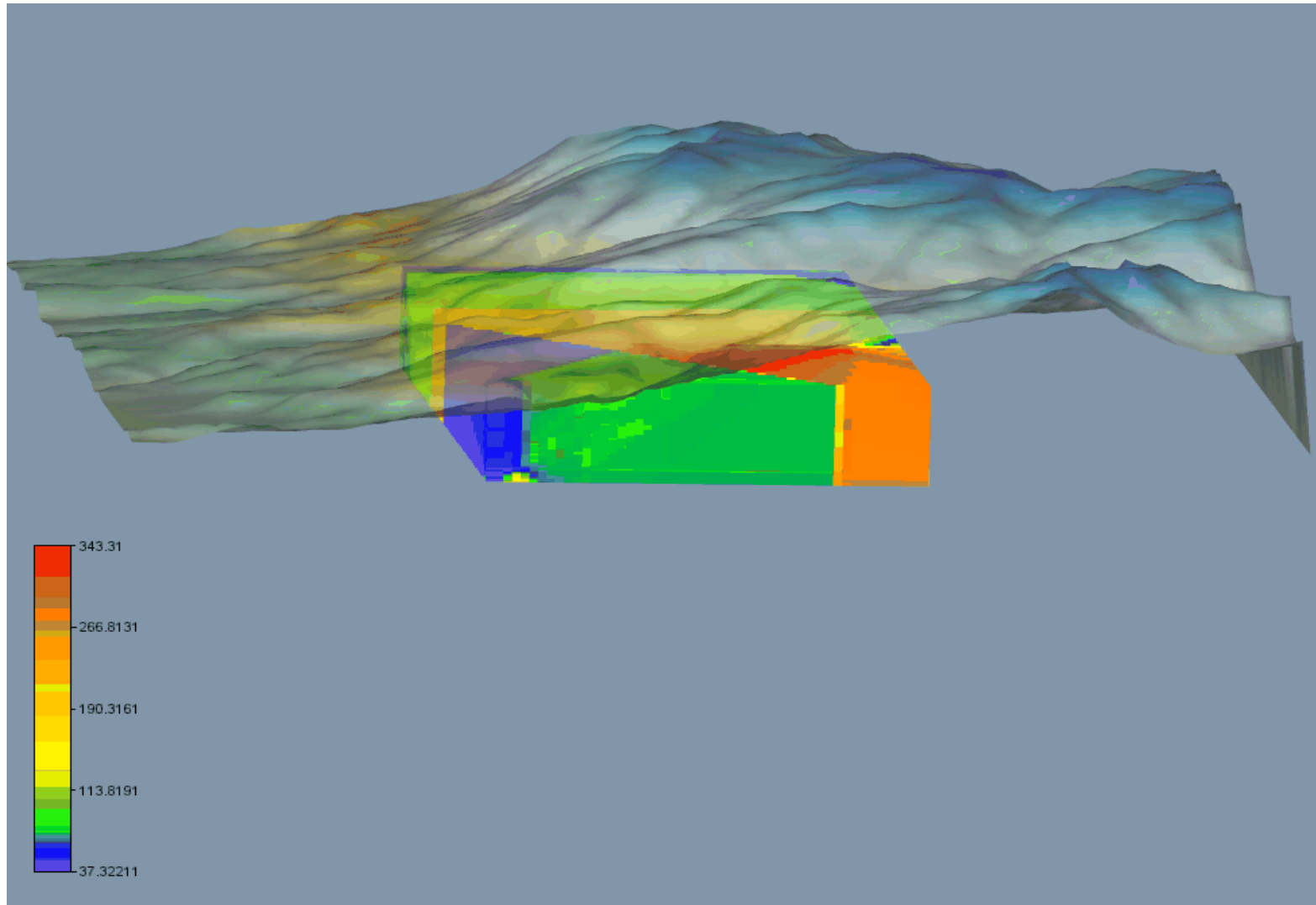


9.14. Tomografía - Línea 2 Sur

9.15. Tomografía - Línea 3 Sur



9.16. Reconstrucción en 3 dimensiones de la estratigrafía del suelo del humedal



9.17. Humedal del Cantón Chambo





9.18. Traslado del equipo al humedal



9.19. Instalación del equipo Syscal Pro



9.20. Deshidratación y desecado de las muestras del suelo

