

Arqueología De Precisión

*Aplicación de técnicas geoelectricas y electrotérmicas en investigaciones
arqueológicas del Valle del Cauca, Colombia.*

*Carlos Armando Rodríguez,
Orlando Zúñiga Escobar
Alejandra María Agudelo*

Humanidades - Arqueología



Programa  Editorial Universidad del Valle

Arqueología De Precisión

*Aplicación de técnicas geoelectricas y electrotérmicas
en investigaciones arqueológicas del
Valle del Cauca, Colombia*



Colección Humanidades
Arqueología

Cada día que pasa, la arqueología como ciencia social-histórica integra más en sus estudios del pasado, una gran cantidad de técnicas y metodologías provenientes de diversas disciplinas tanto de las ciencias naturales, como socioculturales. Su permanente reconfiguración, tendiendo puentes hacia otras ciencias, ha permitido el surgimiento de subdisciplinas tan importantes como la Zooarqueología, la Arqueobotánica, la Geoarqueología, que estudian a grosso modo, de una forma complementaria, el medio ambiente del pasado y su interrelación con el hombre, la sociedad y la cultura.

El libro que presentamos al lector se enmarca en esta tendencia de complementariedad de saberes. En él se exponen los resultados de la aplicación de técnicas geofísicas (geoeléctricas y electrotérmicas) y pedológicas en el estudio de seis sitios arqueológicos pertenecientes a las culturas prehispánicas preconquista Sonso (500- 1550 d.C.) y Bolo-Quebrada Seca (500- 1550 d.C.), estudiados entre 1997 y 2005 en los municipios de Cali y Yumbo, departamento del Valle del Cauca. Específicamente, cinco de estos yacimientos pertenecientes a la Cultura Bolo-Quebrada Seca, fueron estudiados en predios de la sede Meléndez de la Universidad del Valle, mientras el otro, correspondiente a un cementerio prehispánico de la Cultura Sonso se presentó en el barrio Guacandá del municipio de Yumbo.



CARLOS ARMANDO RODRÍGUEZ
ORLANDO ZÚÑIGA ESCOBAR
ALEJANDRA MARÍA AGUDELO

Arqueología De Precisión

*Aplicación de técnicas geoelectricas y electrotérmicas
en investigaciones arqueológicas del
Valle del Cauca, Colombia*

ARQUEODIVERSIDAD

Grupo de Investigación en Arqueología y
Diversidad Sociocultural Prehispánica

MUSEO ARQUEOLÓGICO

“Julio César Cubillos



Colección Humanidades
Arqueología

Universidad del Valle
Programa Editorial

Título: *Arqueología de precisión*
Autores: Carlos Armando Rodríguez, Orlando Zúñiga Escobar y Alejandra María Agudelo
ISBN: 978-958-670-538-7
ISBN PDF: 978-958-765-733-3
DOI: 10.25100/peu.210
Colección: Humanidades - Arqueología
Primera Edición Impresa noviembre 2011
Edición Digital noviembre 2017

Rector de la Universidad del Valle: Édgar Varela Barrios
Vicerrector de Investigaciones: Jaime R. Cantera Kintz
Director del Programa Editorial: Francisco Ramirez Potes

© Universidad del Valle
© Carlos Armando Rodríguez, Orlando Zúñiga Escobar y Alejandra María Agudelo

Este libro, o parte de él, no puede ser reproducido por ningún medio sin autorización escrita de la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros. El autor es el responsable del respeto a los derechos de autor y del material contenido en la publicación (fotografías, ilustraciones, tablas, etc.), razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, noviembre de 2017

CONTENIDO

Introducción	7
Apreciaciones teórico-metodológicas.....	11
Métodos y técnicas geofísicas y geoarqueológicas.....	23
El yacimiento arqueológico de Guacandá, Municipio de Yumbo.....	51
Los yacimientos arqueológicos de la Universidad del Valle, Cali.....	63
Bibliografía	155

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

INTRODUCCIÓN

Nos encontramos en un momento histórico crucial en la definición y estructuración de nuevos paradigmas de conocimiento, basados en los principios del holismo y la complementariedad, así como la emergencia del principio hologramático. En este contexto uno de los debates más actuales en el que se mueven los científicos de las ciencias sociales y humanas, es el de la disciplinariedad y la transdisciplinariedad. Del paso del estudio disciplinario de las realidades natural y sociocultural, a su comprensión transdisciplinaria como fenómenos complejos que deben ser abordados por varias disciplinas, depende en gran medida el quehacer científico del futuro próximo. Asistimos a la desaparición paulatina de las disciplinas o a su permanente reconfiguración? Este es el dilema central de las ciencias sociales y humanas en el momento actual.

La arqueología como ciencia social-histórica no se escapa a esta situación. Por el contrario, cada día que pasa integra más en sus estudios del pasado, una gran cantidad de técnicas y metodologías provenientes de diversas disciplinas tanto de las ciencias naturales, como socioculturales. Su permanente reconfiguración, tendiendo puentes hacia otras ciencias, ha permitido el surgimiento de subdisciplinas tan importantes como la Zooarqueología, la Arqueobotánica, la Geoarqueología, que estudian a *grosso modo*, de una forma complementaria, el medio ambiente del pasado y su interrelación con el hombre, la sociedad y la cultura.

En las últimas dos décadas; en la arqueología del Valle del Cauca, esta integración de saberes se ha venido dando al menos en tres campos diferentes en los cuales actúa la arqueología moderna: el campo interdisciplinar (biología, geofísica y pedología), el arqueológico y el campo de intervención histórico-arqueológica. Lo cual ha permitido determinar secuencias y espacios estructurados, definir procesos depositacionales y posdepositacionales y también establecer tipologías en diferentes clases de yacimientos, tanto de

carácter doméstico (sitios de habitación y suelos agrícolas), como ritual (cementerios).

El libro que presentamos al lector se enmarca en esta tendencia de complementariedad de saberes. En él se exponen los resultados de la aplicación de técnicas geofísicas (geoeléctricas y electrotérmicas) y pedológicas en el estudio de seis sitios arqueológicos pertenecientes a las culturas prehispánicas preconquista Sonso (500- 1550 d.C.) y Bolo-Quebrada Seca (800- 1550 d.C.), estudiados entre 1997 y 2005 en los municipios de Cali y Yumbo, departamento del Valle del Cauca. Específicamente, cinco de estos yacimientos pertenecientes a la Cultura Bolo-Quebrada Seca, fueron estudiados en predios de la sede Meléndez de la Universidad del Valle, mientras el otro, correspondiente a un cementerio prehispánico de la Cultura Sonso se presentó en el barrio Guacandá del municipio de Yumbo.

En el primer capítulo abordamos aspectos teórico-metodológicos relacionados con el estudio de los seis sitios arqueológicos mencionados. Se hace énfasis en el concepto de posición teórica utilizado por la escuela de arqueología social latinoamericana, el cual integra un conjunto de supuestos valorativos, ontológicos y epistemológicos-metodológicos, que guían el trabajo de una comunidad académica particular y permite la generación y el desarrollo de teorías sustantivas. Se caracteriza cada una de las tres áreas que tienen que ver con el estudio de las realidades medioambientales y socioculturales del pasado prehispánico: *valorativa* (para qué se estudia determinado fenómeno de la realidad?), *ontológica* (qué es lo que se estudia?) y *epistemológica-metodológica* (cómo cumplir con los objetivos cognitivos).

El segundo capítulo trata sobre la descripción de los métodos y técnicas geofísicas y geoarqueológicas que hemos empleado con bastante éxito en el estudio de yacimientos arqueológicos prehispánicos diferenciados por su uso (sitios de habitación suelos agrícolas y cementerios). Se hace una descripción detallada de métodos como la geofísica, la resistividad eléctrica y su aplicación al estudio de sitios arqueológicos, la electrotérmica y su importancia en la reserva energética del suelo. Igualmente, se habla de los métodos pedológicos (lecturas de perfiles de suelos), y aquellos utilizados para determinar la actividad microbiana de los suelos. Y por último, se relacionan los métodos arqueológicos, desde la cuadrícula de los sitios a excavar, el proceso de excavación y el registro, hasta los análisis de los materiales arqueológicos (paleosuelos, macrorestos, cerámica y lítica) en el laboratorio.

El capítulo tercero está dedicado a los trabajos multidisciplinarios desarrollados en el cementerio prehispánico de Guacandá, municipio de Yumbo. Se describe la prospección geoeléctrica realizada en el sitio con un terrámeter

o resistivímetro, las calicatas eléctricas levantadas y los puntos tomados. Asimismo, se presentan en gráficos las anomalías asociadas con la presencia de tumbas prehispánicas, validando la aplicación del método de cuatro electrodos para detectar en el suelo sitios con actividad antrópica. Además, se describe la estratificación natural y antrópica del sitio, la morfología de las estructuras funerarias, su asociación cronológica y pertenencia cultural.

Y finalmente, en el último capítulo se presentan los resultados de los trabajos llevados a cabo en los cinco sitios arqueológicos estudiados en la Universidad del Valle. Se relaciona cada uno de ellos especificando los trabajos realizados y los resultados obtenidos. Se hace un mayor énfasis en el sitio Univalle 4A donde fueron empleadas técnicas geofísicas, electrotérmicas, edafológicas y arqueológicas en el estudio de dos ocupaciones prehispánicas de los portadores de la cultura Bolo-Quebrada Seca. La primera de ellas asociada con un *suelo enterrado 1* ubicado entre 70 y 40 cm. de profundidad, y la segunda con otro *suelo enterrado 2* que se presentó entre 50 y 30 cm. de profundidad.

Los resultados presentados evidencian que en Colombia y más específicamente en el Valle del Cauca, la utilización de métodos geofísicos en la prospección arqueológica está tomando una gran importancia. Su aplicación se está convirtiendo en un elemento imprescindible para la formulación de las diferentes estrategias de prospección y excavación que implementan los arqueólogos en el campo, como por ejemplo el uso de métodos de prospección basados en la resistividad eléctrica que apenas comienza y parece tener un futuro en los trabajos interdisciplinarios entre geofísicos y arqueólogos.

La gran importancia de nuestras investigaciones radica, entre otros factores, en las perspectivas que abre para arqueólogos, edafólogos e investigadores de las ciencias de la tierra. Y la posibilidad de obtener información confiable y ágil sobre los análisis de los procesos ecológicos y socioculturales tanto en el pasado antiguo como en el presente colombiano.

No quisiéramos terminar estas notas introductorias sin expresar nuestros sinceros agradecimientos a las siguientes entidades y personas que hicieron posible la realización de los proyectos de investigación tanto en Yumbo como en la Universidad del Valle. A la Universidad del Valle, la cual por intermedio del Museo Arqueológico “Julio César Cubillos”, el Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales y de la Tierra, YLAMA y el Grupo de Investigación en Arqueología y Diversidad Sociocultural Prehispánica, ARQUEODIVERSIDAD, permitió a dos de los autores contar con el tiempo necesario para realizar los trabajos de campo y laboratorio. Los análisis físico-químicos de los suelos fue posible realizarlos gracias a la generosa colaboración tanto del Laboratorio de Suelos de la Escuela de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia,

sede Medellín, como del Laboratorio de Física Ambiental del Departamento de Física de la Universidad del Valle.

En Cali fue muy importante la colaboración de Aldemar Reyes, Alexandra Bedoya, Andrés Velásquez, Jorge Mendoza, Gerardo Castañeda y los integrantes del Grupo de Estudiantes en Arqueología, XEPIA, adscritos al Museo Arqueológico “Julio César Cubillos”. Mientras en Medellín contamos con el constante apoyo de Oscar Ruiz, Raúl Zapata, Keneth Cabrera, Alberto Arias, Daniel Jaramillo, Norberto Parra, Oscar Eduardo Rojas, María Teresa Flórez, Sofía Botero, Claudia Yela, John Restrepo y David Molina.

APRECIACIONES TEÓRICO-METODOLÓGICAS

Uno de los conceptos medulares de la arqueología moderna que ha sido empleado en las investigaciones realizadas tanto en el cementerio prehispánico de Guacandá, como en los sitios arqueológicos de la Universidad del valle es el de *posición teórica*. Este tiene sus fundamentos en las ideas de Kuhn (1977) de quien retoma la dimensión social; e igualmente en Lakatos (1970) quien resalta la existencia de componentes al interior de un programa de investigación científica. Según Gándara (1993), la posición teórica se diferencia de una teoría sustantiva en que la primera tiene un sentido holístico y la segunda presenta un sentido partitivo. Así, la posición teórica integra un conjunto de supuestos valorativos, ontológicos y epistemológicos-metodológicos, que guían el trabajo de una comunidad académica particular y permite la generación y el desarrollo de teorías sustantivas.

El área valorativa correspondería a la pregunta *¿para qué se estudia determinado fenómeno de la realidad?* Es la justificación de la investigación donde se define si se usan teorías sencillas o complejas y cuya función es determinar que tipo de conocimiento ha de producirse como resultado de la investigación; es decir, determinar el “objeto cognitivo”, el cual junto con el área ontológica conforman la especificidad de la posición teórica. Por su parte, al área ontológica tiene que ver con *qué es lo que se estudia* y se basa en supuestos sobre como es la realidad a estudiar (material, ideal o mixta), de que unidades se compone, si esta sujeta a leyes causales o si esta jerarquizada. Y finalmente, el área epistemológica-metodológica sería el *como* cumplir los objetivos cognitivos.

Las ventajas del concepto de posición teórica respecto a otras categorías teóricas, se fundamenta en el hecho de que el modelo obtenido es una simplificación de la realidad, donde no existen normalmente ejemplos puros de una posición, es más una construcción personalizada, donde se incorporan

elementos de otras posiciones, cuya mezcla es el producto de una selección consciente de componentes que parecen útiles al investigador (Gándara 1993).

EL ÁREA VALORATIVA: “¿PARA QUÉ SE ESTUDIA?”

Como resultado de los estudios arqueológicos y etnohistóricos realizados en el Alto y medio Cauca desde los años 40 del siglo XX hasta el presente se ha logrado identificar tres grandes tradiciones culturales: Quimbaya Tardío (500-1550 d.C.), Sonso (500-1550 d.C.), y Bolo-Quebrada Seca (800-1550 d.C.), las cuales representan la evidencia material de sociedades cacicales que se encontraban en diferentes niveles de desarrollo y existieron durante unos mil años antes de la conquista española (Rodríguez 2002). Estas grandes tradiciones culturales tienen en común el manejo de los suelos para su subsistencia donde es habitual encontrar la adecuación del espacio con diversos fines: agrícolas, rituales o de habitación. Entre muchos ejemplos tenemos el caso del municipio de San Pedro (centro del Valle del Cauca), donde, en un primer momento los individuos de la ocupación prehispánica Quimbaya Tardío, despejaron el área de pequeños bosques y acondicionaron el terreno para vivir y sembrar, y luego en un periodo medio, este acondicionamiento incluyó la adición de arenas gruesas quemadas para formar un piso de vivienda y aislar la humedad (Rodríguez 1996). La construcción de pisos de habitación y zanjas para el control de la humedad, se presenta también en la ocupación Bolo-Quebrada Seca, como pudo apreciarse en los sitios arqueológicos Univalle 2 y Univalle 4, excavados en predios de la Universidad del Valle, en Cali, donde se encontraron evidencias de pisos de habitación hechos con gravilla y tiestos (Rodríguez y Bedoya 1999).

Las actividades cotidianas de este último complejo cultural planteaban, en un nivel **microespacial**, un acondicionamiento del paisaje y los suelos para su supervivencia. Estas acciones, registradas a partir de lo arqueológico, permitían preguntarnos: ¿Cuáles fueron las consecuencias, de los fenómenos sociales y culturales en una área de habitación y agricultura del complejo cultural Bolo-Quebrada Seca, en las propiedades de los suelos?, ¿Cómo cuantificar y cualificar estas consecuencias?, ¿Cómo minimizar la destrucción de los restos arqueológicos ocasionada por la excavación?

Así pues, caracterizar un área de habitación y agricultura de este complejo cultural a escala microespacial fue el principal objetivo de nuestra investigación multidisciplinaria en la Universidad del Valle, la cual tenía como fin determinar secuencias y espacios estructurados, precisar procesos depositacionales y posdepositacionales y establecer tipologías que ayudaran a la definición de espacios y lugares de actividad donde interactuaban lo biológico, lo físico y lo cultural.

Debido a la complejidad y amplitud del tema a estudiar, se pretendía abordar desde la geofísica y la pedología un área de actividad agrícola y de vivienda de la Cultura Bolo-Quebrada Seca, a partir de la caracterización física y físico-química de la matriz del suelo, tratando de aportar nuevos datos al conocimiento del manejo prehispánico de los suelos, definir algunos procesos depositacionales y posdepositacionales y establecer las posibles tipologías relativas. En este caso concreto, se aplicaron técnicas geofísicas con el fin de determinar algunas propiedades físicas de los suelos; esta información se complementó con la caracterización arqueológica y morfológica de los suelos, que permitió observar los procesos antrópicos y naturales. Ambos resultados se compararon, permitiendo evaluar la eficacia y optimización de esfuerzos de la geofísica en cuanto a la interpretación de las secuencias y espacios estructurados de los seres humanos en el pasado y en cuanto a su uso en la arqueología.

EL ÁREA ONTOLÓGICA: “¿QUÉ ES LO QUE SE ESTUDIA?”

Los seres humanos en el transcurrir del tiempo han interactuado con el medio ambiente transformando el paisaje, dejando huellas (al elaborar herramientas, construir viviendas, caminos, tumbas, recolectar, sembrar, etc.), que son el objeto de estudio de la arqueología y a partir de las cuales se puede analizar la relación hombre-medio ambiente en el pasado. Para abordar dicho tema, existen diversas posiciones teóricas que han llevado a implementar nuevas metodologías de investigación, centradas principalmente en el uso de métodos y técnicas de otras disciplinas, entre ellas las geociencias (geología, geomorfología, pedología, geofísica, etc.).

Esta búsqueda de diversos métodos no es algo nuevo, ya Edgar Morin en 1973 describía el método como un proceso en curso de búsqueda de estrategias viables para un pensar complejo físico-bioantropológico, desde una perspectiva científico-físico-literaria, que permitiera una praxis ética en el campo, tanto del conocimiento académico como de la praxis social. Se hablaba entonces de un tejido complejo de relaciones de eventos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones y azares; es decir, un sistema, una unidad compleja que implica la transdisciplinariedad y que se entiende en su relación con el ambiente.

El sistema puede ser abierto (noción termodinámica que implica una alimentación exterior), o cerrado (donde los intercambios de materia y energía son nulos). Si hablamos de un sistema abierto, es de aclarar que las leyes de organización no son de equilibrio, sino de desequilibrio, retomado o compensado, de dinamismo estabilizado, donde la inteligibilidad del sistema debe encontrarse no solamente en el sistema mismo, sino también en su relación con el ambiente, y esa relación no es una simple dependencia, sino que es constitutiva del sistema (Morin 1996).

Entonces, pensando en las culturas Sonso y Bolo-Quebrada Seca como el resultado de un proceso complejo de diversas relaciones donde el ambiente jugaba un papel muy importante, para acceder a sus regularidades se abordó la investigación desde la transdisciplinariedad, haciendo especial énfasis en los contextos microespaciales. Se emplearon métodos y técnicas de la geofísica y la pedología, abordando de manera más o menos explícita el problema del estudio microespacial de los contextos arqueológicos.

Los estudios microespaciales se han tratado comúnmente a partir de conceptos relacionados con la investigación de áreas de actividad, procesos de formación del registro arqueológico, y procesos de transformación y/o procesos postdeposicionales, donde el problema central está en cómo enlazar los restos arqueológicos, tal y como los encuentra el arqueólogo, a las situaciones donde originalmente funcionaron y fueron desechados, partiendo de las secuencias y usos de espacios estructurados y de las tipologías. Para responder al problema de cómo enlazar los restos arqueológicos a las situaciones donde originalmente funcionaron y fueron desechados, la investigación microespacial, que surge de la Nueva Arqueología norteamericana se centró en profundizar sobre el significado del material arqueológico, concibiéndolo como un modelo de acercamiento al estudio del espacio, donde los factores individuales y culturales dominaban sobre los económicos (Sánchez y Cañabate 1998).

Los estudios sobre la distribución espacial de los vestigios culturales, lleva a determinar en gran medida la forma de organizar los espacios y el comportamiento en los distintos lugares, y utiliza como soporte principal para la interpretación el concepto de áreas de actividad, el cual es trabajado explícitamente en la etnoarqueología e implícitamente en la arqueología como ciencia social. La propuesta fundamental de la etnoarqueología se basa en la analogía etnográfica como elemento constitutivo de la arqueología, ésta es una forma de argumentación por analogía donde se discute que lo crucial de una hipótesis no es la historia de su formación, sino la de su contrastación (Binford 1972, en Gándara 1990).

El supuesto básico de la etnoarqueología se fundamenta en que se puede hacer inferencias significativas sobre el pasado, basados en la experiencia del registro contemporáneo. Pero esta experiencia depende de la organización del registro arqueológico, si éste no se ha distorsionado más allá de nuestra capacidad para reconocer y acotar las formas, cantidad y calidad de la distorsión producida por procesos posteriores a la formación de los contextos, entonces podemos hacer inferencias sobre el pasado a partir de observaciones en el presente. En esta línea, la investigación etnoarqueológica permite analizar la organización de un sitio desde una perspectiva arqueológica, donde se presentan rasgos que enfatizan en las áreas de uso y los caminos de circulación como

modelos de ítems y/o agrupaciones espaciales de artefactos. Estos rasgos y/o agrupaciones estarían codificados en la organización de la estructura del sitio y son comparables por analogía¹ etnográfica (Binford 1988).

El surgimiento de los estudios sobre la formación de sitios, viene después de Binford con la generación de un cuerpo sistémico de instrumentos metodológicos crucial para unir la presencia estática del registro arqueológico con la dinámica cultural que puede ser observada en las sociedades vivas. Estos desarrollos están basados en estudios de actualidad, bajo el punto de vista de principios uniformitarios, permitiendo que la arqueología experimental y especialmente la tafonomía y la etnoarqueología, emergieran en Latino América, donde el énfasis se dio en el desarrollo y mejor control de la cronología y de la variación de los patrones espaciales, donde la mayoría de los datos fueron registrados para describir y definir culturas arqueológicas, fases y subfases, con un énfasis particular en la secuencia cerámica. Así, la evidencia etnohistórica y lingüística fue ampliamente explotada, especialmente en la construcción de modelos regionales (Politis 2003).

Al estudio de la organización de los sitios arqueológicos han contribuido también Manzanilla y Barba (1994), los cuales desde el punto de vista de la arqueología como ciencia social, estudian la distribución espacial de sitios y utensilios, a partir del análisis disciplinado y sistemático de los vestigios de las actividades de los hombres en el pasado. Esto lo hacen a partir de la integración de la información procedente del conocimiento de la tierra (geología, geofísica, y geografía), con datos provenientes de la biología (paleobotánica, paleozoología y paleoantropología), donde la arqueología se convierte en el puente interdisciplinario de unión.

Según esta posición, la arqueología se encarga de estudiar las sociedades humanas y sus transformaciones en el tiempo, constituyéndose de esta forma en una ciencia histórica porque investiga el pasado, estudia al hombre como ente social así como su influencia sobre el medio y forma parte de la antropología; es decir, el arqueólogo es un observador de recurrencias donde registra patrones repetitivos de conducta en las distribuciones de utensilios, construcciones y sitios; reconstruye las actividades y las relaciones entre los grupos sociales; observa la sucesión de sociedades de distinta complejidad a través del tiempo; propone esquemas de cambio; y trata de explicar los factores que intervinieron en esas transformaciones, haciendo énfasis en el estudio de los objetos y del contexto arqueológico (Manzanilla y Barba, 1994:14).

¹ La analogía requiere de unos principios, generalmente implícitos, donde cada autor dice que propiedades son causalmente relevantes, sin embargo, aunque estas soluciones aciertan a determinar partes aisladas del problema, no ofrecen una solución de conjunto (Gándara 1990).

De esta forma, nos encontramos ante otros conceptos como el *contexto*, entendido como el conjunto de vestigios con relaciones intrínsecas entre ellos, depositados en una matriz de suelo que representa un acto finito y discreto. El hecho de que ciertos factores estén asociados entre sí permite que se identifique actividades y funciones, donde la unidad mínima significativa del contexto arqueológico es el área de actividad ya que revela patrones de comportamiento. El *área de actividad* se define como la concentración y asociación de materias primas, instrumentos, desechos macroscópicos o invisibles (como los compuestos químicos), en superficies o volúmenes específicos. A un nivel social la unidad mínima sería la *unidad doméstica*, la cual es entendida como el área de residencia de un grupo determinado y sus áreas de actividad, entendiéndose por grupo doméstico a los individuos que comparten el mismo espacio físico para comer, dormir, descansar, crecer y procrear. La excavación extensiva debe considerarse como unidad mínima el área que ocupa una unidad doméstica, como entidad de producción y de consumo (Manzanilla y Barba 1994:58).

Tradicionalmente para acceder al contexto arqueológico, metodológicamente se realiza la prospección con pozos de sondeos o exploratorios destruyéndolo inevitablemente. Para disminuir su daño, se ha implementado en la arqueología modernas técnicas denominadas de percepción remota (sensores remotos) como son los estudios con radar de penetración, magnetómetro, equipo de geoeléctrica y análisis químico, estas técnicas utilizadas para el registro de las recurrencias, permiten obtener información arqueológica antes de excavar (Witten 2006).

La justificación para la aplicación de estas técnicas geofísicas y geoquímicas a los sitios arqueológicos, se basa en el planteamiento de que los asentamientos humanos necesariamente modifican el ciclo natural de la formación del suelo, y producen alteraciones físicas que concentran compuestos químicos y acumulan vestigios culturales, entonces, buena parte de la información arqueológica no está ni en las estructuras, ni en los artefactos, sino en la relación entre ellos y en su contacto con los suelos y/o sedimentos, parte de ella puede obtenerse desde la superficie y ser interpretada antes de practicar una excavación. Así, argumentan que los utensilios cuando la comunidad estaba viva, formaban parte de sistemas de comportamientos en espacios usados repetidamente. Al ser abandonado el espacio, los utensilios y las construcciones sufrieron derrumbes, destrucción erosión, depositación, perturbación, modificación, rapiña, y la acción de otros procesos naturales y culturales de transformación.

En la arqueología latinoamericana toda esta información ambiental apunta a la reconstrucción espacial y temporal, donde la adopción de

técnicas modernas científicas, discursos, y la introducción de algunos nuevos conceptos (adaptación, sistema cultural, procesos de formación de sitio, transformaciones n y c), están siendo sumados a nuestro paradigma histórico cultural, pero los cambios son mínimos, donde priman los datos desde el punto de vista histórico cultural obtenidos con métodos analíticos sofisticados y enfatizados en datos paleoambientales, introduciendo avances representados cualitativa y cuantitativamente (Politis 2003).

Antes de hablar en detalle sobre los estudios paleoambientales, nos ocuparemos un poco de los procesos naturales y culturales de transformación de los materiales arqueológicos. En este sentido, es necesario decir que el trabajo de Shiffer (1987) es el de mayor importancia. Al estudiar los procesos de depositación y/o posdepositación, dicho autor afirma que el contexto arqueológico es el efecto de un conjunto de procesos de formación desde el contexto sistémico hasta el momento en que hace la observación el arqueólogo, presentando las causalidades como homogéneas y sin distinción.

Una crítica a Shiffer, desde un punto de vista materialista histórico, la realiza López (1990), quien argumenta que las causas deben distinguirse para explicar los materiales observados en función de los procesos de formación y de los procesos de transformación, donde los primeros explican las asociaciones y distribuciones particulares de los contextos momento, y sus causas serían las leyes generales de la formación socioeconómica y el modo de vida. En este sentido, los procesos de transformación deben explicar las modificaciones de los contextos en el depósito arqueológico una vez que los materiales están desvinculados de las actividades humanas que les dieron origen y sentido.

Para el estudio de estas transformaciones durante el proceso de ocupación, y su posterior abandono hasta el momento en que es recuperado por el arqueólogo, se requieren de diversas técnicas, resaltando así la importancia del vínculo con las geociencias que brindan la posibilidad de estudiar los cambios de los contextos culturales en el tiempo, en lo que se refiere al conocimiento de la génesis y de los procesos de formación de los sitios arqueológicos, dentro de los cuales se identifican los diferentes procesos ambientales que vivieron los hombres en el transcurso de su existencia (Schiffer 1987; Carandini 1997). Partiendo de la crítica a Shiffer, se han desarrollado otras tendencias a la hora de analizar la estructura y/o los procesos de formación del registro arqueológico, las cuales se centran sobre todo en una visión geoarqueológica.

En la geoarqueología, el fin es observar la relación del hombre con la naturaleza, donde se reconoce que la formación y la destrucción de los sitios está controlada por la cultura, siendo, la relación recíproca entre los grupos humanos y su medioambiente, reflejada tanto en el sitio como en el paisaje

que lo contiene, así pues, el contacto social culturiza la naturaleza y esto puede ser observable al analizar el contexto de los vestigios arqueológicos. En particular, esta disciplina es ante todo un enfoque conceptual que propone no sólo determinar los recursos y las contingencias medioambientales sino también comprender la utilización de los recursos y la intervención humana en el seno de un medioambiente determinado. Busca, en gran medida, establecer los paleoambientes asociados con los aspectos socioculturales, a partir de la descripción y el entendimiento de sus ambientes; aportando información adicional sobre el pasado ambiental y cultural de las comunidades, componente vital para la interpretación de los contextos arqueológicos que permite evaluar los procesos de formación de los sitios (Rapp and Hill 1998; Schiffer 1987; Waters 1992; Dincaunze 2000; Limbrey 1975).

En cuanto al análisis del *patrón espacial*, para Butzer (1989), cada sitio o yacimiento es considerado como un micro subsistema controlado por agentes físicos, químicos y antropogénicos inherentes al subsistema en cuestión y que son los principales agentes modificadores del registro arqueológico. En el registro arqueológico, sus depósitos están sujetos a los mismos procesos naturales de enterramiento, meteorización y erosión que afectan la distribución y preservación de los depósitos no culturales. Es decir, lo arqueológico está expuesto a procesos medioambientales que preservan, alteran o destruyen el contexto depositacional original. De tal forma, es claro que para el análisis de una secuencia estratigráfica, se debe hacer énfasis en el aspecto genético e integrar el conocimiento de la sedimentología y de los suelos, con el de la actividad antrópica. Para esto se establecen dos categorías: 1) los procesos activos de alteración depositacional y 2) los procesos pasivos de alteración transformativa.

La primera categoría hace referencia a aquellos procesos culturales y naturales ligados a ellos, que siendo parte de un proceso de depositación, suponen alguna alteración para otra depositación anterior (ej: cualquier tipo de construcción). La segunda se caracteriza por no seguir las leyes de la superposición depositacional en cuanto a que no crea un nuevo depósito sino que modifica uno existente (ej: la pedogénesis y la alteración física y química de los suelos por el arado y por el aporte de nuevos elementos en el suelo como la cerámica, y los líticos entre otros) (Leonardi y Balista 1992; Carandini 1997). Así pues, podría concluirse que la información acerca de las actividades del hombre y el medio en el cual vive reside en el suelo mismo y en las cosas encontradas en, bajo y sobre éste. La información intrínseca está contenida en el material que forma el suelo y en su distribución en el entorno.

EL ÁREA EPISTEMOLÓGICO-METODOLÓGICA: “¿CÓMO SE ESTUDIA?”

Aunque en la arqueología latinoamericana el énfasis de la investigación se ha centrado en la reconstrucción histórico-cultural con una gran influencia de la arqueología norteamericana, en donde los hallazgos arqueológicos se han organizado en culturas, períodos y fases, sólo en algunos casos la reconstrucción del pasado ha registrado un complejo mosaico donde es básica la transdisciplinariedad, en la cual la secuencia regional, los sitios y las unidades interpretativas de integración como Periodo, Tradición, Subtradición y Horizontes, están articulados con la investigación histórico-cultural (Polítis 2003).

La tendencia actual se esta centrando en la *transdisciplinariedad* para entender los contextos paleoambientales, donde, para resolver cuestiones arqueológicas, es necesario apoyarse en conocimientos de las ciencias de la tierra (Geofísica, Edafología, Sedimentología, Geología, entre otras). Dincauze (2000), argumenta que con la arqueología moderna (la cual pretende la reunión de saberes, para la observación de los procesos contextuales en donde el contexto reúne la realidad medioambiental, arqueológica y antropológica), se recurre a todas las disciplinas históricas que estudian los últimos tres millones de años a escalas de tiempo muy fino, en sumatoria de bases de datos que integran la información desde muchas disciplinas y un entendimiento a profundidad de

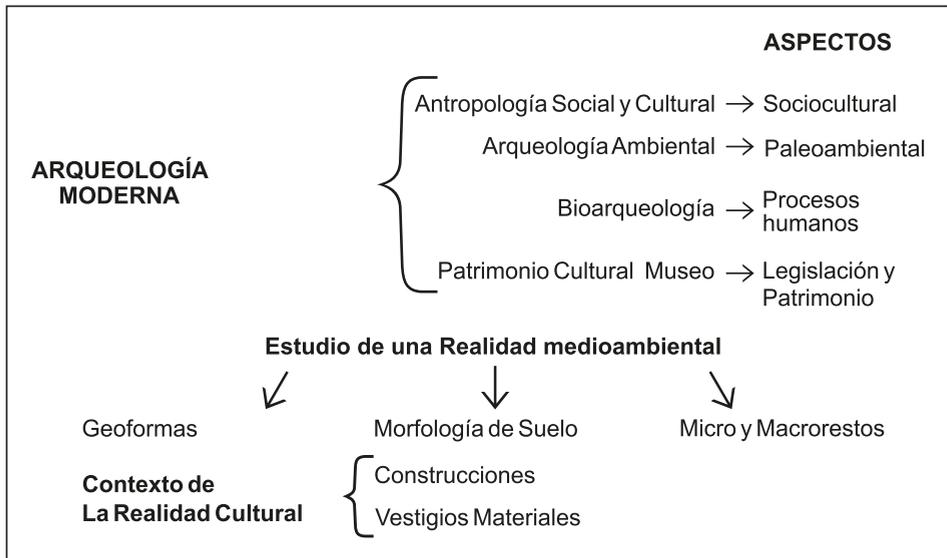


Figura 1.

Disciplinas y saberes involucrados en los estudios realizados por la arqueología moderna

las contribuciones, positivas o negativas, de la vida humana en la evolución del mundo que nosotros conocemos hoy.

En resumen, podríamos decir, que los procesos conceptuales en la arqueología moderna implican el concurso de diferentes ciencias y la complementariedad de diversos saberes, así: (Figura 1)

De esta manera, la *Arqueología Ambiental* pretende dar cuenta de las complejas relaciones entre los múltiples y variados fenómenos que implica la relación hombre-medioambiente, reconociendo el estudio de los sitios arqueológicos como partes de un ecosistema humano en el cual, las comunidades del pasado desarrollaron una interacción espacial, económica y social con las texturas medioambientales en las que estaban entrelazadas adaptativamente. Debido a que buena parte de la información arqueológica no está ni en las estructuras, ni en los artefactos, sino en la relación entre ellos y en su contacto con los suelos, parte de ésta información puede obtenerse desde la superficie y ser interpretada antes de practicar una excavación, donde la formación y la destrucción de sitios están controladas por la cultura, siendo, la relación recíproca entre los grupos humanos y su medioambiente, reflejada tanto en el sitio como en el paisaje que lo contiene (Manzanilla y Barba 1994; Butzer 1989; Rapp and Hill 1998; Schiffer 1987; Waters 1992; Dincaunze 2000).

En esta línea, la tercera fase de investigaciones arqueológicas en la Universidad del Valle, concentrada en el estudio del yacimiento “Univalle 4A”, se apoyó en los conceptos y técnicas de otras ciencias, específicamente abordó el estudio de los contextos arqueológicos, a partir de los conceptos y técnicas de la geoarqueología, (ubicada dentro de la arqueología ambiental), expuestos por Harris (1991), Bützer (1989), Schiffer (1987), Waters (1992), Rapp and Hill (1998), y Dincaunze (2000), buscando además, la optimización de esfuerzos, tanto en la excavación como en la interpretación de los datos.

Los objetivos del proyecto se orientaron hacia el conocimiento de los contextos paleoambientales en el área de actividad agrícola y de vivienda de la cultura Bolo-Quebrada Seca, a partir del uso de técnicas geofísicas y podológicas, para observar su potencialidad en el estudio de la relación hombre medio-ambiente-cultura en el pasado. Implementando, en un sitio caracterizado por el manejo de los suelos para vivienda y agricultura, técnicas de la geofísica para cuantificar, por observación indirecta, los materiales y propiedades de los suelos del área de investigación, analizando aquellos sitios que mostraron irregularidad (anomalías) en las lecturas y utilizando técnicas de la ciencia del suelo para observar, cualificar y cuantificar sus propiedades físicas y físico-químicas que son el resultado de una serie de procesos y factores que moldearon el suelo que hoy encontramos. De esta forma, se observaron

diversos procesos que vivieron los hombres en el transcurso de su existencia y que sufrieron los restos arqueológicos con su posterior depositación, hasta que fueron desenterrados por las acciones arqueológicas de nuestro equipo de trabajo.

La estructura de la investigación se dio en función de la escala y el tiempo, haciendo énfasis en un sitio de habitación de la cultura Bolo-Quebrada Seca, correspondiéndose con una investigación microespacial y transdisciplinaria, en la cual se da lugar a tres campos diferentes que son los que competen a la llamada arqueología moderna:

El *campo de la intervención interdisciplinaria*, donde se cruzan métodos y técnicas de la ciencia del suelo y la geofísica; el *campo de la intervención arqueológica*, basada en la prospección con sondeo y la excavación sistemática y el *campo de intervención histórico-arqueológica*, que consiste en el proceso de la conversión de la conclusión arqueológica en histórica. Estos tres campos permiten determinar secuencias y espacios estructurados, definir procesos depositacionales y posdepositacionales y establecer tipologías relativas (Figura 2).

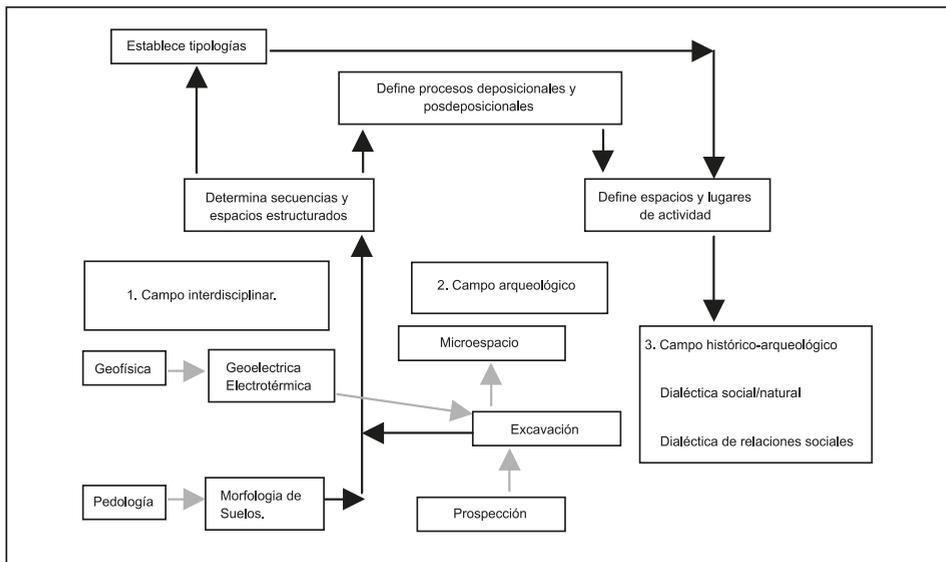


Figura 2.

Campos metodológicos utilizados en la investigación arqueológica del sitio Univalle 4A

El objetivo del *campo interdisciplinario* era obtener información desde la superficie sobre las propiedades físicas de los suelos y relacionarla con la información de las propiedades físico-químicas del suelo, obtenidas directamente. Para esto se utilizaron técnicas tanto de la geofísica como de la geoelectrica, que aportan información, a partir de mediciones en superficie, de

las variaciones en los suelos; igualmente de la electrotérmica que nos suministra importantes datos a partir del análisis del comportamiento térmico del suelo y de su cantidad de energía potencial.

Por medio de estos métodos se puede detallar la localización, extensión y carácter del terreno modificado, en el cual, los análisis magnéticos de los suelos y sedimentos arqueológicos pueden ser usados para examinar las variaciones en los procesos formadores incluyendo regímenes climáticos pasados; correlacionando los niveles estratigráficos, las secuencias y los paleosuelos (Rapp and Hill 1998; Zúñiga 2001). El aporte de la geofísica está representado en la ubicación de áreas de actividad antrópica en el pasado desde la superficie, a partir de la técnica de prospección geoelectrica y su posterior comprobación desde la electrotérmica. Por su parte, la contribución de la ciencia del suelo se da por la interpretación de la morfología y por ende de la génesis del suelo a partir de la descripción del perfil de suelo al cual se le realizaron análisis físicos y físico-químicos, tanto en campo como en laboratorio.

Respecto al *campo arqueológico*, es necesario anotar, que con la utilización de las ciencias aplicadas, se puede establecer tipologías que permiten definir espacios y lugares de actividad cultural, los cuales pueden ser posteriormente excavados con seguridad, complementando la información obtenida de las ciencias aplicadas y así se pueden determinar secuencias y espacios estructurados que llevan a definir procesos deposicionales y posdeposicionales que permiten llegar a definir lugares de actividad. En el sitio arqueológico Univalle 4A, se realizó prospección geofísica complementada con la prospección arqueológica, y posteriormente se excavó el sitio reconocido por estas técnicas.

Una vez definidos los espacios y lugares de actividad, se llega al *campo de la actuación histórico-arqueológica*, donde se representa la dialéctica entre lo social - natural con las relaciones sociales. En términos generales, los resultados geofísicos y pedológicos fueron comparados, evaluando su potencialidad en cuanto a la optimización de esfuerzos y a la interpretación de la relación hombre-medio ambiente-cultura, con el fin de establecer los paleoambientes asociados con los aspectos socioculturales, a partir de la descripción y el entendimiento de sus ambientes. Con ello se aportó información adicional sobre el pasado ambiental y cultural de las comunidades, componente vital para la interpretación de los contextos arqueológicos que permite evaluar los procesos de formación de los sitios.

MÉTODOS Y TÉCNICAS GEOFÍSICAS Y GEOARQUEOLÓGICAS

LA GEOELÉCTRICA

La geoeléctrica es un método geofísico que permite estudiar, por medio de mediciones en superficie, la distribución en profundidad de alguna magnitud electromagnética. Entre ellas, y hasta ahora, se estudia el comportamiento de la magnitud de distribución en el suelo de la resistividad eléctrica ρ . (Zúñiga 2001).

Usualmente, este método se ha implementado en los estudios para la localización de aguas subterráneas, geotecnia, para analizar las propiedades físicas de suelos: Humedad gravimétrica, compactación y salinidad de suelos, Balance hídrico: Suelo- Planta - Parámetros de Riego, y localización de sitios de vivienda y de enterramientos de tipo arqueológico.

El padre de la geoeléctrica fue Konrand Schlumberger, quien en 1913 descubrió el primer yacimiento de sulfuros de boro (mineral no magnético), por medio de la polarización espontánea, y alrededor de 1915, Frank Wenner y Schlumberger independientemente, idearon el dispositivo de cuatro electrodos que será la base de la técnica geoeléctrica moderna.

EL MÉTODO

De acuerdo con Zúñiga (2001), si se pasa una corriente eléctrica de I amperios, por un objeto, y la potencia se reduce V voltios, la resistencia ρ del objeto se calcula por la ley de Ohm.

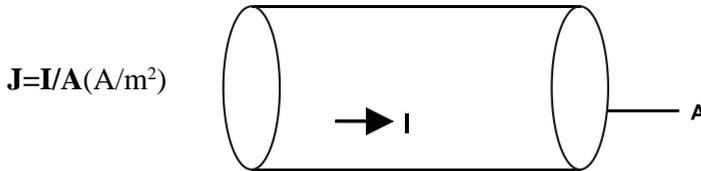
$$R=V/I$$

R= Resistencia

I= Corriente (Amperios)

V= Voltaje (Voltios)

Si el objeto que se tiene es un conductor alargado y homogéneo de forma cilíndrica de área A por el cual circula una corriente I , la densidad de corriente J sería:



Si denominamos : $R = L/\lambda A$

L = Largo A = Sección λ = Conductividad

Entonces: $V= RI$,

Donde: $R=L\rho/A$, con $\rho=1/\lambda$,

Donde λ es la Resistividad eléctrica de la materia, inversa a la conductividad eléctrica . Por lo tanto, la Resistividad eléctrica sería:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \rho = \frac{A}{L} R$$

Con lo cual R es el factor geométrico que depende de la forma del objeto y la disposición de los electrodos utilizados para pasar la corriente y medir el voltaje. En la superficie de la tierra, “el objeto” es un plano infinito, donde los geofísicos utilizan varias configuraciones de electrodos.

Los métodos geoeléctricos se clasifican en método de campo natural y método de campo artificial y ambos son una medición cualitativa del campo eléctrico: Con el método de campo natural se mide la diferencia del potencial espontáneo, y es utilizado comúnmente en yacimientos de sulfuros y de óxidos de hierro; en el método de campo artificial o método de los cuatro electrodos se crea un campo eléctrico artificial y se excita electródicamente el suelo, utilizando dos electrodos de corriente y dos de potencial.

LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La resistividad eléctrica λ , es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso por un material determinado, donde los registros responden a una combinación entre la humedad, la concentración de iones

solubles y el tipo físico del suelo, siendo regida por el número y la movilidad de su carga libre (es decir, los iones solubles). La profundidad de la respuesta eléctrica es proporcional al volumen semiesférico con un radio igual al espacio de la corriente y el potencial. Sus unidades en el sistema internacional (SI), es Ohmio - Metro.

Existen pocos estudios sobre distribución de resistividad aparente en cuerpos tridimensionales heterogéneos. Para medir la resistividad es usual realizar: Sondeos Eléctricos, y perfiles eléctricos. A partir de los sondeos, se mide la variación vertical en la resistividad de capas horizontales diversas, el objeto es deducir la variación de la resistividad con diversas profundidades en un punto dado sobre la superficie terrestre y correlacionarlo con la información geológica para inferir la profundidad y la resistividad de las capas presentes, en el método convencional se mide el potencial causado sobre la superficie por una corriente aplicada externamente. La profundidad de penetración obtenida con el método depende principalmente de la separación de los electrodos de corriente. Con el Perfil eléctrico se detectan variaciones laterales en la resistividad, esto se hace cuando las capas y horizontes son verticales, más que horizontales.

EL MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS: ARREGLO WENNER (CALICATAS ELÉCTRICAS)

El procedimiento general de medición consiste en colocar cuatro electrodos alineados y espaciados (dos de corriente y dos de potencial) en la superficie de la zona de estudio. Luego se hace circular una corriente pulsante por el suelo entre los dos electrodos exteriores (AB), y con los electrodos interiores (MN) se mide la diferencia de potencial, la cual es directamente proporcional a la resistividad del suelo (Figura 3).

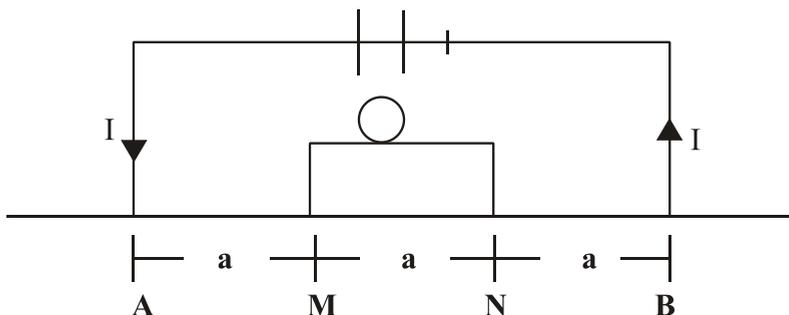


Figura 3.

Configuración de un dispositivo de cuatro electrodos para estudios de prospección arqueológica.

Básicamente está conformado por dos circuitos independientes, el primero se denomina circuito de corriente, de emisión o de alimentación, representado en los electrodos **A** y **B** los cuales van unidos por medio de cables procedentes desde un generador eléctrico, provisto de un amperímetro que mide la corriente **-I**-, el segundo circuito es de potencial, de recepción o de medición, en el cual los electrodos **M** y **N** están unidos a un voltímetro que permite medir la diferencia de potencial entre ellos-**V**-.

Para estudiar cómo la resistividad eléctrica ρ cambia verticalmente, se aumenta la separación entre los electrodos progresivamente, tomando medidas en cada nueva separación, esto se llama un sondeo eléctrico y con él se obtiene la resistividad de varias capas u horizontes. Para estudiar el cambio horizontal, se conserva la separación de los electrodos entre punto y punto, y se toman medidas con la misma separación de los electrodos en cada punto, ésto se llama una calicata eléctrica y con ella se obtiene la resistividad de una capa u horizonte predeterminado, permitiendo estudiar los posibles cambios o anomalías en la resistividad eléctrica a lo largo del horizonte o la capa.

En un dispositivo, si se conoce las distancias mutuas entre los electrodos y se mide la intensidad **I** que pasa por los electrodos **A** y **B** y la diferencia de potencial ΔV que aparece entre **M** y **N**, se puede calcular la resistividad aparente ρ mediante una ecuación de tipo:

$$\rho = k * (\Delta V / I)$$

Donde **k**, es una constante que depende de la geometría del dispositivo electródico y cuyas dimensiones son de longitud.

ΔV = Incremento del voltaje

Si las distancias entre los electrodos contiguos son iguales

$$AM = MN = NB = a$$

Se tiene el dispositivo de Wenner. En este caso la constante **k** tiene un valor:

$$K = 2\pi a$$

Donde **k** se denomina constante de Wenner. (la constante π es el número **Pi = 3.14**)

Sustituyendo el valor de **k** tenemos:

$$\rho = (2 \pi a) * (\Delta V / I)$$

En el campo utilizamos un dispositivo como el de la figura 3, donde la distancia electródica (**a**) es la misma. En este caso decimos que hemos realizado una Calicata Eléctrica a una profundidad determinada para estudiar los posibles cambios o anomalías en la Resistividad Eléctrica en el espacio.

En el caso del dispositivo tipo Wenner, la expresión para la Resistividad Eléctrica es, la siguiente:

$$\rho = K_w \Delta V / I = 2\pi a \Delta V / I = 2\pi a R_E$$

Donde R_E es la resistencia leída en el georesistímetro; **a**, la distancia electródica y K_w , la constante geométrica de Wenner cuando no se considera la longitud de penetración de los electrodos.

Las calicatas eléctricas se realizaron en el campo desplazando los electrodos simultáneamente y manteniendo la distancia electródica **a** constante. La resistividad eléctrica del suelo λ a una profundidad **a** se calcula a partir de la expresión anterior (Figura 4).



Figura 4.

Dispositivo de geoelectrica (Resistivímetro) para mediciones en campo.

APLICACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE RESISTIVIDAD

Los datos pueden ser presentados en dos formas para el propósito de la interpretación: perfiles y mapas. En el caso del sondeo eléctrico con una configuración electródica expandible es usual presentar los resultados como una serie de graficas (curvas), expresando la variación de ρ con el incremento de la separación de los electrodos. Estas curvas representan, cualitativamente, la variación de la resistividad en profundidad.

En el caso del perfil eléctrico con un electrodo constante, los datos pueden ser presentados como gráficos mostrando la variación en la resistividad, o como un contorno, mostrando las líneas de igual resistividad.

La resistividad depende de las propiedades físicas del material, así, varía de acuerdo a la concentración iónica, humedad del suelo, salinidad, temperatura y porosidad (Zúñiga *et al.* 2003b). Así, en la figura 5 se presenta la variación de la resistividad con respecto a la concentración iónica.

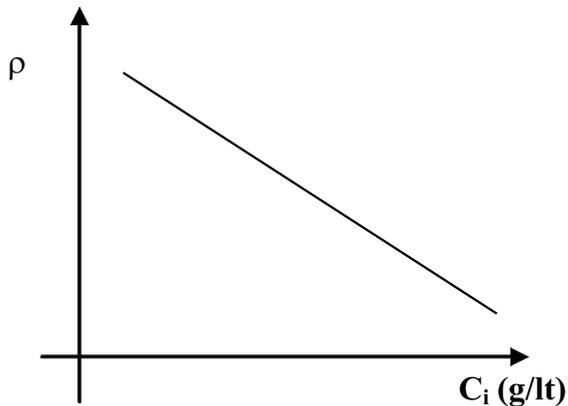


Figura 5.
Resistividad como función de la concentración iónica (C_i).

RESISTIVIDAD Y HUMEDAD DEL SUELO

El agua disuelve las diferentes sales que están presentes en algunos suelos. Al aumentar la humedad del terreno, disminuye su resistividad (Figura 6).

Este criterio se utiliza para medir la humedad del suelo a partir de la medición de la resistividad aparente del suelo.

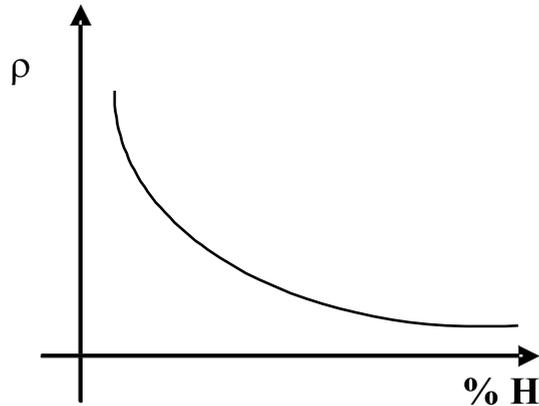


Figura 6.
Resistividad como función de la humedad.

RESISTIVIDAD Y SALINIDAD DEL SUELO

La resistividad del suelo es directamente proporcional a la concentración de sales disueltas en él, dado que afectan la conductividad eléctrica y la medida del pH; adquiriendo un menor valor (más ácido) a mayor cantidad de sal. A partir de calicatas eléctricas es posible levantar mapas de salinidad de suelos y diseñar estrategias de mejoramiento al nivel regional.

RESISTIVIDAD Y TEMPERATURA

Existe una relación entre la resistividad eléctrica del suelo y la temperatura, lo cual expresa fenómenos de agitación térmica del suelo sometido a diferentes intensidades de brillo solar (Tabla 1). Se encuentra en términos generales (Zúñiga *et al.* 2002):

$$\rho = 1/T \quad \text{donde } T = \text{Temperatura del suelo}$$

RESISTIVIDAD Y POROSIDAD DEL SUELO

De acuerdo a la ley de Archie (en Zúñiga *et al.*, 2003a):

$$\rho = \rho_w (1/\theta^n S^m)$$

n : Es un parámetro de cementación

ρ_w : Es la resistividad del agua

S : Es la saturación de los poros

m : Exponente de saturación

Tabla 1

.RESISTIVIDADES DE ALGUNOS MATERIALES (OHM-M)

Materiales	Resistividades (ohm-m)
Agua de lagos y Manantiales	1000 a 3000
Agua dulce superficial	100 a 1000
Agua Subterránea	20 a 100
Agua salobre	1 a 10
Agua Marinas	0.2 a 1.0
Arcillas	2 a 20
Gneis(alterado)	100 a 1000
Gneis (sano)	1000 a 10000

LA ELECTROTÉRMICA

La temperatura del suelo es uno de los factores más importantes en los procesos físicos, químicos y biológicos, siendo los mecanismos de transferencia de calor la capacidad calorífica volumétrica, la conductividad térmica (que dependen principalmente de las proporciones relativas de sólido, líquido, aire y la composición de la fase sólida), y la difusividad térmica (Porta *et al.* 1994). Estos mecanismos son tan complejos que presentan dificultades a la hora de medir la conductividad térmica. Por ejemplo, al incrementarse el contenido de agua en el suelo, aumenta la capacidad calorífica, es decir que un suelo húmedo requiere más calor para aumentar la temperatura que si estuviese seco. La medición de la temperatura cobra importancia por ser un factor de control de la intensidad de una serie de procesos que suelen alcanzar un máximo dentro de un cierto intervalo de temperaturas.

Es importante medir la conductividad térmica que se refiere a la capacidad del suelo para transferir calor por conductividad molecular; es decir, la cantidad de calor (**J**) transferida por conducción en la unidad de tiempo (**s**). Dado que el calor se transfiere de los puntos de mayor a menor temperatura.

Así pues, la conductividad térmica (λ), es una propiedad física diferente en cada material porque depende de su composición y arreglo; entonces, su análisis permite evaluar la estructura del suelo, proporcionando una visión real de su dinámica, tanto a nivel de compactación como de contenido de materia orgánica (Zúñiga 2001). En el suelo, a partir de este método se puede diferenciar grupos estructurales con una alta significancia, obteniendo diferencias en su utilización.

Reyes y Viera (2001) en su tesis de pregrado “*Efecto de Cuatro Sistemas de Labranza en la Compactación de un suelo vertisol de Palmira (Valle) y su Relación con el Comportamiento Térmico*”, asesorados por el profesor Orlando Zúñiga, desarrollaron la sonda electrotérmica como una herramienta útil, práctica y confiable para estudiar el comportamiento de distintos materiales debido a la excitación térmica de los mismos, reportando que esta propiedad

física depende de características como: densidad aparente, porosidad, humedad volumétrica, materia orgánica y textura, donde la conductividad térmica puede ser utilizada como indicador confiable del estado de compactación del suelo, y que al complementar la información obtenida con el conocimiento de estas propiedades tanto físicas, químicas como biológicas, se puede inferir de una manera integra y más acertada sobre el verdadero estado de degradación del suelo.

De acuerdo a Montenegro y Malagón (1990), la proporción de las conductividades térmicas del aire, agua y cuarzo es de 1:23:352, lo que lleva a inferir que algunas características dadas por la conductividad térmica son por ejemplo: los cambios estructurales que reducen la porosidad, dando como resultado un incremento en la conductividad térmica; esta aumenta significativamente con el aumento del contenido de agua, en un suelo con estructura fija. La conductividad también depende de la distribución de partículas, puesto que la arena presenta mayor conductividad que el limo y este a su vez mayor que la arcilla (arena > limo > arcilla).

Para medir las propiedades térmicas del suelo se utiliza la electrotérmica, en ella se utiliza una fuente de calor producida por una corriente eléctrica continua que circula por una resistencia eléctrica (sonda térmica). La resistencia eléctrica libera energía térmica, generando una transferencia de calor a las muestras de suelo no alteradas que se encuentran en un cilindro. La sonda térmica va acoplada a una interfase que a su vez genera datos de temperatura en intervalos de tiempo, bajo el programa Data Monitor. En el circuito de corriente continua, se tienen medidores de voltaje y corriente (Figuras 7, 8, 9)

Este método permite encontrar la relación entre la energía potencial eléctrica perdida en un elemento resistivo y el calor ganado por el sistema calorímetro más el agua, y permite determinar el estado estructural de compactación e inferir la presencia de la materia orgánica de los suelos a partir del análisis del comportamiento térmico, claro está que depende de la composición mineral, la fracción de volumen de agua y aire y el contenido y tipo de materia orgánica.

Hasta el momento el dispositivo ha sido utilizado por el Laboratorio de Física Ambiental de la Universidad del Valle, en la determinación de la conductividad térmica de suelos, líquidos y alimentos como indicador del estado de compactación del suelo, indicador del contenido de materia orgánica, indicador de la actividad microbiana del suelo, diferenciación de cultivos orgánicos, convencionales y en transición e indicador de calidad de alimentos, además se ha utilizado en la evaluación de la calidad de productos bajo manejo orgánico, convencional y de transición. Se reportan hasta el momento experiencias en maracuyá, banano, tomate y pitahaya (Zúñiga 2001; Zúñiga *et al.* 2003a; Zúñiga 2004).

EL MÉTODO

La técnica electrotérmica utiliza, como fuente de calor es una resistencia eléctrica por la cual fluye una corriente continua; la energía térmica disipada en la resistencia genera una transferencia de calor al suelo el cual se encuentra dentro de un cilindro portador (Zúñiga *et al.* 2001). Consiste en aplicar una diferencia de potencial V , constante en el tiempo, a través de una resistencia R y medir la corriente I que circula por ella (Zúñiga *et al.* 2003a; Reyes y Viera 2001).

La potencia disipada en la resistencia es $\Delta V I$ (cambio de voltaje por corriente), en un tiempo t , la energía térmica entregada al suelo es $V \Delta I t$ y esta eleva la temperatura del suelo, es decir, se puede estudiar el comportamiento térmico del suelo a partir de una medición de ΔV , I y t . Para procesar las muestras en el laboratorio se utilizó un sistema compuesto por los siguientes elementos: a) una sonda electrotérmica dentro de la cual se haya un cilindro de cobre rodeado por una resistencia; b) un circuito compuesto por fuente eléctrica, un voltímetro y un amperímetro; c) una termocupla; d) una interface; e) un PC con el software “DATA MONITOR” y f) un cilindro de acero (5 x 5 cm) con muestra de suelo, donde se inserta la termocupla hasta 2.5 cm. El conjunto se ubica en el cilindro de cobre dentro de la sonda electrotérmica (Figuras 7, 8, 9).

Una vez instalados los implementos se procedió a calibrar la sonda electrotérmica en el programa “DATA MONITOR” donde se genera la curva característica Temperatura Vs Tiempo. Durante el funcionamiento del equipo se registraron los datos de voltaje (V) y corriente (I).



Figuras 7

Montaje para evaluar la conductividad térmica del suelo (λ).

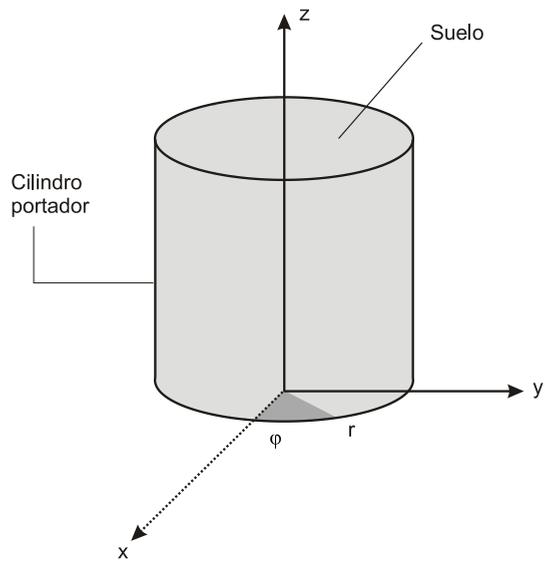


Figura 8



1. Sonda eletrotérmica
2. Cilindro con muestra de suelo
3. Cilindro de cobre rodeado por resistencia
4. Aislante térmico
5. Tapa
6. Conectores a las fuentes de portencia

Figura 9

A partir de la curva Temperatura Vs Tiempo se obtuvo la curva ΔT y en el programa "ORIGIN 7.0" se busca el polinomio de la curva donde la ecuación es:

$$\lambda_1 = \frac{VI}{4\pi} * \frac{c}{b^2}$$

Donde, λ = Conductividad Térmica del suelo (Cal/cms. °C)
 c y b = Factores del polinomio de la curva
 V = Voltaje (voltios)
 I = Corriente (Amperios)

Las unidades obtenidas son calorías/cm s °C. y para pasarlo a calorías/cm, al resultado se le multiplica por el incremento de la Temperatura (ΔT) y el intervalo de tiempo así:

$$\lambda = \lambda_1 * \Delta T * \Delta t$$

Donde, ΔT = Incremento de la Temperatura
 λ = Conductividad térmica del suelo (Cal/cm).
 Δt = Incremento en el tiempo.

ESTIMACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA DEL SUELO

La actividad microbiana del suelo depende de factores que determinan las condiciones de ese medio, como la estructura y porosidad, la presencia de oxígeno, rangos de temperatura, humedad, y disponibilidad de nutrientes, entre otros (Burbano 1989). En este caso es importante la intervención de algas, hongos, bacterias y actinomicetos, en la formación y estabilización de agregados. Estos organismos a través de sus propios materiales o de materiales orgánicos transformados por ellos mismos ayudan a mantener los agregados del suelo estables, de manera más efectiva que los iones presentes en el suelo (Montenegro y Malagón 1990).

La actividad microbiana puede estimarse por diferentes vías como: tasa de respiración (consumo de O₂ y emisión de CO₂), producción de ATP, biosíntesis de macromoléculas, producción y liberación de calor, transformaciones específicas como: amonificación, consumo de sustrato o acumulación de productos, actividad enzimática total y específica, tasa de mineralización de C, N, P y S, dinámica de la materia orgánica y del humus, densidad poblacional,

biomasa, reacciones químicas específicas y observaciones microscópicas “In Situ” (Siqueira *et al.* 1994; Reyes y Viera 2001).

Evaluaciones sobre actividad microbiana en el suelo sugieren que la producción de CO₂ es buen indicador. El CO₂ lo liberan los microorganismos al realizar funciones metabólicas fundamentales como es la obtención de ATP. Mientras mayor sea la cantidad del gas liberado, más elevada es la actividad y viceversa (Burbano 1989). La producción acumulada de CO₂ en suelos incubados es uno de los métodos para estimar actividad microbiana, bajo la premisa que el C es removido en forma gaseosa (CO₂) como punto final de la mineralización de este elemento por los microorganismos (Gómez 1997).

La ventaja de medir CO₂ y no O₂ es que el primero indica la actividad de microorganismos aerobios y anaerobios. Las medidas de CO₂ son más sensibles debido a que la concentración atmosférica de CO₂ es solamente 0.035%, contra 20% de O₂ (Paul y Clark 1989). La alta actividad microbiana está relacionada con las características físico – químicas del suelo, condiciones ambientales y producción de algunas sustancias que la estimulan, como: exudados de las raíces, enzimas, azúcares, hormonas, etc. (Barea y Azcón 1982).

LA RESERVA ENERGÉTICA DEL SUELO (RES)

La reserva energética del suelo es un indicador cuantitativo de la calidad del suelo y permite diferenciar el efecto de las labores agrícolas desde un enfoque energético y holístico (Gómez *et al.* 2004; Zúñiga *et al.* 2003b; Reyes y Viera 2001; Rojas 2002),

Para obtener la reserva energética, se toman los datos de conductividad térmica y se le suma la información de la actividad microbiana del suelo; este análisis es importante como indicador cuantitativo de la energía de reserva del suelo, de su riqueza guardada para futuros procesos productivos y para los ciclos naturales del suelo (Rojas 2002). De acuerdo a los conceptos de la física clásica en cuanto al flujo de energía, la relación entre actividad microbiana y la conductividad térmica puede expresarse así:

Energía mecánica Total (ET) = Energía Cinética (Ec) + Energía Potencial (Ep)

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \lambda & = & \text{AMS} & + & (\text{C-Org+BMS+MOF}) \end{array}$$

Donde,

$$\begin{array}{l} E_p + E_c = ET \\ E_p + \text{AMS} = \lambda \end{array}$$

λ	=	Conductividad térmica del suelo (Cal/cm).
AMS	=	Actividad Microbiana del Suelo
C-org	=	Carbón Orgánico (humus)
BMS	=	Biomasa Microbiana del Suelo (C microbiano)
MOF	=	Materia Orgánica Fresca

Así, la energía mecánica total equivale a la sumatoria entre energías cinética y potencial; en el efecto joule el foco de energía mecánica es el calor, entonces la conductividad térmica del suelo (λ), es la energía mecánica total correspondiente al flujo de calor transmitido al suelo en el método electrotérmico (Zuñiga 2001). La actividad microbiana del suelo (AMS), se relaciona con la energía cinética pues implica movimiento de partículas, gasto y obtención de energía, y el carbono orgánico (MO = 1.72 * C-org), o humus y la biomasa microbiana (C microbiano) se relacionan con la energía potencial pues son almacenamiento o **Reserva energética total del suelo (RES)**, a corto y largo plazo y hacen parte del carbono total del suelo.

$$C \text{ total del suelo} = BMS + MOF + C\text{-org}$$

Donde:

Si consideramos la energía del movimiento mecánico del suelo en interacción con una fuente de calor externa (**Q**) producida por una corriente eléctrica, la energía mecánica de este sistema no conservativo se puede expresar en función de una energía cinética E_c y su energía potencial E_p , con una expresión Microscópica del suelo, correspondiente a la cinética de la actividad microbiana (AM) del suelo medido por medio de la respiración (Zúñiga 2004):

$$E_c = \sum_{i=1}^k \frac{m_i v_i^2}{2} = \sum_{i=1}^k P^* AM_i$$

Donde: E_c = Energía Cinética. AM_i = Actividad Microbiana

Donde la energía potencial del suelo es igual a la suma algebraica de las energías potenciales W_{ik} de las interacciones de todos los pares de puntos posibles del sistema suelo y representa la reserva energética activa del suelo (REAS).

$$EpINT = \sum_{i=1}^n \sum_{k>1}^n Wik = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{k>1 \\ k \neq i}}^n Wik$$

Donde: EpINT = Energía Potencial interna. Wik =Energías potenciales.

Igualmente el calor externo Qext producido por una sonda térmica externa al suelo se puede cuantificar a partir de la medición de la conductividad térmica del suelo (λ).

$$\sum_{i=1}^k P^* AMi + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k>1}^n Wik = q\lambda$$

Donde: $q\lambda$ = constante multiplicada por la conductividad térmica del suelo.

Así, el carbono total del suelo constituye la reserva energética total del suelo (RETS) y puede interpretarse con dos componentes: uno activo y otro “pasivo” de movimiento más lento.

De acuerdo con Zuñiga (2004), el componente activo hace referencia a las fuentes de energía de la materia orgánica fresca o “lábil” originada por la descomposición de restos vegetales, animales y de la masa obtenida por síntesis microbiana (biomasa microbiana). Esta fracción es la fuente de energía más disponible y sensible a cambios que se produzcan en el agroecosistema. Puede denominarse como reserva energética activa del suelo (REAS).

$$REAS = q\lambda \sum_{i=1}^k P \times AM$$

$$\mathbf{REAS = BMS + MOF}$$

Donde: P = componente pasivo

El componente “pasivo” se refiere a las fuentes de energía de la materia orgánica transformada o “estable” resultante de la descomposición avanzada de residuos orgánicos y sustancias exclusivamente húmicas. Esta fracción puede denominarse Reserva energética pasiva del suelo (**REPS**).

$$\mathbf{REPS = Corg}$$

Dentro de REAS la biomasa microbiana puede denominarse reserva energética microbiana del suelo (**REMS**). Esta es susceptible a los cambios que

ocurren en el suelo y mediante su medición se pueden establecer diferencias entre diversos tratamientos que se pretendan evaluar, como se ha observado.

De acuerdo a análisis realizados en trabajos previos (Gómez *et al.* 2004; Zúñiga *et al.* 2002; Reyes y Viera 2001; Rojas 2002), la conductividad térmica del suelo se relaciona directamente con la actividad microbiana (**AM**) y las reservas energéticas, pasiva (**REPS**), microbiana (**REPMS**) y porcentual microbiana del suelo (**REPMS**)

λf (AMS, REPS, REMS, REPMS)

Esta se constituye en una nueva metodología eficaz, sencilla y económica que permite a partir de lo físico inferir sobre lo biológico, obtener información acerca de la dinámica energética que tiene lugar en el suelo y tomar decisiones sobre las prácticas agronómicas más aconsejables para potencializar y al mismo tiempo conservar el suelo.

PEDOLOGÍA

Para abordar el estudio de los suelos, se realizó una caracterización morfológica del perfil del suelo, este es un proceso sistemático de observación, calificación y/o cuantificación de algunas propiedades del suelo, y que para este caso específico se observa su génesis, se clasifica taxonómicamente, y se establece su uso y manejo en el pasado. (Jaramillo 2002; Montenegro y Malagón 1990).

El procedimiento consta de un análisis de los perfiles de suelo; teniendo como base los resultados geoelectrónicos. Inicialmente se realizó un muestreo del área de estudio, a partir del cual se obtuvo una descripción inicial de los suelos, base para la determinación de perfiles modales. Basados en Jaramillo (2002), la descripción se realizó sobre cortes de suelo fresco, puliendo la superficie del perfil con un cuchillo, evitando dejar áreas brillantes en él por efecto de raspado, luego se pasó a determinar los horizontes y/o capas maestros presentes en el suelo y a comprobar la presencia de discontinuidades litológicas, observando las características morfológicas macroscópicas que presenta el perfil (color, estructura, textura, etc.); luego se señaló en el perfil los sitios donde se producen cambios en la morfología. Una vez definidos los marcadores estratigráficos, teniendo en cuenta las características subordinadas, se marcaron los sitios donde se produjeron cambios en los horizontes y se estableció la nomenclatura para cada uno de ellos, luego de este procedimiento, se cuantificó y calificó, según el caso, las propiedades físico-químicas, utilizando los términos y definiciones del SSDS (1993) (Figura 10).



Figura 10.
Descripción del perfil del suelo

Para el análisis de laboratorio se tomaron muestras de cada horizonte, realizando un muestreo doble (clásico y con cilindro), a fin de establecer su composición y poder completar la información de suelos (Tabla 2).

EL MUESTREO CLÁSICO

Inicialmente se limpió el perfil tipo, retirando la vegetación que se encontraba encima de éste; luego se definieron los diversos horizontes del perfil. Y una vez definidos los horizontes, se realizó el muestreo en canal, empacando las muestras de aproximadamente $\frac{1}{2}$ kilo de suelo, en bolsas plásticas, empezando desde la parte inferior. El método para la humedad se corresponde con el clásico a nivel mundial y para la actividad microbiana; se realizó teniendo en cuenta las técnicas usadas en el Laboratorio de Física Ambiental de la Universidad del Valle-Sede Meléndez.

LA ACTIVIDAD MICROBIANA.

La metodología para obtener la actividad microbiana de los suelos está basada en la aplicación del Centro de Agrobiología del Brazil (CAB), la cual parte de la hipótesis de que los microorganismos inmovilizan el carbono del suelo y su trabajo se puede medir según la cantidad de CO_2 en $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

El procedimiento es el siguiente: se toman 50 gr de suelo reciente para determinar la humedad. En un tarro de unos 3 o 4 litros se introducen 50 gr de suelo reciente, libre de hierbas, lombrices, hormigas y sin disturbar. En un frasco de vidrio sin tapa y pequeño, se colocan 10 ml de solución de NaOH, el

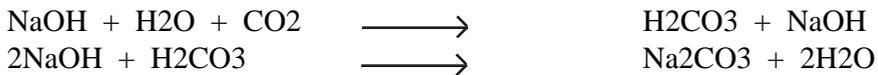
Tabla 2. MÉTODOS DE LABORATORIO UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DE LOS SUELOS.

Determinación	Método (unidades)
Características Químicas	
pH	Potenciométrico en agua 1:1 v:v laboratorio de Suelos (UNAL-Medellín)
Contenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) intercambiables	Extracción con acetato de amonio 1N y neutro laboratorio de Suelos (UNAL-Medellín) (cmol (+/-) kg ⁻¹ suelo)
Contenido de Fósforo (P) disponible	Bray II (ppm)
Contenidos de Fe, Mn, Cu y Zn	Olsen (NaHCO ₃ 0.5N+EDTA 0.01M (pH 8.5)) laboratorio de Suelos (UNAL-Medellín) (ppm)
Contenido de Boro (B).	Extracción con agua caliente- laboratorio de Suelos (UNAL-Medellín) (ppm).
Características Físicas	
Contenido de Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar)	Hidrómetro- laboratorio de Suelos (UNAL-Medellín) (%)
Densidad aparente (DA)	Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (g cm ³)
Espacio poroso Total (EPT)	Membrana de Richards para saturación del suelo. Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (%)
Macroporosidad (MP)	Membrana de Richards para saturación del suelo. Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (%)
Microporosidad (mP)	Membrana de Richards para saturación del suelo. Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (%)
Porosidad total (PT)	Membrana de Richards para saturación del suelo. Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (%)
Índice de Poros (IP)	Membrana de Richards para saturación del suelo. Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (%)
Conductividad térmica (K)	Electrotérmico Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (Cal/cms.°C) *10 ⁻³
Contenido de Humedad) en el suelo (H)	Gravimétrico Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (%)
Características Biológicas	
Actividad microbiana (AM)	Centro de agrobiología del Brasil CAB Laboratorio de Física Ambiental (Univalle) (mg/CO2 gss)
Reserva Energética del Suelo (RES)	Electrotérmico - Laboratorio de Física Ambiental (Univalle)

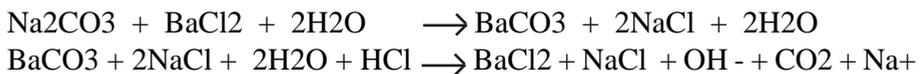
cual va dentro del tarro con el suelo, ésto se tapa a presión y se guarda en un lugar fresco y seco por espacio de siete días, mientras se incubaba. Luego se titula; es decir, al frasco con 10 ml de NaOH, se le agregan 2 ml de BaCl₂ (Blanco) más dos gotas de Fenolftaleina generando un color violeta, a esta solución se le agrega HCl rápido y cuidadosamente, agitando la muestra hasta que tome un tono blanquecino. Finalmente se mide la cantidad de HCl que se utilizó con la titulación (T). Adicionalmente, se toman como mínimo tres testigos (tarros con frascos de vidrio, que contienen 10 ml de NaOH, sin suelo), que se deben titular en el mismo periodo (Figuras 11, 12).

Los siguientes son los procesos que suceden en la metodología descrita (Cadena 1998).

- Durante la incubación:



- Reacciones en la titulación:



La actividad microbiana en términos de CO₂ se determina mediante la siguiente expresión:

$$AMS = \frac{(B - T)NHCl * 0.006}{PSS} 10^6 \mu\text{g CO}_2/\text{gss}. \quad AMS = \frac{(B-T)NHCl * 0.006}{PSS} 10^3 \text{mg CO}_2/\text{gss}$$

Donde:

- | | | |
|-------|---|---|
| B | = | ml de HCl gastados en la titulación del testigo. |
| T | = | ml de HCl gastados en la titulación de la muestra. |
| NHCl | = | Normalidad del HCl utilizado (0.5 N, aproximadamente), para revisar la concentración real de los reactivos. |
| 0.006 | = | miliequivalente del carbono. |
| PSS | = | peso del suelo seco en gramos. |



Figura 11.
Suelo y solución de NaOH.

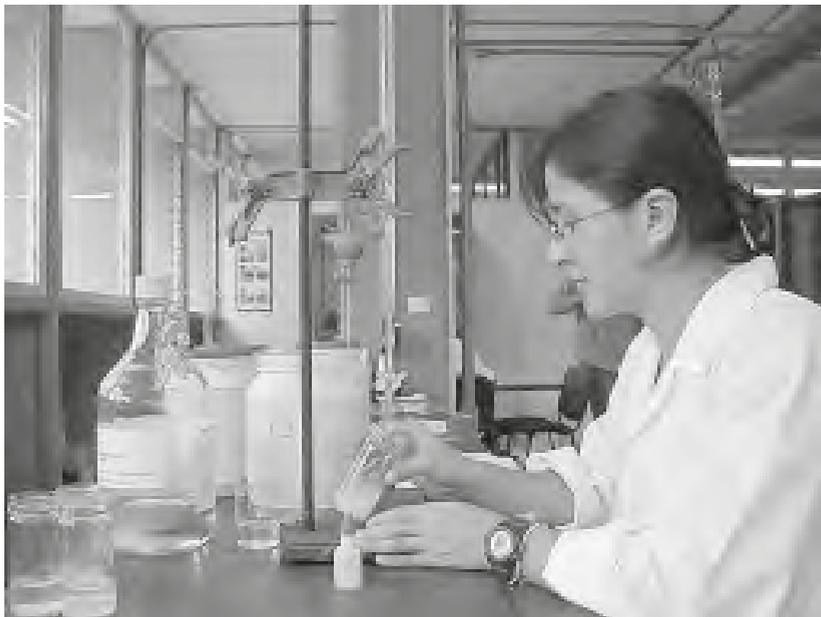


Figura 12.
Titulación de la muestra.

Por su parte, los procedimientos empleados para estudiar la actividad microbiana fueron los siguientes:

MUESTREO EN CILINDRO: MUESTRAS NO ALTERADAS

El perfil del suelo se limpia y con un barreno con filo, dentro del cual se guarda un cilindro en hierro de 5.5 cm de diámetro x 5.0 de altura aproximadamente, se tomó una muestra de suelo en la misma temporalidad (Figura 13). Estos cilindros son sellados para que no pierdan la humedad antes de ser trabajados en el laboratorio y son empleados para determinar la Densidad Aparente, el Espacio Poroso Total, la Macroporosidad, la Microporosidad, y el Índice de Poros.



Figura 13.

Uso del barreno para obtener muestras del perfil del suelo en cilindros.

Los métodos usados para la evaluación de las propiedades físicas del suelo se realizaron de acuerdo a las técnicas usadas en el laboratorio de física ambiental de la Universidad del Valle-Sede Meléndez y fueron:

DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente es la relación entre la masa del suelo y la unidad de volumen aparente del mismo. El volumen aparente incluye el volumen de las partículas sólidas del suelo y el espacio poroso. Los cálculos se hacen a partir de la siguiente expresión:

$$P_a = \frac{M_{SS}}{V_T}$$

Donde:

D_A = Densidad aparente (g/cc)

MSS = Masa del suelo seca a 105° C (g)

VT = Volumen total del cilindro con el que se tomó la muestra de suelo.

ESPACIO POROSO TOTAL: MACROPOROS Y MICROPOROS

El volumen de la fase líquida y gaseosa, o el de esta última si el suelo está seco definen el espacio poroso, para lo cual, también es importante tener en cuenta las propiedades del suelo que en este caso se corresponde con las verticilas. La relación entre el volumen de poros, V_p y el volumen total se define como porosidad (EPT), este término incluye los poros y otros tipos de huecos.

Los poros con un tamaño mayor de 60 μ m (Macroporos) están directamente relacionados con la porosidad asociada a la aireación, poros de tamaño menor de 9 μ m (Microporos), están relacionados con el almacenamiento de agua disponible para las plantas; por último los poros entre 9- 60 μ m son responsables de la conductividad capilar.

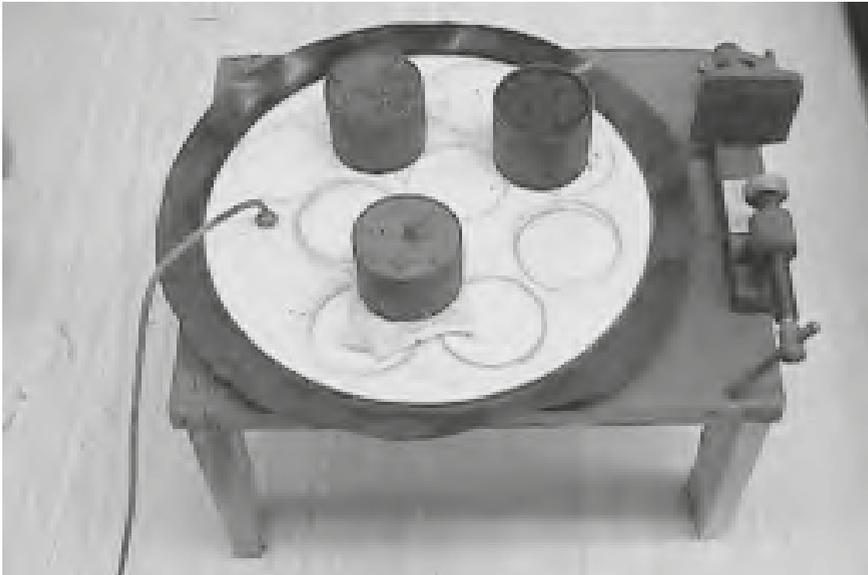


Figura 14.

Membrana de Richards para saturación del suelo.

Para la determinación de las anteriores características se lleva a cabo el siguiente procedimiento: se preparan los cilindros con suelo en recipientes cubriéndolos en la parte inferior con gasa, cuya función es impedir la pérdida de suelo. Estos cilindros se saturan en platos de cerámica de 1 bar (membrana de Richards, Figura 14) por espacio de 48 horas, una vez saturados se pesan, y se procede a dejarlos drenar en el mismo plato, creándole una succión de 100 cm de altura durante 48 horas. Al cabo de este tiempo se pesan los cilindros nuevamente.

Los poros mayores o iguales a 15 μm , que se vaciaron, constituyen los macroporos, mientras que los que no se vaciaron son los microporos. Para finalizar se secan los cilindros en una estufa a una temperatura de 105° C durante 24 horas, con el fin de determinar el espacio poroso total por medio de la siguiente expresión:

$$EPT = \frac{Vp}{VT}$$

Donde:

EPT = Espacio poroso total.

Vp = Volumen de poros, que es igual al volumen de agua en condiciones de saturación (cc).

VT = volumen total del cilindro donde se toma la muestra de suelo (cc).

INDICE DE RELACIÓN DE VACÍOS

La relación de vacíos (e), también es un índice del volumen relativo de poros del suelo, pero en relación con el volumen de los sólidos; y se expresa como:

$$e = \frac{Vp}{Vs}$$

Donde:

e = índice de porosidad (%)

Vp = Volumen de poros.

Vs = Volumen de sólidos.

La ventaja de este índice radica en no cambiar el volumen del suelo, cuando cambia el volumen de poros.

RESERVA ENERGÉTICA DEL SUELO (REAS)

La REAS, es un indicador cuantitativo de la energía de reserva del suelo para futuros procesos productivos y para los ciclos naturales del suelo. Donde, en

las ecuaciones son importantes la conjugación de la conductividad térmica con la actividad microbiana, sin embargo, estas dos variables presentan unidades diferentes como la conductividad térmica (K) expresada en $\text{Cal/cm}^{\circ}\text{C}^*\text{s}$ y la actividad microbiana (AM) expresada en $\mu\text{gC-CO}_2/\text{gss}$.

Para tal efecto, se convierten los $\mu\text{gC-CO}_2$ de la AM a unidades de calorías por medio de una relación entre la energía de la AM con el ATP, en donde $1\mu\text{gATP}$ corresponde a $250\mu\text{gC}$, así la AM queda expresada en un gradiente de Cal/cm . La K expresada en $\text{Cal/cm}^{\circ}\text{C}^*\text{s}$ se multiplica por un factor adimensional de 1.38×10^{-3} , que relaciona los cambios de energía en función del tiempo en que se han llevado a cabo los procesos en laboratorio de simulación de respiración y calentamiento del suelo. Finalmente, la reserva energética del suelo queda expresada en Cal/cm y también se puede expresar por conversiones más sencillas a Cal/Ha .

ARQUEOLOGÍA

El trabajo arqueológico se dividió en varias etapas. Inicialmente, se revisó la bibliografía relacionada con la manipulación del paisaje (geoformas, suelos y sedimentos), por los integrantes del complejo cultural Bolo-Quebrada Seca (800- 1550 d.C); luego se realizó la prospección geoelectrica delimitando un



Figura 15.
Delimitación del área a excavar.

área de 8 m², la cual fue dividida en cuadrículas de 1 m x 1 m (Figura 15). Una vez delimitado el área del corte, se tomaron las medidas pertinentes para hacer microtopografía y posteriormente se procedió a la excavación por niveles arbitrarios de 5 cm utilizando palustres (Figura 16). La información de los contextos y su ubicación espacial, así como todos los elementos culturales encontrados fueron registrados en fotografías digitales, fichas, planos y un diario de campo.



Figura 16.
Proceso de excavación

Posterior al trabajo de campo, en el laboratorio de Arqueología de la Universidad del Valle, se limpió y marcó el material recuperado para facilitar su manipulación (Figura 17). Estas acciones facilitaron la descripción del material cerámico y lítico para su posterior análisis estadístico y clasificación con el fin

de observar la secuencia ordenada de fechas relativas (Figura 18). Luego de realizar este análisis, se verificó la secuencia de los vestigios comparándola



Figura 17.
Análisis del material cerámico



Figura 18.
Limpieza del material arqueológico

con los datos geofísicos y pedológicos, para obtener las tendencias a partir de su continuidad y así caracterizar los suelos que fueron intervenidos por la cultura Bolo-Quebrada Seca. Igualmente, se determinaron posibles funciones de los artefactos a partir del estudio de sus características tecnológicas y del contexto en que se encontraron, utilizando bases de datos donde se consignó información sobre las características tecnológicas, y se elaborarán mapas de distribución de los vestigios y de las características de los suelos.

Además, durante todas las fases de la investigación se realizó un registro fotográfico de los procesos de la investigación. Los resultados de estas actividades en campo y en laboratorio se revisaron y evaluaron críticamente, buscando el orden y la coherencia de los mismos, acciones esenciales para la elaboración de los resultados.

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

**EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE GUACANDÁ,
MUNICIPIO DE YUMBO**

LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y EL MEDIO NATURAL

El cementerio prehispánico de Guacandá se encuentra ubicado al suroccidente del municipio de Yumbo, sobre el piedemonte Oriental de la Cordillera Occidental, en un lote contiguo al barrio Jorge Eliécer Gaitán, donde fue construida la ciudadela “Carlos Pizarro León Gómez”. Durante la adecuación de los terrenos con maquinaria pesada en Julio de 1999 fue descubierto accidentalmente un cementerio prehispánico conformado por veintiuna tumbas, el cual perteneció a comunidades portadoras de la denominada *Cultura Sonso* y cuyas estructuras funerarias fueron construidas en un período histórico de cuatro siglos, entre 1100 y 1500 d.C.

Yumbo es un municipio localizado al sur del departamento del Valle del Cauca con un área total de 233 kilómetros cuadrados, distribuidos entre la parte plana comprendida desde el piedemonte de la Cordillera Occidental hasta la margen izquierda del río Cauca, y la parte montañosa localizada en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental. Se encuentra entre los 3° 03' y 5° 01' de latitud norte; y los 75° 42' y 77° 33' de longitud oeste. Limita al Norte con el municipio de Vijes, al sur con la ciudad de Cali, al oriente con el municipio de Palmira y al occidente con la Cordillera Occidental y el municipio de La Cumbre (Londoño, 1996). Tiene un clima que oscila entre 16 y 24 °C y una precipitación anual entre 1000 y 1500 mm. (Figura 19).



Figura 19.

Foto aérea con la ubicación espacial del cementerio de Guacandá.

Foto No. 15152M-1082. Vuelo del IGAG del 21 de Junio de 1961. Escala: 1:33.000

LOS TRABAJOS REALIZADOS

El primer procedimiento metodológico implementado al llegar al campo, fue el reconocimiento general del sitio, y la recolección superficial de materiales culturales prehispánicos. El estudio de los perfiles correspondientes a los cortes

hechos por la maquinaria al adecuar el terreno para la construcción de las viviendas, así como la realización de sondeos con mediacaña y barreno, nos permitieron identificar el sitio como un cementerio prehispánico. Al estudiar detalladamente unos veinticinco orificios hechos por guaqueros y la gente del sector, logramos identificar trece tumbas prehispánicas que ya habían sido saqueadas. Asimismo, la utilización de métodos arqueológicos convencionales (pruebas de barreno y mediacaña) y calicatas eléctricas permitieron detectar otras ocho tumbas más, las cuales fueron excavadas sistemáticamente por el equipo de arqueólogos y bioantropólogos, recuperando valiosa información y evidencias culturales. Como complemento se efectuó un intenso registro gráfico y fotográfico de todas las actividades tanto de prospección como de excavación.

LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

Con el objeto de verificar los resultados obtenidos con los sondeos de barreno y mediacaña, así como de detectar nuevas estructuras funerarias, realizamos una prospección geoelectrica. La prospección geoelectrica es una técnica geofísica por medio de la cual, a partir de mediciones en superficie, se estudia el comportamiento de la resistividad eléctrica de los suelos. La geoelectrica se utiliza en la Arqueología en general, para la localización de yacimientos antiguos y en nuestro caso específico fue usada con el fin de detectar estructuras funerarias prehispánicas.

La Resistividad eléctrica ρ , es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso por un material determinado. Esta magnitud depende de la naturaleza y estado físico del cuerpo o sustancia considerada. En el caso del cementerio prehispánico de Guacandá estudiamos el comportamiento de los suelos prehispánicos. Al estudiar suelos prehispánicos pueden detectarse alteraciones debido a la presencia antrópica, lo cual se manifiesta en los cambios que se presentan en la resistividad eléctrica del suelo. Cuando realizamos estudios de prospección geoelectrica se efectúan mediciones de estas anomalías o alteraciones.

La composición del suelo no es uniforme, varía de acuerdo a los estratos o perfiles los cuales poseen características muy diferentes. Como consecuencia de la extrema variabilidad que representa la resistividad de la tierra y debido a que esta depende de muchos factores aleatorios, la única manera aceptable de determinar la resistencia específica es mediante mediciones directas para las condiciones presentes en cada sitio. En el cementerio prehispánico de Guacandá se realizaron mediciones geoelectricas en la zona donde logramos ubicar tumbas prehispánicas, la cual con fines metodológicos fue dividida convencionalmente en dos sectores: A y B (Figura 20).



Figura 20.
Levantamiento de calicatas eléctricas en el Sector A.

DISPOSITIVOS EN LA PROSPECCIÓN ELÉCTRICA POR CORRIENTE CONTINUA.

Como se muestra en las figuras 3 y 4 (Capítulo 2) un dispositivo electródico para realizar estudios de prospección geoelectrica en zonas de yacimientos arqueológicos, es un conjunto de electrodos, utilizados para aplicar corriente eléctrica continua al terreno. En esta configuración los electrodos A y B conducen la corriente, I , y los otros dos M y N entre los cuales se mide la diferencia de potencial, V , creadas por los electrodos A y B. Los electrodos A y B van unidos por medio de cables aislados a un generador eléctrico provisto de un amperímetro. Los electrodos M y N son unidos a un instrumento (voltímetro) capaz de medir la diferencia de potencial entre ellos: V . Hay dos circuitos independientes, el primero se denomina circuito de corriente, de emisión o de alimentación, y el segundo circuito de potencial, de recepción o de medición.

En el campo utilizamos un dispositivo como el de la figura 3; es decir, la distancia electródica es la misma: a . En este caso, decimos que hemos realizado una calicata eléctrica a una profundidad predeterminada para estudiar los posibles cambios o anomalías en la resistividad eléctrica. En nuestro caso,

estas anomalías correspondieron a tumbas construidas por los portadores de la cultura prehispánica Sonso (Zúñiga y Rodríguez 1999; Rodríguez *et al.* 2001).

LEVANTAMIENTO DE CALICATAS ELÉCTRICAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE TUMBAS PREHISPÁNICAS.

El área de estudio del proyecto se dividió en dos zonas: A y B. En la zona A se calibró el resistivímetro en el sitio donde aparecieron las tumbas que ya habían sido encontradas por otros métodos de gaaquería. Allí se levantaron 16 líneas y 277 puntos (Zúñiga y Rodríguez 1999; Rodríguez *et al.* 2001). No obstante, las líneas más importantes que presentaron anomalías asociadas con tumbas prehispánicas fueron 6, las cuales aparecen en las figuras 21 y 22. Los resultados sistematizados de estas líneas, los cuales incluyen variables como el número de puntos tomados, la profundidad, el tipo de anomalía y los rangos de resistividad pueden verse en la Tabla 3.

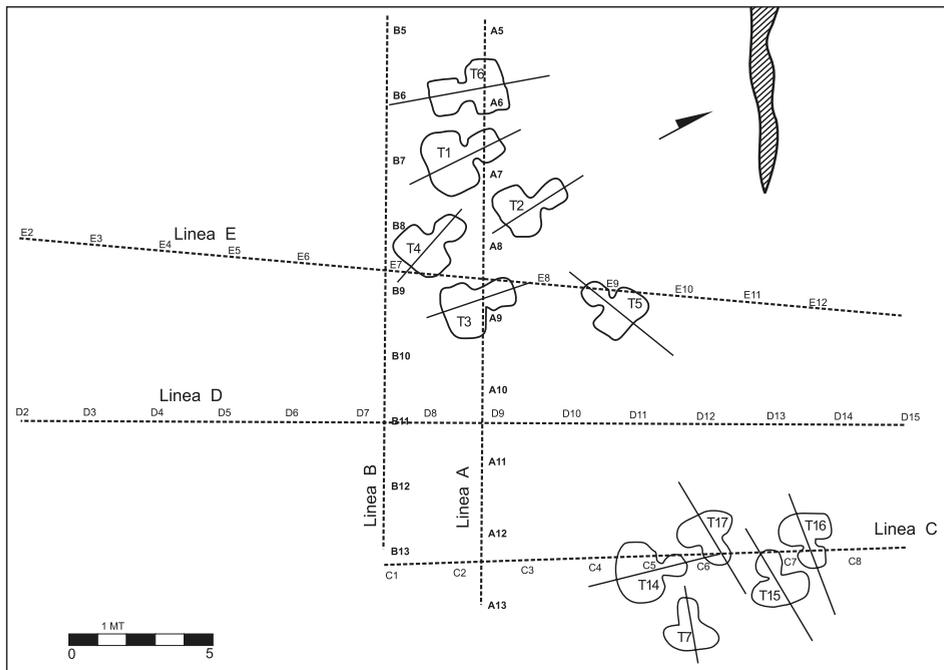


Figura 21.

Localización de las tumbas y las líneas de prospección geoelectrica A, B, C, D y E en el Sector A del cementerio prehispánico de Guacandá.

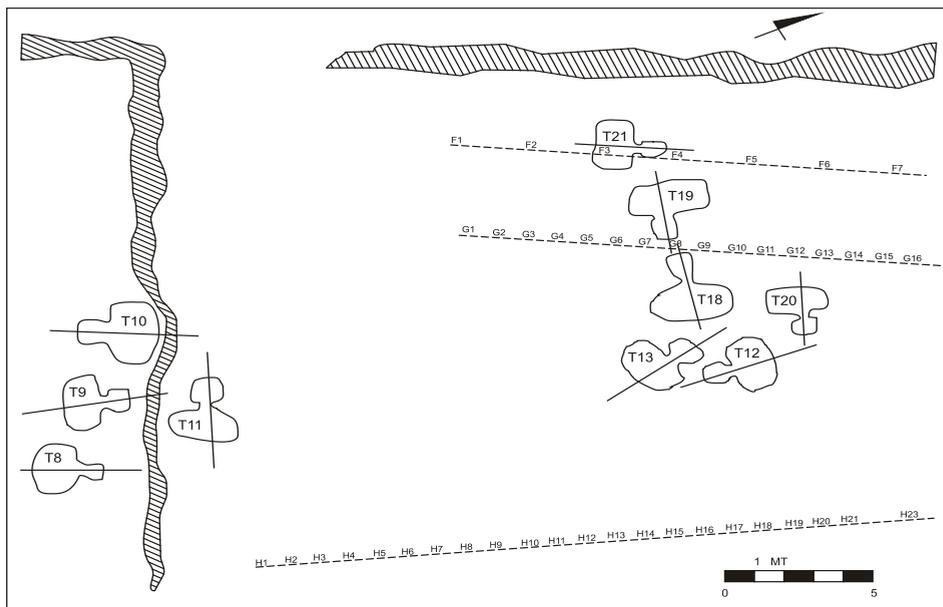


Figura 22.

Localización de las tumbas y las líneas de prospección geoelectrica F, G y H en el Sector B del cementerio prehispánico de Guacandá.

Tabla 3. RELACIÓN DE LAS CALICATAS ELÉCTRICAS REALIZADAS EN LOS SECTORES A Y B DEL CEMENTERIO PREHISPÁNICO DE GUACANDÁ, DONDE SE REGISTRARON ANOMALÍAS RELACIONADAS CON TUMBAS.

ZONA	LÍNEA	PROFUNDIDAD SONDEO (H)	NÚMERO PUNTOS TOMADOS	ANOMALÍAS	RANGO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA
A	A	50 cm.	13	Tumbas 1,3,6	180-200 ohm-m
A	B	50 cm.	13	-	
A	C	50 cm.	13	Tumbas 14, 15, 16, 17	250-350 ohm-m
A	D	50 cm.	15	-	340-380 ohm-m
B	E	50 cm.	10	Tumbas 3, 4, 5	350 ohm-m
B	F	50 cm.	11	Tumba 21	660-770 ohm-m ζ
B	G	100 cm.	20	Tumbas 18, 19	250-350 ohm-m
B	H	100 cm.	25	-	440-500 ohm-m

Como puede notarse en la tabla anterior, los rangos de resistividad donde se presentaron anomalías asociadas con tumbas prehispánicas oscilaron entre 280 y 350 ohm-m. Así por ejemplo, en la Línea C de la Zona A, las tumbas 15 y 17 presentaron una resistividad eléctrica entre 280 y 290 ohm-m (Figura 23).

Una resistividad mayor de 350 ohm-m se registró en la tumba 5 de la Línea E (Figura 24). Mientras en la Línea G de la Zona B las tumbas 18 y 19 presentaron unos rangos de resistividad cercanos a los 300 ohm-m (Figura 25).

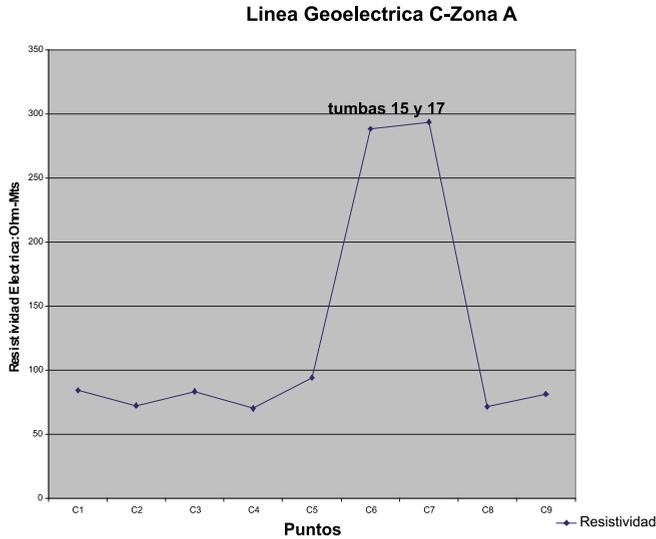


Figura 23.

Puntos tomados en la Línea C. Los picos más altos de resistividad corresponden a anomalías asociadas a las tumbas 15 y 17.

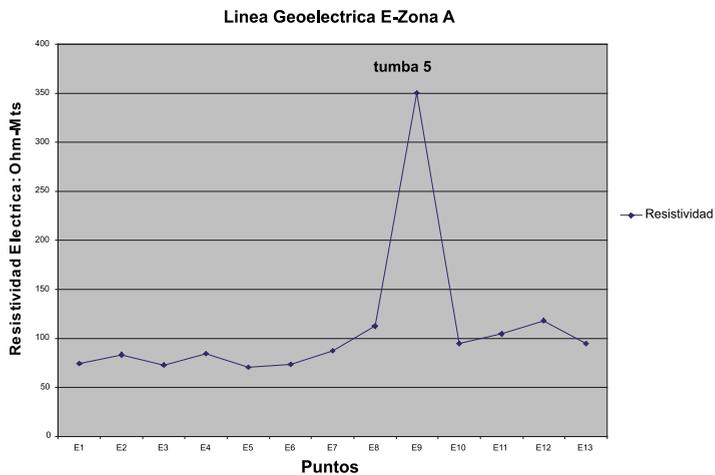


Figura 24.

Puntos tomados en la Línea E. El pico más alto de resistividad correspondió a anomalías asociadas a la tumba 5.

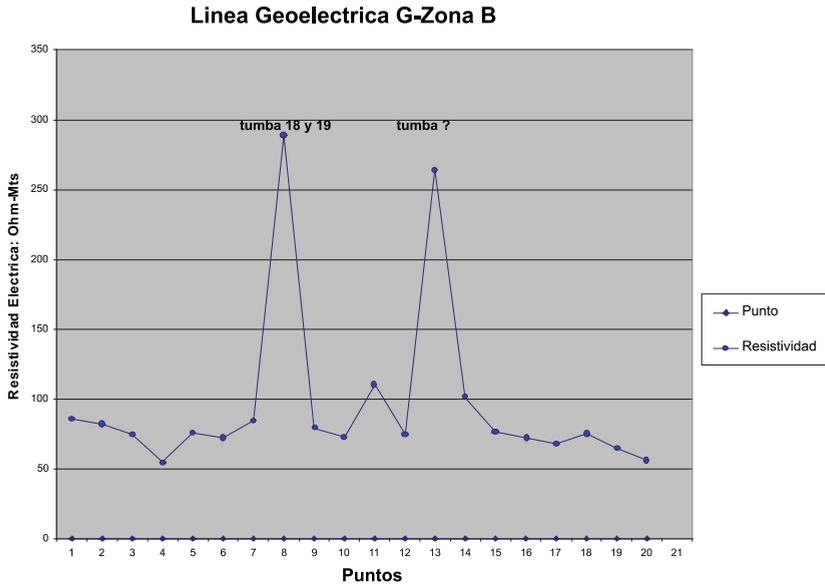


Figura 25.

Puntos tomados en la Línea G de la Zona B. El pico más alto de resistividad correspondió a anomalías asociadas a las tumbas 18 y 19.

ESTRATIFICACIÓN NATURAL Y CULTURAL DEL SITIO

Los estudios estratigráficos del sitio se realizaron de dos formas. En primer lugar, hicimos el levantamiento del perfil occidental del barranco que había sido excavado por la máquina retroexcavadora para aplanar el lugar, con el objeto de realizar la construcción de las viviendas. Por otro lado, también fueron estudiados los perfiles de los pozos de las tumbas. En general, en ambos lugares logramos identificar y diferenciar claramente los siguientes estratos naturales y culturales, variando solamente la profundidad de cada uno de ellos (Figura 26).

Horizonte A. 0-55 cm. de profundidad aproximadamente. Correspondió a una capa de relleno con gravilla de color oscuro, la cual se formó al acumularse los residuos de tierra arrojada durante la construcción del ferrocarril del Pacífico, cuya distancia es de unos 20 metros encima del nivel superior del perfil.

Horizonte Apb1. 55-85 cm. de profundidad aproximadamente. Primer horizonte antrópico de color negro debido a la alta concentración de material orgánica producto de la actividad cultural. Presentó intrusiones blancas y algunos moteados amarillos en su parte inferior. Sus límites inferior y superior eran medio abruptos, evidencia seguramente de actividad humana. No se encontró material cultural.

Horizonte Apb2. 85-142 cm. de profundidad aproximadamente. Segundo horizonte antrópico, evidentemente de origen prehispánico. En su parte superior presentó un color amarillo negruzco y en la medida que se va profundizando el color tiende a ser amarillo parduzco. A partir de este horizonte se construyeron las estructuras funerarias del cementerio prehispánico de Guacandá.

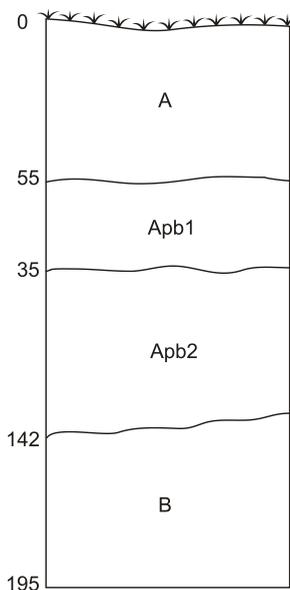


Figura 26.

Estratificación natural y cultural del perfil occidental de barranco en el sector A.

LAS ESTRUCTURAS FUNERARIAS PREHISPÁNICAS

El cementerio prehispánico de Guacandá estaba conformado por veintiuna tumbas de las cuales trece habían sido gaaqueadas antes de nuestra llegada al sitio y ocho restantes que fueron detectadas con métodos geoelectricos y excavadas por nuestro equipo de trabajo conformado por geofísicos, arqueólogos y bioantropólogos. Con el fin de recuperar información para la posterior reconstrucción de los patrones funerarios, se realizaron trabajos de delimitación y registro en las tumbas parcialmente abiertas. Aunque en estas tumbas ya se habían perdido datos valiosos de contextos sobre las formas de entierro, composición cualitativa y cuantitativa de los ajuares funerarios, aún pudimos recuperar información importante sobre la arquitectura de los espacios rituales de la muerte, así como también, cerámica y materiales osteológicos humanos y de animales.

La estructura general correspondió a tumbas de pozo con cámara lateral, y profundidad que alcanzó hasta los 300 cm. Todas se caracterizaron por tener escalonamiento a la entrada de la cámara, y en algunas de ellas se evidenciaron huellas de poste circulares que tapaban la entrada a la cámara. El ajuar funerario en términos generales fue escaso. Los pozos tenían en su mayoría forma rectangular y cuadrangular, y sólo en dos de ellas se presentaron pozos circulares. Las cámaras eran de estructura rectangular principalmente, aunque en algunos casos se delimitaron cámaras semielípticas, elípticas y semiovais (Figuras 27, 28). Los entierros eran secundarios, caracterizados por la dispersión de fragmentos de hueso en el pozo y concentrados en la cámara. Sólo la tumba 17 contenía un entierro primario, con un individuo en la cámara en posición extendida, con las manos cruzadas sobre el vientre. En la tabla 4 resumimos las principales características de las tumbas estudiadas. Los datos de las trece primeras fueron tomados luego de haber sido gaaqueadas, mientras los de las siguientes ocho corresponden a las tumbas excavadas por nuestro equipo. ¹

Tabla 4. CRONOLOGÍA Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS TUMBAS INVESTIGADAS EN EL CEMENTERIO PREHISPÁNICO DE GUACANDÁ.

POZO/CÁMARA				CRONOLOGÍA
Tumba	Forma	Dimensiones cm	Profundidad cm	
1	cuadrada/elíptica	100x110/160x250	135/128	
2	rectang./rectangular	100x90/200x125	141/132	
3	cuadrada/rectang.	110x105/225x135	182/166	
4	cuadrada/rectang.	103x102/208x130	159/146	
5	cuadrada/rectang.	73/207x125	204/188	
6	rectang./rectang.	110x127/205x130	135/116	
7	rectang./semioval	95x78/190x100	258/270	
8	rectang./semioval	60x70/190x100	220/?	
9	rectang./rectang.	80x93/250x?	190/117	
10	cuadrada/rectang.	95x95/260x180	215/200	
11	rectang./semi-elíptica	120x97/240x140	230/200	
12	rectang./rectang.	80x90/140x130	236/219	
13	cuadrada/rectang.	100x100/255x140	292/270	
14	circular/semi-elíptica	84x85/240x156	270/260	
15	cuadrada/semi-elíp.	93x90/210x120	266/242	
16	circular/semi-elíptica	95x93/200x110	227/215	
17	cuadrada/semi-elíp.	95x86/210x?	270/264	1560 ± 80 d.C. Beta-146224
18	rectang./semi-elíptica	90x78/256x130	280/260	
19	cuadrada/rectang.	83x86/265x150	333/222	1010 ± 60 d.C. Beta-144241
20	rectang./rectang.	70x80/205x115	286/254	1230 ± 80 d.C. Beta-146235
21	rectang./rectang.	88x70/220x150	250/235	1150 ± 60 d.C. Beta-146236

¹ Todas las características de las estructuras funerarias, así como los análisis bionatropológicos y de los materiales culturales recuperados en el cementerio prehispánico de Guacandá pueden consultarse en Rodríguez *et al.* 2001.

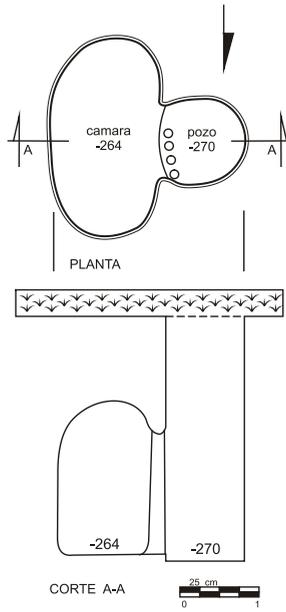


Figura 27.

Planta y corte de la Tumba 17 fechada en 1500 d.C. Nótese las huellas de los postes de la estructura de madera que cubría la entrada a la cámara.

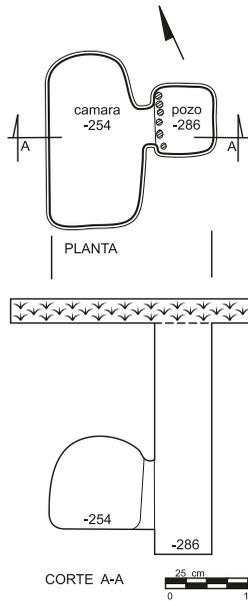


Figura 28.

Planta y corte de la Tumba 20 fechada en 1200 d.C. Nótese las huellas de los postes de la estructura de madera que cubría la entrada a la cámara.

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

LOS YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE, CALI

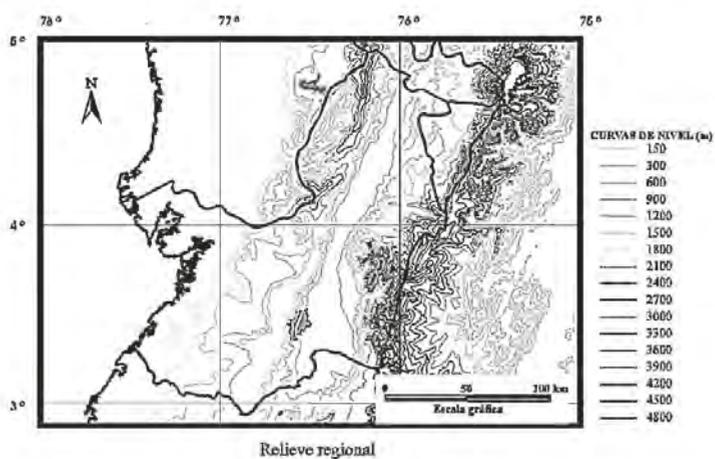
LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y EL MEDIO NATURAL

Los sitios arqueológicos **Univalle 1**, **Univalle 2**, **Univalle 3**, **Univalle 4** y **Univalle 4A** están ubicados en la parte plana del valle Geográfico del río Cauca, entre las cordilleras Central y Occidental, en la margen derecha del río Cauca. Forma parte del sur del territorio de la ciudad de Santiago de Cali en jurisdicción del departamento del Valle del Cauca (IGAC 1980); específicamente, se encuentran en la sede Meléndez de la Universidad del Valle (Cali), a 76°53'58" de longitud Oeste y a 3°38'81" de latitud norte en el sector norte de la Biblioteca "Mario Carvajal", sobre un depósito aluvial del río Meléndez, el cual corre de Occidente a Oriente y desemboca en el río Cauca.

Como puede observarse en las figuras 29 y 30 estos yacimientos arqueológicos se encontraron en la llanura aluvial de piedemonte a unos 975nm en suelos fértiles de sedimentación reciente. Estaban rodeados por varios paleocauces y paleohumedades, algunos de los cuales podrían haber sido prehispánicos. Actualmente, el río Meléndez corre unos 750 m al norte, mientras otro cauce importante, el río Lili pasa a unos 1150 m al sur de los sitios estudiados.

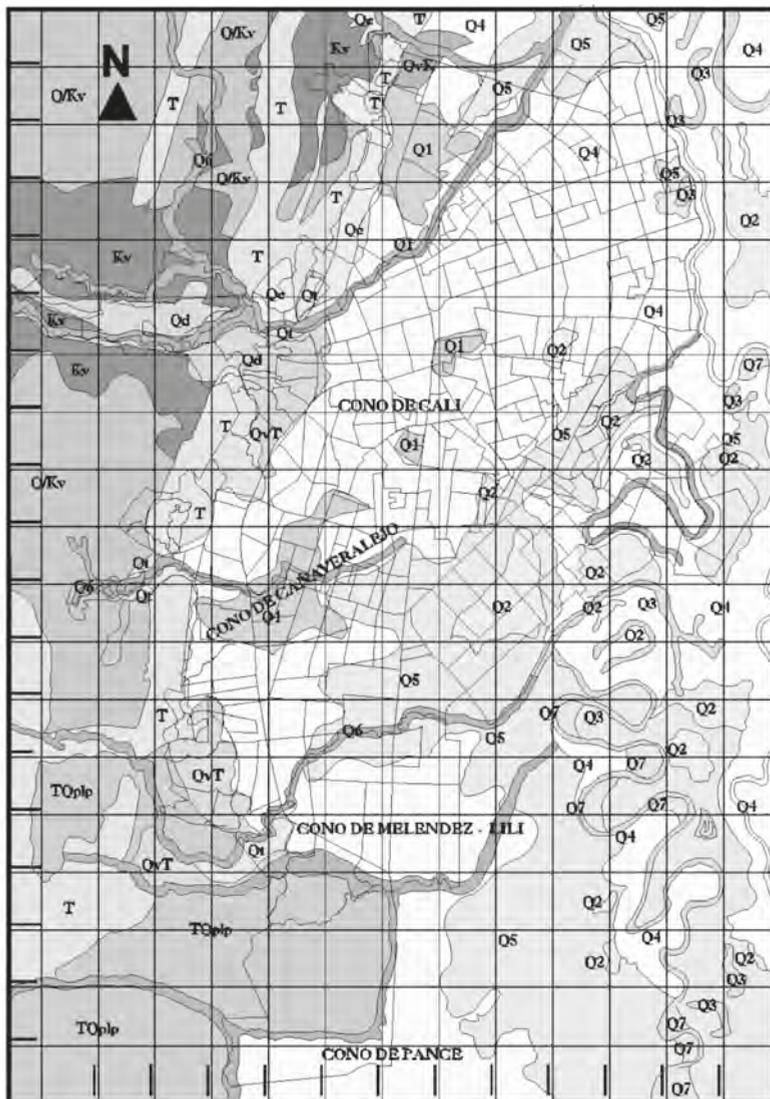
ASPECTOS BIOFÍSICOS.

El sur de la ciudad de Cali se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de aproximadamente 975 m, presenta una temperatura promedio anual comprendida entre 34,6°C y 14,2 °C, y una precipitación media anual entre 2.027, 1.427 con 850 milímetros de lluvia; la humedad promedio relativa reportada es del 73% donde los valores de evaporación promedio tienden a superar los de la precipitación. Estos valores permiten definirla en la zona de



Modelo de elevación digital del terreno del Valle del Cauca

Figura 30.
Localización general del área de estudio. ²



Fuente: Alvarez y Tenjo (1971). Con adaptaciones según OSSO para Gases de Occidente (1996).

- | | | |
|--|--|---|
| □ Q7: Sedimentos en curvas internas de meandros | □ Q1: Antiguos humedales | ■ QvK : Depósitos derivados de diabasas |
| ■ Q7: Depósitos aluviales en llanuras y márgenes de ríos | □ Conos, aluviales de los ríos Menga, Cali, Cañaverelejo, Meléndez, Lili y Pance | ■ Q/Kv: Saprolito de diabasas |
| □ Q5: Zonas desecadas y rellenos de cauces | □ Qt: Terrazas aluviales | □ TQplp : Formación Popayán |
| □ Q4: Albardones (diques) naturales | □ Qc: Depósitos de vertiente | □ T : Rocas sedimentarias con Intercalaciones de carbón |
| □ Q3: Canales y depósitos de río | □ Qd: Depósitos torrenciales antiguos | □ Kv: Rocas diabásicas |
| □ Q2: Depósitos de pantanos aluviales | □ QvT: Depósitos derivados de rocas del Terciario | |

Figura 31.
*Unidades geológicas superficiales del sector sur de Cali.*³

GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS

El Sur de la ciudad de Cali, presenta formas de relieve Aluviales originadas por la sedimentación de los ríos Meléndez y Lili; formas lacustres con influencia aluvial actual; es decir, la planicie Fluvio-Lacustre; y formas aluviales originadas por la sedimentación de los afluentes del río Cauca, o sea la planicie aluvial de piedemonte y las colinas. Específicamente el área de estudio se encuentra en un basín, un área baja que se caracteriza por tener una topografía plano-cóncava, con pendientes no mayores a 1% y sin evidencia de erosión y esta constituida por sedimentos finos como arcillas y limos finos, que se depositan cuando las aguas de desborde han perdido su fuerza de arrastre y básicamente por decantación (Figura 31).

Los suelos se han desarrollado a partir de materiales aluviales finos con un drenaje natural imperfecto, y un régimen de temperatura de los suelos isohipertérmico y un régimen de humedad ústico. De acuerdo al Estudio Semidetallado de Suelos para el Valle del Cauca, (IGAC 1980), la unidad de suelos del área esta representada por el conjunto Arroyo Hondo (Vertic Eutropept), los cuales fueron descritos en un relieve plano, con pendientes de 0 a 3%. Estas unidades que se han desarrollado a partir de materiales aluviales de textura arcillosa, son suelos moderadamente profundos, limitados por nivel freático fluctuante; moderadamente estructurados; imperfectamente drenados y con pH tendientes a neutro, cuyo contenido de materia orgánica es medio, y presenta una fracción de arena compuesta por feldespato, anfíboles y cuarzo y fracción de arcilla compuesta por esmectitas y caolinita. También se presentan áreas importantes de suelos afectados por sales y por sodio. En su mayoría son suelos de alta calidad para las actividades agropecuarias.

Químicamente son suelos de relación calcio - magnesio estrecha a invertida, con capacidad catiónica de cambio y saturación total altas a muy altas y reacción medianamente ácida a medianamente alcalina. La clasificación taxonómica se basa en la presencia de epipedón ócrico, un horizonte cámbico, saturación de bases mayor de 50% en todo el perfil, un régimen de humedad údico y grietas de más de un centímetro de amplitud, en los primeros 50 cm. de profundidad.

LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LOS YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

Las investigaciones geoarqueológicas y geofísicas en yacimientos arqueológicos ubicados en la Universidad del Valle fueron realizadas entre finales de 1997 y mediados del 2005 e incluyeron tres temporadas de campo con sus correspondientes estudios de laboratorio. La primera temporada se

hizo entre finales de 1997 e inicios de 1998 en el marco de un proyecto de arqueología de rescate, donde se logro identificar cuatro sitios arqueológicos, tres de ellos en un terreno al noroccidente de la biblioteca “Mario Carvajal” y uno en el lugar donde se encuentra actualmente el parqueadero de la Facultad de Artes Integradas.

Una segunda temporada, se llevó a cabo en el mes de junio de 1999. Entonces los trabajos se concentraron en la limpieza de perfiles, el establecimiento de la secuencia estratigráfica natural y cultural de los sitios ya identificados y la excavación del sitio más importante de todos que denominamos *Univalle 4*.⁴

Y finalmente, la tercera temporada de campo, realizada en junio del año 2004, se centró en un sector aledaño al sitio Univalle 4, que fue denominado *Univalle 4A*, implementando para su estudio una concepción holística de complementariedad, donde, a nivel microespacial, se aportó al conocimiento de los procesos socioculturales del pasado antiguo a partir de la integración de diversos saberes provenientes de disciplinas como la geofísica, pedología y arqueología.⁵

EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO UNIVALLE 1

Este sitio fue encontrado accidentalmente, durante las labores de ampliación de una vía, detrás de la actual Biblioteca Central, La retroexcavadora logró exponer un perfil donde fue encontrado un “entierro ritual” entre 30 y 50 cm. de profundidad, el cual estaba conformado por vasijas cerámicas (cuencos, cántaros y copas) y un mortero elaborado también en cerámica. Los trabajos iniciales realizados allí consistieron en la limpieza, el registro gráfico (dibujo del perfil estratigráfico) y fotográfico y el rescate de los materiales culturales encontrados. En la segunda temporada de campo realizada en Junio de 1999 ampliamos el perfil, limpiándolo nuevamente y analizando la secuencia estratigráfica, la cual se convirtió en el modelo-tipo de las excavaciones posteriores. En este sitio logramos recolectar los siguientes materiales: cerámica 552, un mortero y 18 líticos.

EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO UNIVALLE 2

Al igual que el anterior, este sitio también fue hallado accidentalmente, durante las labores de adecuación, con una motoniveladora y una retroexcavadora, del parqueadero del nuevo edificio de la Facultad de Artes Integradas, a unos 100 metros al suroeste de Univalle 1. El yacimiento fue destruido parcialmente en sus horizontes superiores. Allí logramos realizar una unidad de excavación de 45 metros cuadrados donde excavamos 30 cm.

utilizando niveles arbitrarios de 10 cm. del Horizonte Apb2 correspondiente a la fase inicial de la ocupación prehispánica en el lugar. Los materiales culturales recolectados fueron: 1.355 fragmentos cerámicos y 625 líticos.

EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO UNIVALLE 3

Ubicado a unos 30 metros al este de Univalle 1, este fue otro sitio alterado parcialmente también por la retroexcavadora, la cual expuso en un perfil materiales cerámicos y líticos del Horizonte Apb1. Los trabajos realizados allí incluyeron una limpieza del perfil, su registro gráfico, fotográfico y fílmico y la recolección de los materiales culturales. Los materiales culturales recolectados en este sitio fueron: 10 tiestos y 5 líticos.

EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO UNIVALLE 4

El sitio Univalle 4 fue descubierto, durante la segunda temporada de campo, como resultado de la prospección arqueológica (cateos con barreno y mediacaña y calicatas eléctricas), a unos 10 metros al norte del sitio Univalle 1. Allí delimitamos un área de 16 metros cuadrados donde se organizó una Unidad de Excavación tipo trinchera de cinco por dos metros, la cual fue posteriormente ampliada en seis metros más. Se excavó por niveles arbitrarios de cinco cm. en cada uno de los cuatro horizontes que se presentaron (A1, Apb1, Apb2 y B), haciendo especial énfasis en el control estratigráfico de los dos horizontes antrópicos prehispánicos, los cuales se presentaron, el primero (Apb1) entre 30 y 70 cm. de profundidad y el segundo (Apb2) entre 70 y 120 cm. Los materiales recolectados de esta unidad de excavación fueron: 4.329 tiestos y 949 líticos, correspondientes principalmente a cantos rodados y desechos de talla.

Fue precisamente en el sitio Arqueológico Univalle 4 donde por primera vez en la arqueología nacional se realizaron estudios geoelectricos con el objeto de detectar desde la superficie anomalías asociadas con actividad antrópica prehispánica. La prospección geoelectrica incluyó 18 mediciones, utilizando una distancia electrónica de un metro y profundidades entre 100 y 200 cm. Como resultado fue detectada una importante anomalía entre los puntos 13 y 17 a una profundidad de 100 cm en el Horizonte Apb2. Esta anomalía se correspondió con actividad humana prehispánica que logramos documentar posteriormente durante nuestras excavaciones, la cual estuvo relacionada con la mayor resistividad que se presentó en el Horizonte Apb2 y la concentración de materiales líticos y cerámicos, correspondientes a un posible sitio de habitación.

En la Figura 32 puede observarse la superposición de los resultados obtenidos. En la línea superior los picos máximos que están ubicados entre 40 y 45 ohm/m corresponden a la resistividad encontrada entre los puntos 8 y 10 del Horizonte Apb2 a un metro de profundidad, mientras en la línea inferior, con un promedio de 35 ohm/m aparecen los resultados de la resistividad en el Horizonte B, a dos metros de profundidad.

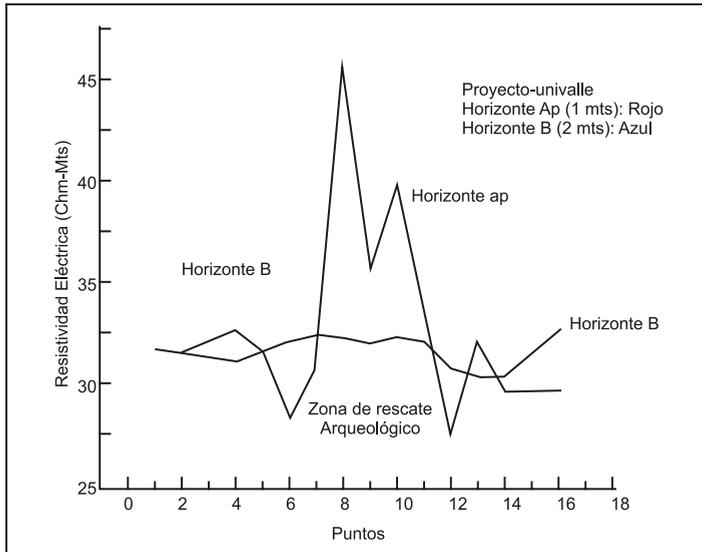


Figura 32.

Resultados de las calicatas eléctricas realizadas en el yacimiento arqueológico Univalle 4.

EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO UNIVALLE 4A

Este sitio arqueológico estaba ubicado enseguida, al Sureste del yacimiento Univalle 4. Como ya lo anotamos, su estudio se planificó con el objetivo de corroborar y ampliar la información obtenida previamente en Univalle 4. Fue precisamente allí donde se logró realizar un estudio transdisciplinario integral con la ayuda de diversos saberes complementarios procedentes de disciplinas como la arqueología ambiental, la geoarqueología, la pedología y la geofísica. Así, por ejemplo, la prospección se realizó utilizando métodos **geofísicos**, específicamente técnicas geoelectricas y electrotérmicas; los análisis **pedológicos** incluyeron tanto la descripción de los perfiles de suelo, como la interpretación de la morfología de los suelos del sitio excavado y de dos sondeos

de 50 cm. x 50cm de lado, realizados cada uno a 10 m. del sitio de excavación; en todos ellos se tomaron muestras para el análisis físico y físico-químico.

La información aportada por la geofísica, se complemento con la prospección y excavación **arqueológica** en un sitio de habitación y de agricultura a nivel microespacial, excavando un área de 2 m x 4 m de lado para observar la recurrencia, espacial y temporalmente, de los vestigios arqueológicos. Los resultados del estudio de este sitio no solo validaron la información obtenida en la excavación de todos los yacimientos mencionados de la Universidad del Valle, sino que permitieron ampliar sustancialmente los datos tanto del manejo diferencial de los suelos que realizaron los aborígenes prehispánicos durante las dos fases de ocupación, como de sus actividades socioculturales.

Los trabajos de campo se realizaron en un área de 100 m x 30 m contigua al sitio arqueológico Univalle 4 (Rodríguez y Bedoya 1999). Allí se escogió un punto específico, donde se hicieron calicatas geoeléctricas, y se excavó un sitio de 4 m x 2 m de lado y dos sondeos de 50cm x 50 cm. A fin de observar la variabilidad entre las propiedades de los horizontes y complementar la información para caracterizar los suelos, se describieron tres perfiles en el área excavada, y dos en los sondeos. Igualmente, a partir de un muestreo doble de cada horizonte (utilizando métodos clásicos y toma de muestras con cilindros), se recolectaron seis muestras por perfil, para análisis de laboratorio.

Algunas de estas muestras fueron enviadas al laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional –sede Medellín- y otras se procesaron en el Laboratorio de Física Ambiental de la Universidad del Valle – Sede Meléndez. Estas últimas se analizaron con diferentes métodos con el fin de obtener la humedad volumétrica, densidad aparente, espacio poroso total e índice de relación de vacíos, actividad microbiana y conductividad térmica. Por su parte, los materiales arqueológicos fueron analizados en el Laboratorio de Arqueología del Museo Arqueológico “Julio César Cubillos” de la Universidad del Valle, siguiendo metodologías utilizadas en el estudio de los sitios arqueológicos anteriormente mencionados.

Para proceder a aplicar el método **geoeléctrico**, se dividió el área cercana al sitio Univalle 4 en dos cuadrantes de ocho metros cada uno, donde cada punto esta representado en líneas a intervalos regulares, obteniéndose un registro en profundidad de la resistividad del área de interés. En el primer cuadrante se muestrearon a intervalos regulares 48 puntos, a unas profundidades de 40 cm y 70 cm correspondientes a los Horizontes Apb1 y Apb2 (suelo enterrado y paleosuelo, respectivamente), y en el segundo 16 puntos a 40 cm de profundidad y 42 puntos a 70 cm de profundidad con un total de 96 puntos (Figura 33).

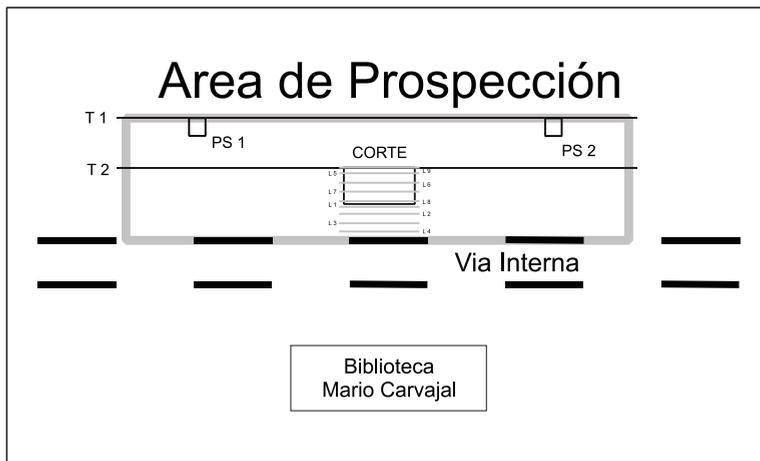


Figura 33.

Líneas y transeptos realizados en el yacimiento arqueológico Univalle 4A.

Adicionalmente, se realizaron dos transeptos con diez puntos cada uno, tomando las profundidades anteriores, para un total de 40 puntos. Las calicatas en campo, se realizaron con un resistivímetro sencillo que consiste de una batería de alta tensión, como recurso de corriente, cuatro varillas metálicas, un metro, un voltímetro y cuatro redes o cables. Posteriormente los resultados fueron procesados utilizando los programas R 1.81, Origin 7.0 y Surfer 8.

Puesto que la resistividad esta mediada por el material, el contenido de humedad, iones y sales, se tomaron tres muestras de los suelos de Univalle 4A (Figura 34), a las cuales se les adicionó agua durante un periodo de nueve días. A estas muestras, se les tomaron medidas de la resistividad, a una distancia electródica de 0.03 cm, y el porcentaje de humedad; además, se realizó un **análisis estadístico de una sola vía** para observar el comportamiento de la humedad y la resistividad (Figuras 35,36). Los resultados obtenidos se procesaron en los programas R 1.81, Surfer 8 y Origin 7. Igualmente, se examinaron estadísticamente y se analizaron gráficamente por medio de histogramas; este registro gráfico permitió reconocer patrones culturales y naturales y visualizar fenómenos físicos causantes de las anomalías detectadas.

En cuanto al método **electrotérmico** se tomaron muestras sin alterar con un barreno especial, en cilindros metálicos (Figuras 37, 38). Estas muestras fueron introducidas en una resistencia eléctrica (sonda electrotérmica), que libera energía térmica, generando una transferencia de calor al suelo. La sonda térmica va acoplada a una interfase que a su vez genera datos de temperatura en



Figura 34.
*Muestras de suelos tomadas de Univalle 4A.
De derecha a izquierda, horizonte Apb1, Apb2 y ABB2.*



Figuras 35, 36.
Calibración del equipo de geoelectrica con los suelos de Univalle 4A (35) Medida de Resistividad y toma de muestras para porcentaje de humedad (36).

intervalos de tiempo, bajo el programa Data Monitor. En el circuito de corriente continua, se tienen medidores de voltaje y corriente (Zúñiga 2001) (Figura 39).

Estos datos fueron analizados estadísticamente utilizando Origin 7.0, buscando el polinomio de la curva. Posteriormente, estos resultados fueron comparados con los datos de densidad aparente y actividad microbiana para obtener como resultado final, la reserva energética del suelo (RES). A la cual se le realizó un **análisis de varianzas con bloques completos aleatorizados**, identificando a si mismo que la distribución de la RES presenta una dependencia espacial, permitiendo elaborar mapas de isolíneas de la resistividad del suelo mediante las técnicas de interpolación y predicción **Kriging**, el cual fue elaborado en el software Surfer 8.



Figura 37.
Barreno utilizado para tomar muestras de suelos



Figura 38.
Toma de muestras con barreno de cilindros

Para obtener datos sobre la **morfología de los suelos**, se realizó una descripción en campo de los horizontes de suelo, determinando algunas

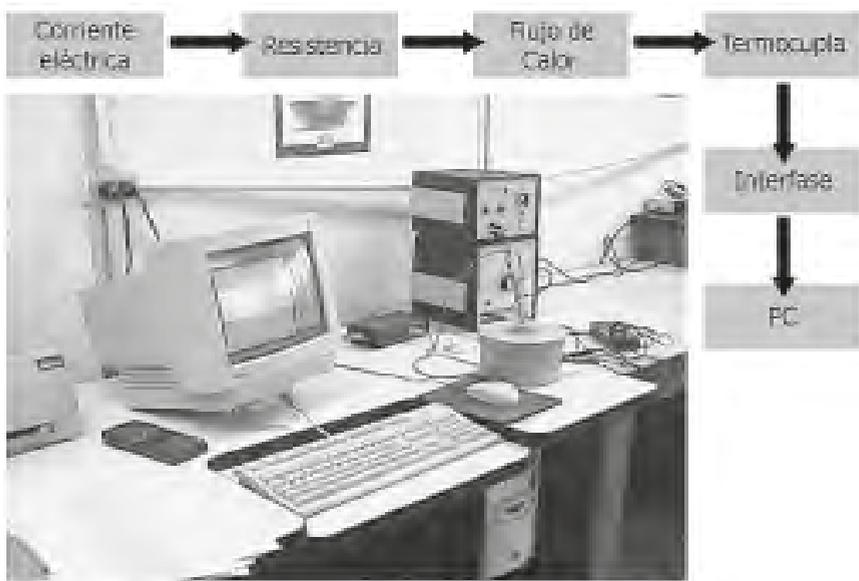


Figura 39.
Montaje para evaluar la conductividad térmica del suelo.



Figura 40.
Muestreo clásico en bolsas plásticas



Figura 41.
Muestreo con cilindros

características de importancia como: contactos y límites entre horizontes, espesor, color, estructura, textura, composición, porosidad, presencia de raíces, consistencia, entre otros. Se realizó además un muestreo doble (clásico y con cilindro) de cada horizonte para análisis de laboratorio (Figuras 40, 41).

Utilizando la información de la geofísica, se organizaron los trabajos **arqueológicos**, los cuales consistieron en una excavación de 8 m² y dos pozos de sondeos espaciados cada uno a 10 m del corte, y los datos obtenidos fueron registrados en fichas especiales y ubicadas espacialmente. Estos datos fueron analizados estadísticamente a partir de **componentes principales** en el software R1.81. Además se realizó un **análisis de varianzas con bloques completos aleatorizados**, identificando a si mismo que la distribución de la resistividad presenta una dependencia espacial, permitiendo elaborar mapas de isolíneas de la resistividad del suelo mediante las técnicas de interpolación y predicción **Kriging**, el cual fue elaborado en el software Surfer 8.

LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN GEOELÉCTRICA

La utilización de métodos geoelectricos en el sitio arqueológico Univalle 4 permitió detectar una serie de anomalías en la resistividad de los diferentes horizontes de suelo, que al momento de excavar se correspondieron con sitios para la vivienda y la agricultura (Rodríguez y Bedoya, 1999). En Univalle 4A el empleo de este método permitió diferenciar los horizontes Apb1 y Apb2 (suelo enterrado 1 y suelo enterrado 2 respectivamente), observando que las resistividades más altas se correspondieron con el horizonte más superficial, y presentando anomalías que se asociaron con huellas de poste y perturbaciones antrópicas actuales.

Para la investigación del yacimiento Univalle 4A, inicialmente en el laboratorio, se realizó una calibración del equipo con el fin de observar el comportamiento de la resistividad con respecto al porcentaje de humedad en los suelos de la zona, y tener un medio para comparar con las medidas de resistividad obtenidas en campo. En campo se dividió el área en 2 transeptos, tomando 20 puntos espaciados 10 mt. La información de la resistividad en estos transeptos, junto con las excavaciones realizadas por Rodríguez y Bedoya en el año de 1999, permitió ubicar el sitio para excavar; donde se realizaron nueve líneas, que presentaron seis anomalías, de las cuales tres fueron corroboradas con la excavación y se correspondieron con una huella de poste, un rasgo rectangular y una acumulación de fragmentos cerámicos y de roca.

LA CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE GEOELÉCTRICA CON RESPECTO A LA HUMEDAD

En el análisis estadístico se partió de la hipótesis de que la resistividad y el porcentaje de humedad varían de acuerdo a los horizontes, y a su vez son variables dependientes. De esta manera, para la calibración, los datos de la resistividad y el porcentaje de humedad fueron analizados en el software R 1.81, a partir

de un análisis exploratorio y un análisis de varianza de una sola vía. En el análisis exploratorio se observó que, los datos se comportaban de diferente manera en los dos suelos, tanto para la resistividad como para la humedad. Aunque presentaban la siguiente tendencia: los valores altos de resistividad estaban asociados a bajos contenidos de humedad, mientras la baja resistividad se asocia al contenido de humedad alto, siendo el horizonte ABb1 (3) el que menos reacción tuvo ante la humedad (Figuras 42, 43).

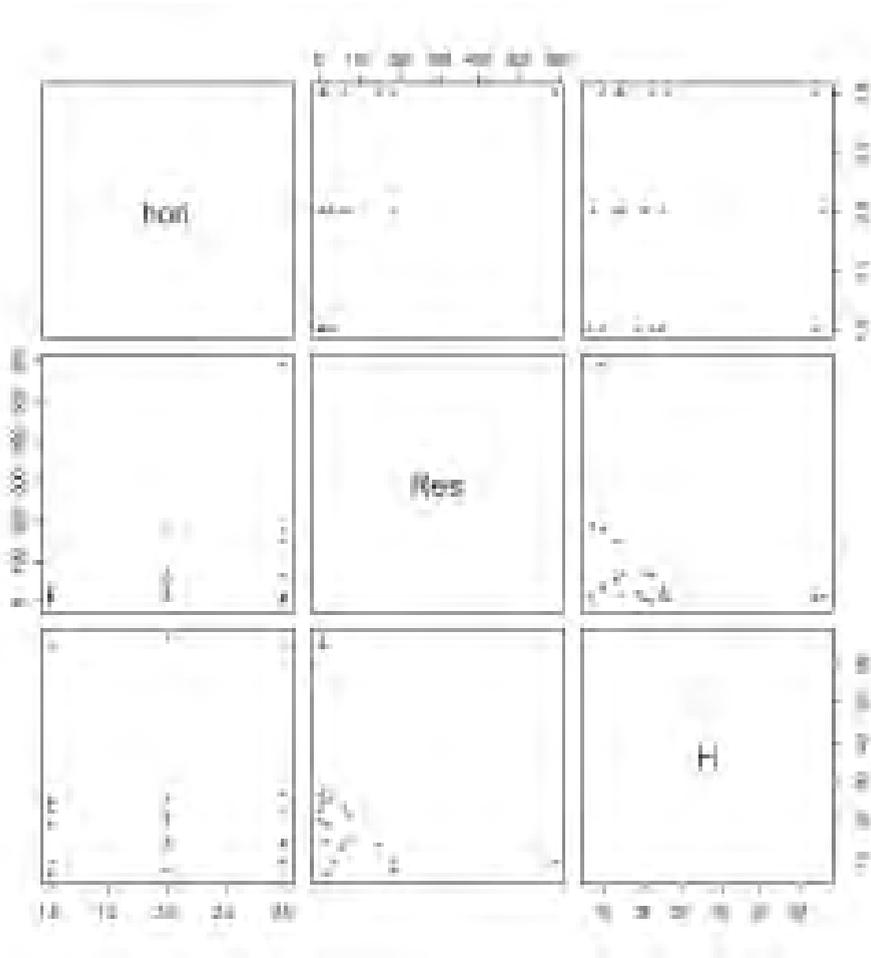


Figura 42.

Gráfica general de la resistividad en relación con el porcentaje de humedad y con los horizontes de suelo.

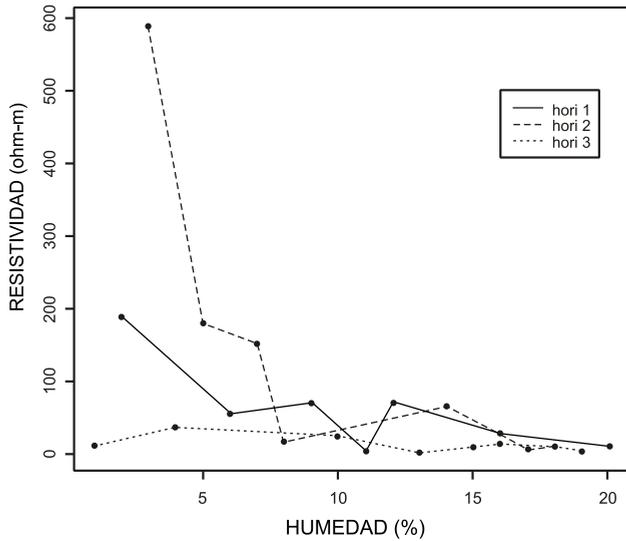
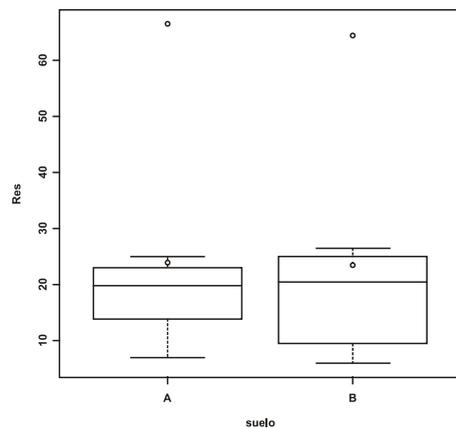
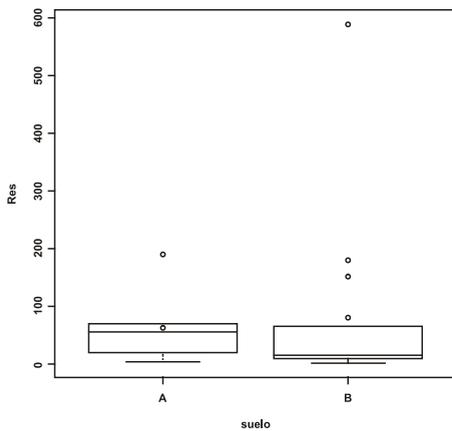


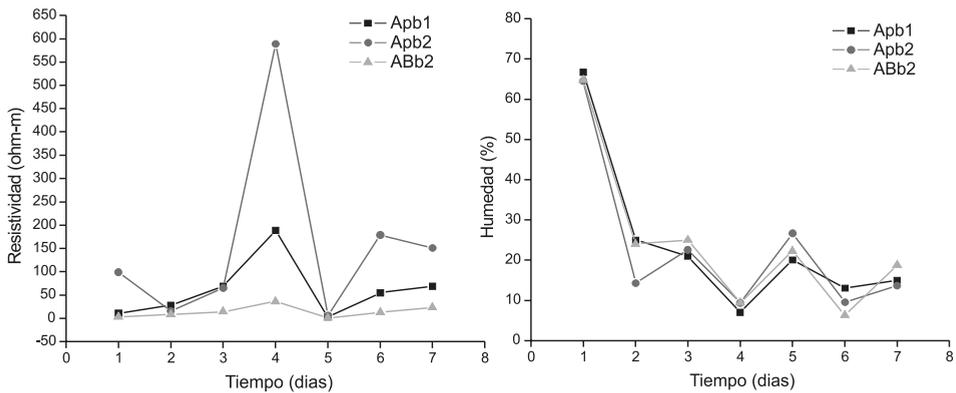
Figura 43.
Relación entre la resistividad y porcentajes de humedad para cada uno de los horizontes de suelo.

El análisis de varianza permitió observar que existe diferencia en las medias y en la variabilidad de los datos de cada suelo, tanto en la resistividad como en el porcentaje de humedad, y que además presenta valores atípicos siendo más representativo en la resistividad del suelo B que del suelo A, lo cual indica que ambos suelos se comportaban independientemente (Figuras 44, 45).



Figuras 44, 45.
Análisis de las medias. Reserva energética por el tipo de suelo (44). Porcentaje de humedad por el tipo de suelo (45).

Cuando observamos la relación de las medias con respecto a los horizontes encontramos que existe una dependencia tanto en la resistividad como en el porcentaje de humedad entre los horizontes Apb2 y ABb2, además se esperaría que a mayor profundidad (paleosuelo), la reserva energética aumente y el porcentaje de humedad disminuya, y esto no sucedió. Esto se explica porque se corresponden con dos suelos diferentes en sus estructura pedológica, además que su manejo antrópico en el tiempo fue de forma diferente (Figuras 46, 47).



Figuras 46, 47.

Distribución de Resistividad (46) y porcentaje de humedad (47) en la muestra de suelo.

Las medias para la resistividad en cada uno de los horizontes (Apb1, Apb2 y ABb2) fueron de 60.4, 145.06, 14.06, respectivamente y para el porcentaje de humedad de 24, 22.94, y 24.37, respectivamente. Al hacer el modelo lineal para la resistividad y el porcentaje de humedad, el análisis de varianza indicó que se trata de representaciones diferentes de resistividad, dado que las medias de los tres horizontes son diferentes. Estas varían de acuerdo a los horizontes, donde la probabilidad de error (valor p) es de 0.1696 indicando que la profundidad afecta la resistividad, contrario al porcentaje de humedad, donde la probabilidad de error es de 0.9898; es decir, que la profundidad no afecta el porcentaje de humedad (Figuras 48, 49; Tablas 5, 6, 7).

Tabla 5. MEDIAS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y LA RESISTIVIDAD.

Horizonte	Media % Humedad	Sd % Humedad	Media Resistividad	Sd Resistividad
Apb1	24.00	19.7	60.41	62.43
Apb2	22.94	19.44	145.06	207.83
ABb2	24.37	19.22	14.06	12.19

Tabla 6.

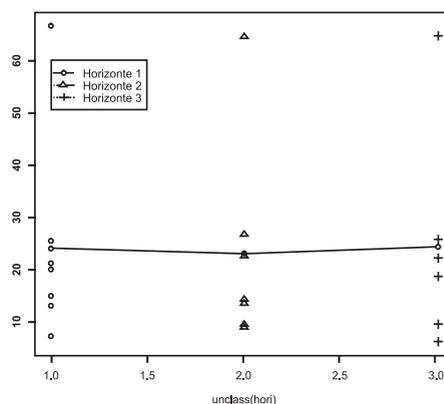
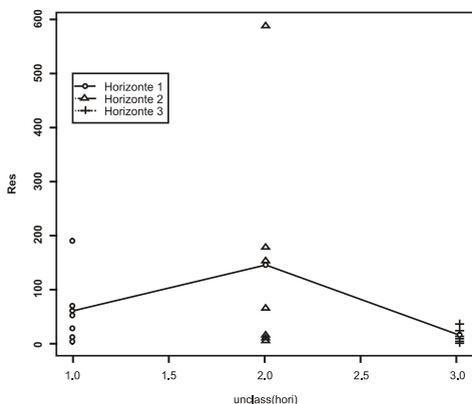
ANÁLISIS DE VARIANZA. RESISTIVIDAD.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadráticas	F value	Pr(>F)
Horizonte	2	61770	30885	1,9612	0,1696
Residuales	18	283456	15748		

Tabla 7.

ANÁLISIS DE VARIANZA. PORCENTAJE DE HUMEDAD.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadráticas	F value	Pr(>F)
Horizonte	2	7.8	3.9	0,0103	0,9898
Residuales	18	6816.3	378.7		



Figuras 48, 49.

Reserva energética de acuerdo a los horizontes (48). Porcentaje de humedad de acuerdo a los horizontes (49). Las líneas representan las medias observándose además la variabilidad de los datos.

De acuerdo a los diagnósticos de los supuestos (Figuras 50, 51), los errores de la resistividad y de la humedad no presentan varianzas parecidas y no se comportan normales con una probabilidad de equivocarnos de 2.792×10^{-5} para la resistividad y de 9.108×10^{-5} para el porcentaje de humedad. Aunque se presentan valores aparentemente influyentes, la distancia de Cook permite inferir que no son lo suficientemente grandes (mayores que uno), como para no contemplarlos en la muestra.

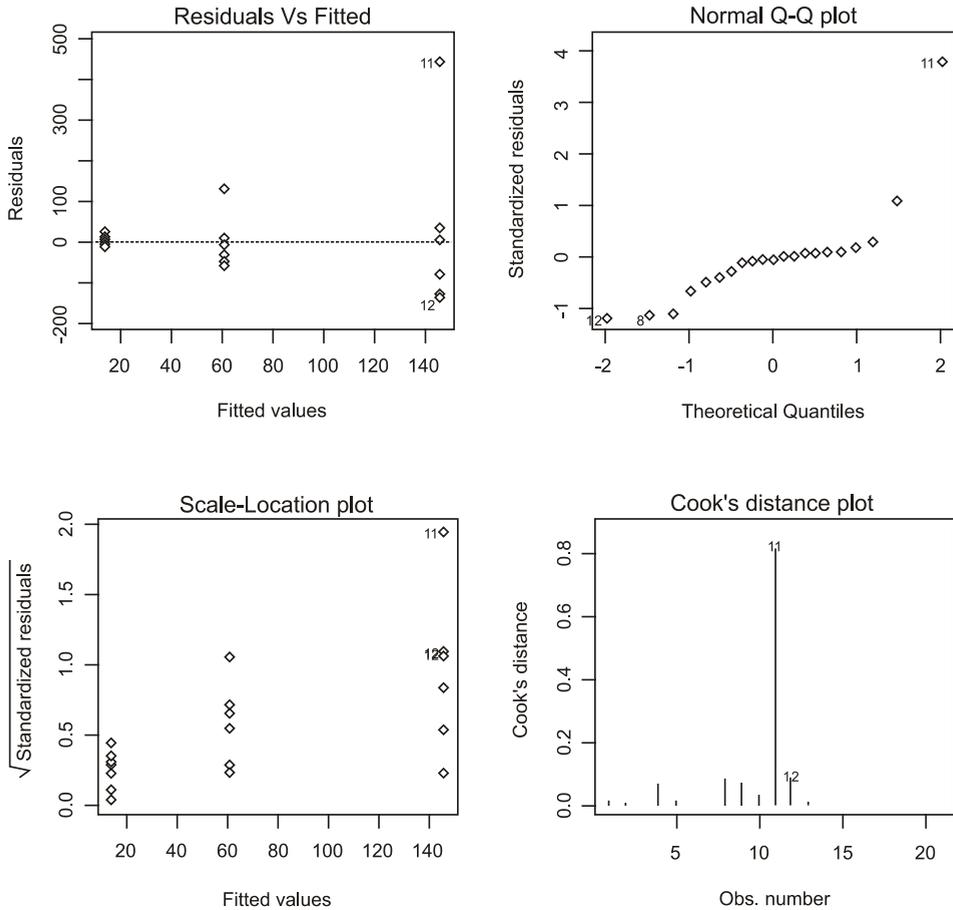


Figura 50.

Diagnóstico de los supuestos de resistividad. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Homocedasticidad, normalidad, valores extremos y distancia de Cook.

LEVANTAMIENTO DE CALICATAS ELÉCTRICAS EN EL SITIO UNIVALLE 4A

Para la prospección geoelectrica se empleó el método de los cuatro electrodos donde se hicieron calicatas eléctricas con arreglo tipo Wenner ubicando, en el sitio de habitación de la Cultura Bolo-Quebrada Seca, diferencias en la resistividad de los diferentes horizontes de suelo además de detectar anomalías con rangos de resistividad altos y bajos asociados con actividad antrópica prehispanica, que al momento de excavar se correspondió con acumulación de cerámica y líticos, huellas de postes de vivienda y de rasgos rectangulares.

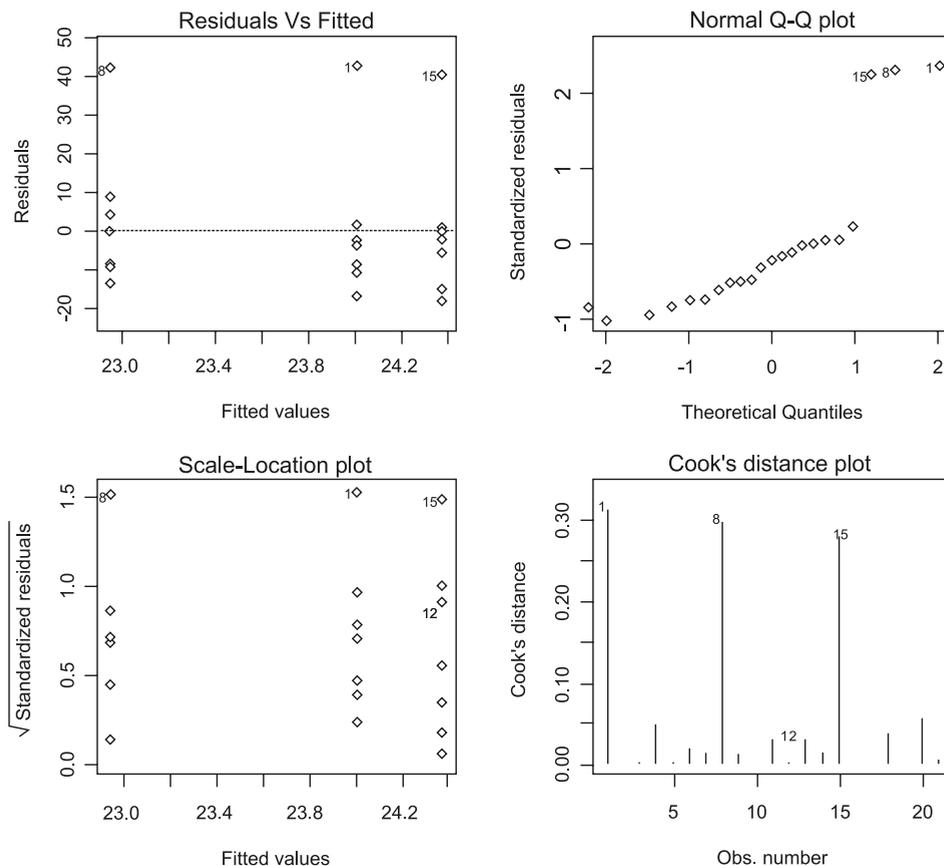


Figura 51.

Diagnóstico de los supuestos del porcentaje de Humedad. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Homocedasticidad, normalidad, valores extremos y distancia de Cook.

Metodológicamente se prospectó un área de 100 m², con dos líneas (T1 y T2), un total de 40 puntos (Tabla 8) espaciados 10 m entre si, a una distancia eléctrica de 40 y 70 cm que se correspondieron con los horizontes Apb1 y Apb2 y un área de 16 m² con 9 líneas (L1-L9) (Figuras 52, 53), un total de 96 puntos a una distancia eléctrica de 40 y 70 cm, que se correspondieron con los horizontes Apb1 y Apb2, suelo enterrado y paleosuelo respectivamente. De estas líneas, fueron prospectadas con una distancia eléctrica de 70 cm la 5, 6, 7 y 8, que se corresponden con el corte de excavación. Como resultado de esta prospección, se detectó que las resistividades más altas se relacionaron con el suelo enterrado, conformado por los horizontes Apb1 y ABb1, el cual

presentó un porcentaje promedio de humedad entre 15.57% y 16.47% mostrando anomalías en la línea 1, 2, 4, 5 y 8 (Tabla 9). El paleosuelo presentó un promedio de humedad entre 15.85% y 22.26%.

Tabla 8. LÍNEAS Y RANGOS DE ANOMALÍAS GENERAL EN LOS TRANSEPTOS REALIZADOS EN UNIVALLE 4A.

Suelo	Transeptos	Profundidad de Sondeo	No. Puntos	Rangos Resistividad (ohm-mts)	Anomalías (ohm-mts)	Correlación Arqueológica
Suelo Enterrado	1	40	10	22-37	19, 54, 72	Baja: Sin corroborar. Alta: Sitio de habitación
	2	40	10	31-44	22 – 23 - 24	Sin corroborar
Paleosuelo	1	70	10	24-44	22, 98, 109	Baja: Sin corroborar. Alta: Sitio de habitación
	2	70	10	26-45	4	Sin corroborar

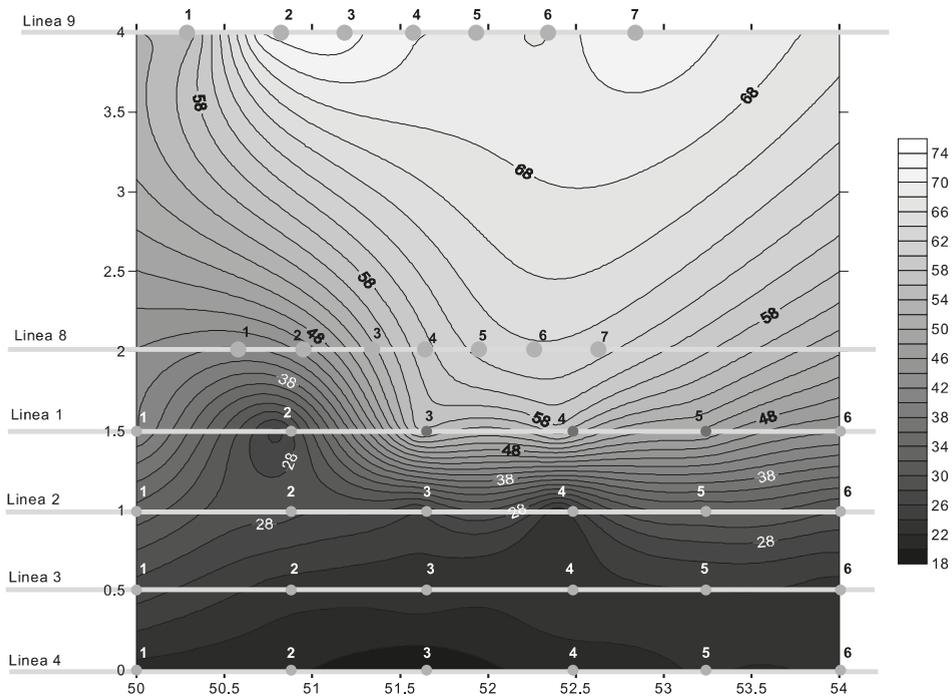


Figura 52.

Ubicación de las calicatas eléctricas con respecto a la excavación a 40 cm de profundidad.

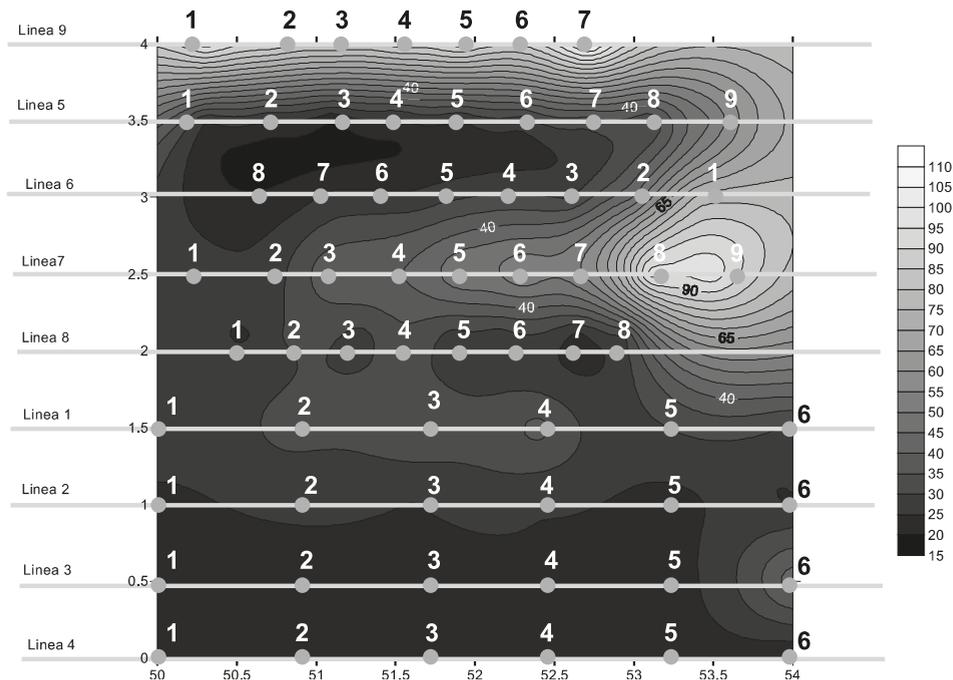


Figura 53.

Ubicación de las calicatas eléctricas con respecto a la excavación a 70 cm de profundidad.

EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Al realizar el análisis estadístico de variabilidad temporal, logramos observar diferencias entre el suelo enterrado y el paleosuelo: aunque las medias son muy parecidas, las medianas difieren al igual que la variabilidad siendo mayor a 40 cm. que a 70 cm., indicando que estos suelos son diferentes. (Figuras 54, 55).

Dada la conducta anterior, donde se observa un comportamiento diferente en los dos niveles (40cm y 70cm), para complementar los datos estadísticos, se realizó un análisis de varianza con bloques completos aleatorizados, el cual permitió ratificar, con una probabilidad de 0.92, que las medias de la resistividad con respecto a los diferentes suelos (Suelos Enterrado (35.96) y Paleosuelo (36.26)), son muy parecidas; las medias de los suelos con respecto a la ubicación, presenta las siguientes opciones que ratifican la diferencia entre ellos: El Suelo enterrado presenta medias diferentes de acuerdo a la ubicación (corte o exterior), donde la probabilidad de que esto ocurra es significativa (1.27e-07), en relación con el paleosuelo la probabilidad de que las medias sean

Tabla 9.

LÍNEAS Y RANGOS DE ANOMALÍAS EN RELACIÓN CON EL CORTE.

Suelo	Línea	Profundidad de Sondeo	No. Puntos	Rangos Resistividad (ohm-mts)	Anomalías (ohm-mts)	Correlación Arqueológica
Suelo Enterrado	1	40	6	42-50	25-56,57	Resistividad Baja: Rasgo rectangular Resistividades Altas: Sin corroborar
	2	40	6	25-33	22	Perturbación sin corroborar
	3	40	6	22-27	-	-
	4	40	6	20-23	18	Perturbación sin corroborar
	9	40	7	54-72	73	Acumulación de cerámica y líticos
Paleosuelo	1	70	6	28-34	37	Alrededores del rasgo rectangular
	2	70	6	23-27	-	-
	3	70	6	21-22	-	-
	4	70	6	20-23	-	-
	5	70	9	23-32	19	Huella de poste (rasgo4)
	6	70	8	26-32	-	-
	7	70	9	40-56	95-98	Asociada a un suelo muy compacto.
	8	70	8	24-31	9 - 24	Rasgo rectangular y huella de barreno realizado en 1999.
	9	70	7	85-98		

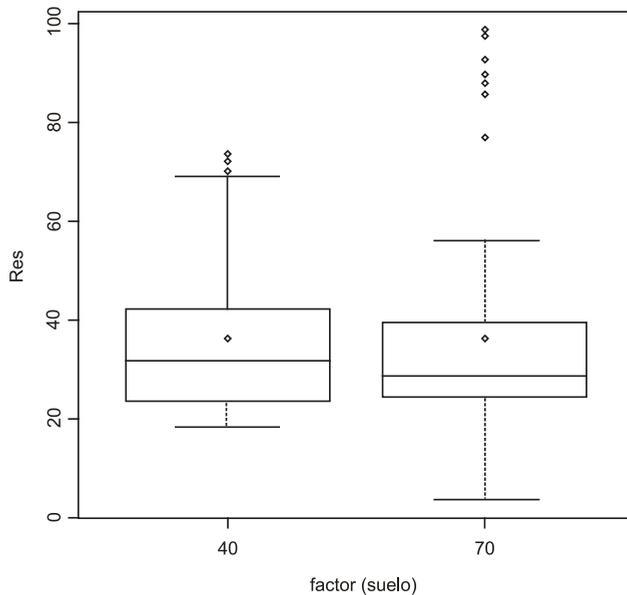


Figura 54.

Análisis de Medias, Medianas y Varianza del comportamiento de la Resistividad con respecto al tipo de Suelo.

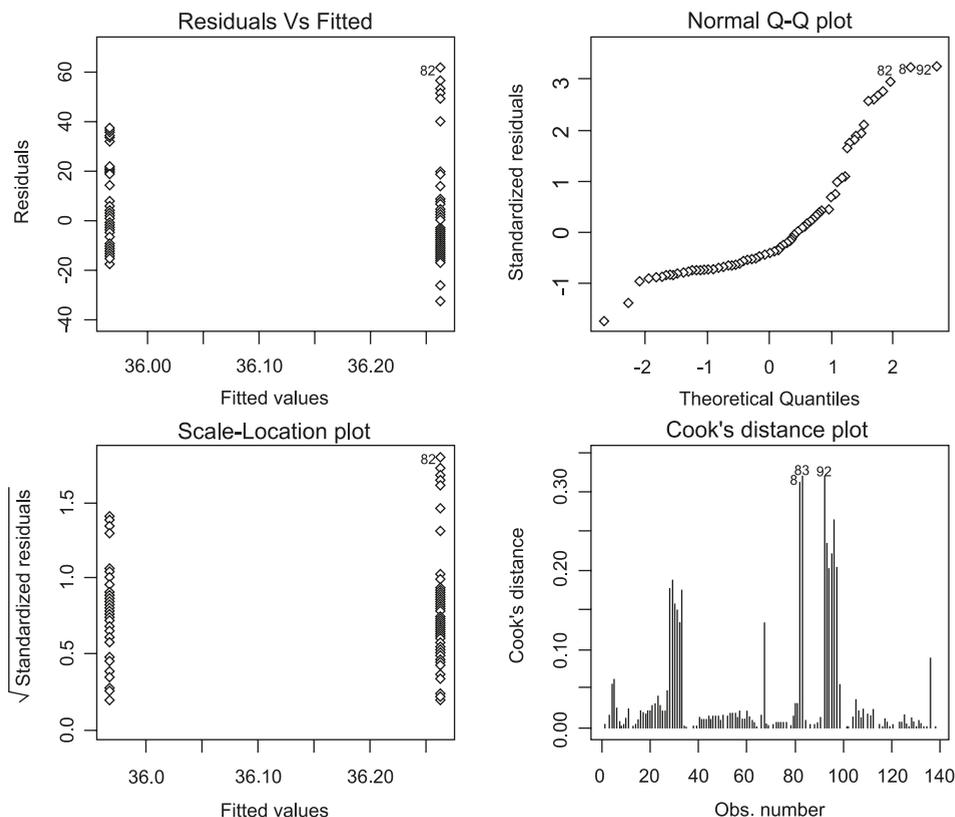


Figura 55.

Diagnóstico de Supuestos. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, Homocedasticidad, Normalidad, Independencia y Valores influenciales

diferentes es poco significativa (0.875), en cuanto a la diferencia por ubicación ya sea en el corte o en exterior, la probabilidad de que las medias sean diferentes es un poco más significativa (0.108). Es de aclarar que el nivel de significancia es muy bajo (0.004575). Así, los valores de resistividad esperados de acuerdo al suelo y a la ubicación serían los que aparecen en la Tabla 10.

Tabla 10.

VALORES ESPERADOS DE RESISTIVIDAD

	Área del Corte	Exterior
Suelo Enterrado	38,39	31,96
Paleosuelo	37,51	32,19

Al realizar los diagnósticos de supuestos, se observó que los errores no se distribuyen de una forma normal, muestran heterocedasticidad, son independientes, y no presentan valores influyentes; la probabilidad para cada uno de ellos es de $6.046e-13$, 0.03631 y 0 (Figura 55).

EL ANÁLISIS GRÁFICO

De acuerdo con la metodología empleada, los primeros datos obtenidos en **Univalle 4A** se relacionaron con dos transeptos realizados en un área de $100\text{ m} \times 20\text{ m}$, en los cuales se tomaron 20 puntos de geoeléctrica, espaciados 10 m cada uno y a profundidades de 40 y 70 cm que coincidieron con el suelo enterrado y con el paleosuelo, como puede observarse en los mapas de interpolación generados a partir del método Kriging, realizados en el programa Surfer 8 (Figuras 59, 61). Observando dichos mapas, se encontró que la parte central presenta valores altos de resistividad caracterizados por picos de 70 y 105 ohm-m , relacionados posiblemente con poca humedad, compactación y poca porosidad. Teniendo en cuenta que nuestro objetivo era el estudio de sitios de habitación y de agricultura prehispánica, los cuales supuestamente se caracterizan por la compactación y baja humedad, se tomaron como referencia estos datos y lo aportado por la investigación realizada en el año 1999 (Rodríguez y Bedoya 1999).

La figura 56 permite diferenciar siete anomalías, cuatro en el suelo enterrado y tres en el paleosuelo, las dos anomalías de mas alta resistividad se relacionan con el área escogida para la excavación; las otras anomalías de baja resistividad (19, 22 y 24), no pudieron corroborarse, pero coinciden con sitios con humedad y/o densidad aparente y/o porosidad altas. A nivel arqueológico podría corresponderse con sitios de enterramiento o depósitos.

En cuanto al área asociada a la trinchera de excavación, al realizar un análisis de las gráficas, pudimos observar que las líneas 1, 2, 3, 4, y 9, en el **suelo enterrado** presentan unas resistividades muy bajas en relación con la calibración, en la cual la resistividad esperada para un promedio de humedad entre 26% y 28% , debería estar por debajo de los 27 ohm-m . Esto indica que en el suelo existe otro factor que esta afectando la resistividad y que en este caso puede ser la porosidad o agrietamiento, generada por las propiedades vérticas de este suelo, y la densidad aparente, con valores entre 1.43 g/cm^3 y 1.45 g/cm^3 que indican una tendencia a la compactación, puesto que son valores un poco más altos que los normales para horizontes franco arcillosos a arcillosos (1.05 a 1.1 g/cm^3 , Porta *et al.* 1994).

De las cinco líneas realizadas en esta área, se observaron cinco anomalías, de las cuales tres de ellas presentaron resistividades bajas, asociadas con un

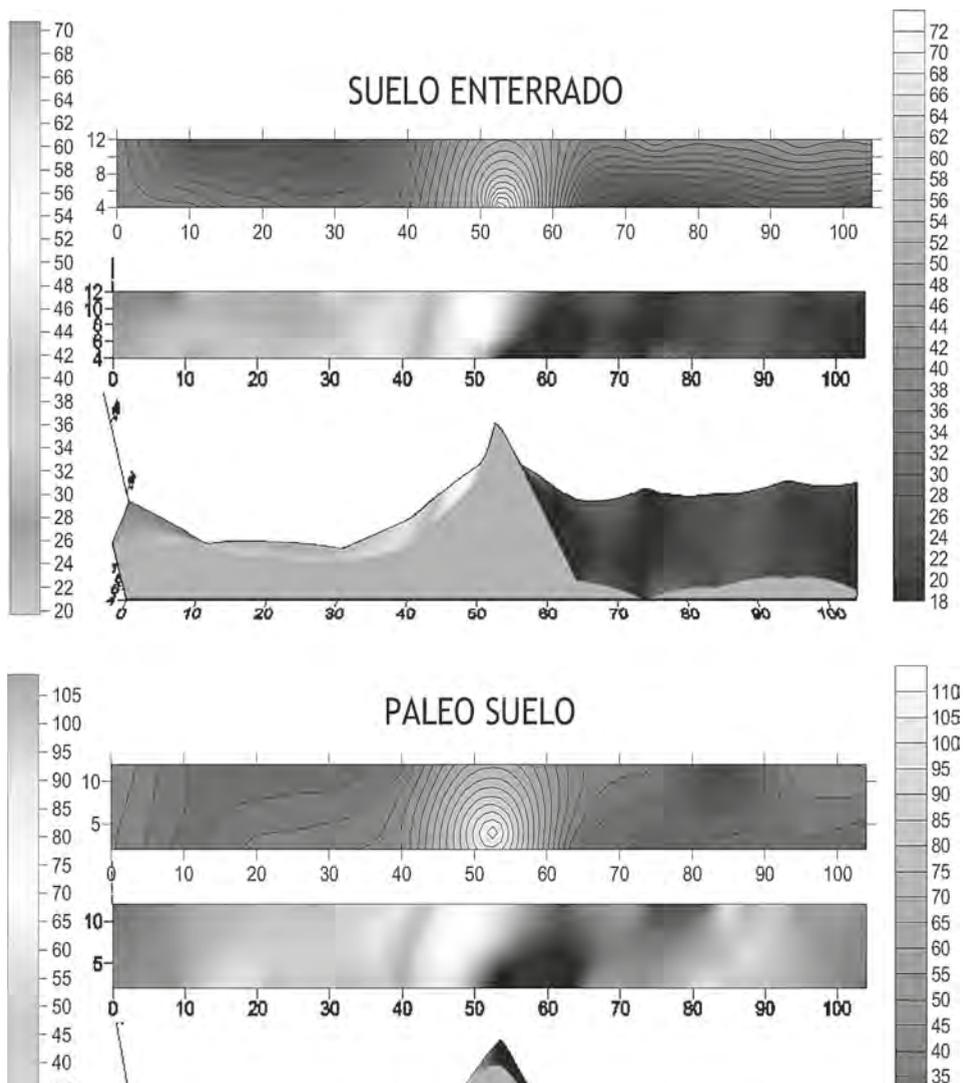


Figura 56.

Mapa de interpolación de la resistividad en el área de estudio. Parámetro para la escogencia del sitio a excavar.

aumento en la humedad o posiblemente generadas por la presencia de aire resultado del agrietamiento del suelo; una de ellas, ubicada en la línea uno se correspondió con un rasgo rectangular hallado durante la excavación, los otros dos, son rasgos sin corroborar, generados posiblemente por la compactación del suelo (Figura 57).

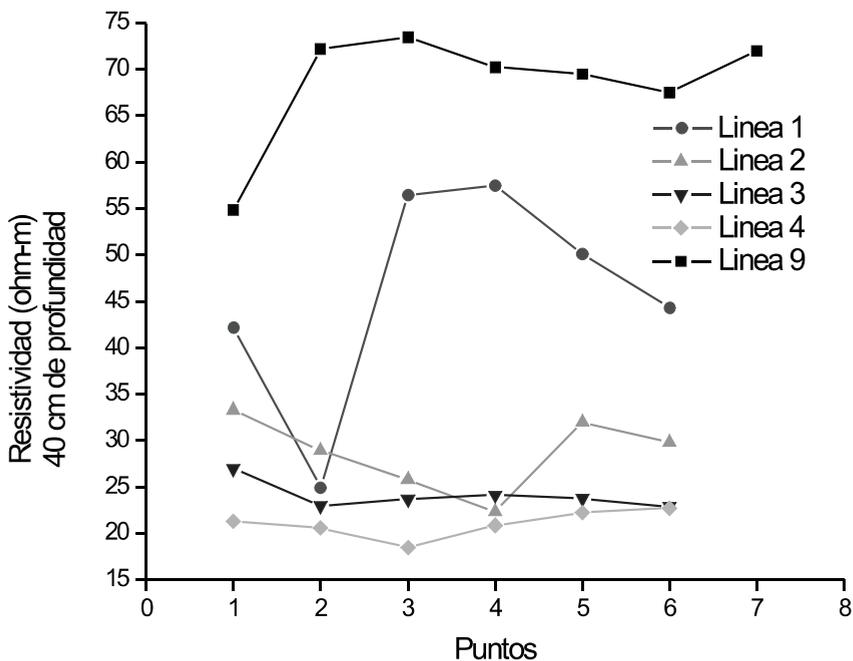


Figura 57.
Resistividad en el suelo enterrado a 40 cm. de profundidad.

Como puede observarse; la línea 9 presentó datos de resistividad más altos, esto se explica por dos razones: 1.) los datos fueron obtenidos dos meses después, en un periodo más seco, con un porcentaje de humedad promedio entre 20% y 21%; y 2.) En esta área, que se corresponde con el perfil Norte, fue encontrado por Rodríguez y Bedoya (1999), una concentración de cerámica y líticos asociados a un suelo compacto, generando un incremento en la resistividad, lo que se corresponde con la anomalía de resistividad alta que fue generada por la compactación (la densidad aparente para esta zona es de 1.47 a 1.49 g/cm³, la falta de humedad y/o de presencia de aire o de grietas. Los datos de resistividad para este suelo coinciden en que a valores bajos de densidad aparente, la resistividad es mayor; es decir, son inversamente proporcionales (Figuras 57, 58).

En el **suelo enterrado**, se puede observar que el área de más alta resistividad es el norte, correspondiendo con el área del corte de excavación, donde se encontró la mayor concentración de cerámica y líticos, que de acuerdo con Rodríguez y Bedoya (1999), es parte de un piso de vivienda (Figura 59). También pueden verse unos puntos sobresalientes, de altas resistividades y de

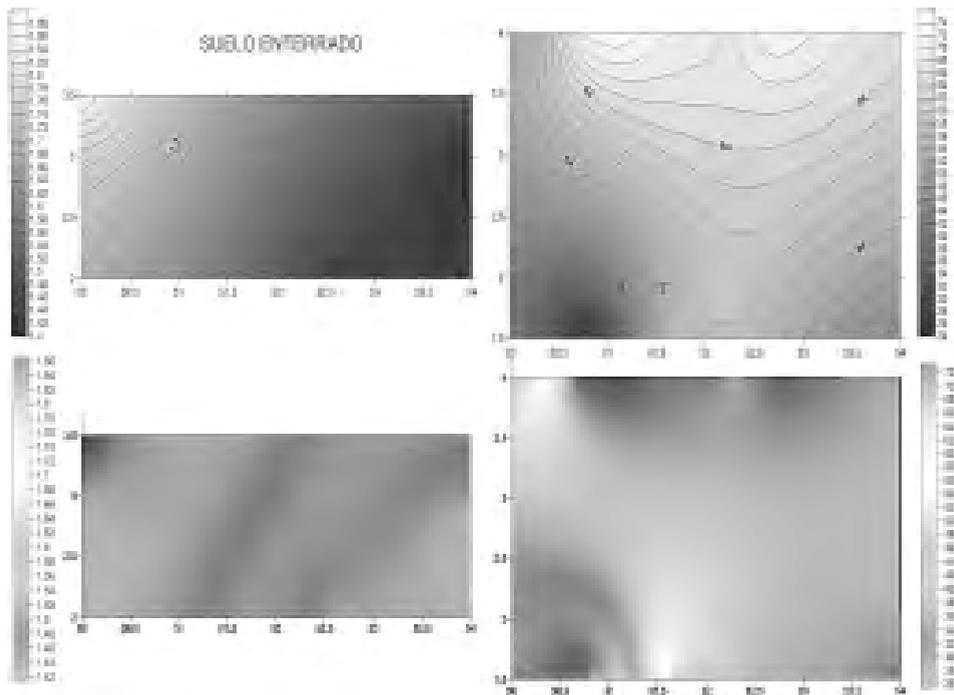


Figura 58.

Mapa de interpolación de la densidad aparente vs. Resistividad en el corte de excavación.

resistividades bajas que se corresponden con las líneas 1 y 2. En la primera, coincidió con el rasgo rectangular, la segunda, es una perturbación que no pudimos corroborar.

Para el **paleosuelo** el análisis de las gráficas permite observar que las resistividades en general son más altas que lo esperado, donde las líneas 1, 5 y 8 presentan seis anomalías (Figuras 60, 61). De acuerdo a la calibración, el grado de resistividad para el promedio de humedad entre 20% y 36%, debería estar en el rango de 6 a 23 ohm-m, y para este caso, la resistividad es mayor de 23 ohm-m. Esto indica que al igual que el suelo enterrado, en el paleosuelo existe otro (s) factor (es) que afecta la resistividad, que puede ser la porosidad y la densidad aparente, aunque también debe considerarse que el suelo es antiguo, generado en otro ambiente, posiblemente más húmedo (humedad del suelo o del exterior), y que además se encuentra enterrado por una capa de sedimento y por un suelo enterrado.

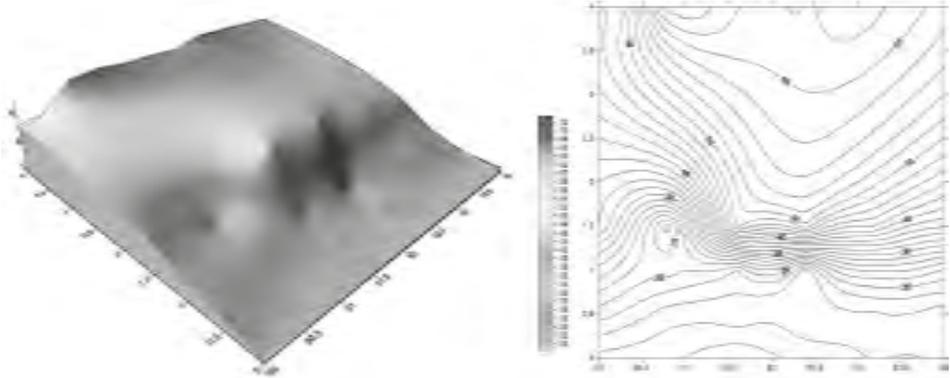


Figura 59.

Mapa de interpolación de la distribución de resistividad del suelo enterrado a 40 cm de profundidad.

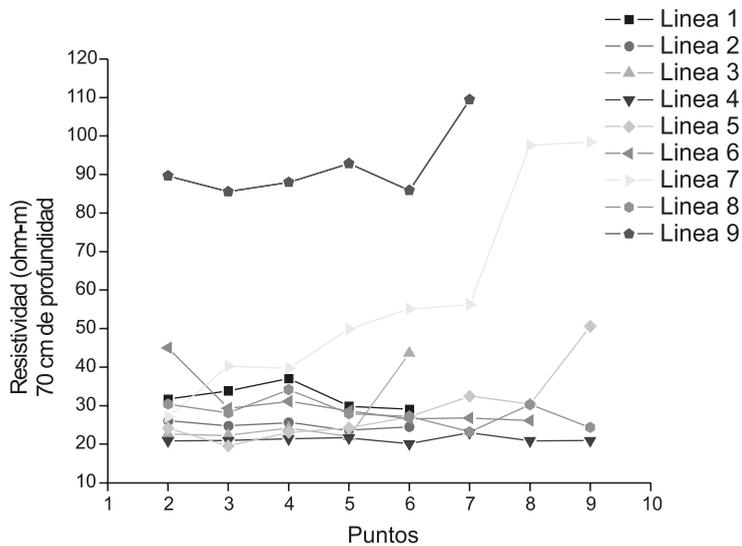


Figura 60.

Resistividad en el paleosuelo (70 cm. de profundidad).

De las nueve líneas para el paleosuelo, se observaron seis anomalías, que presentaron resistividades bajas en las líneas cinco y ocho, asociadas con un aumento de la humedad y/o en la porosidad y que en la línea cinco coincidió, con la huella de un poste de vivienda (rasgo 1, el cual tiene su origen en el suelo enterrado y se profundiza hasta el paleosuelo); en la línea ocho, coincidió

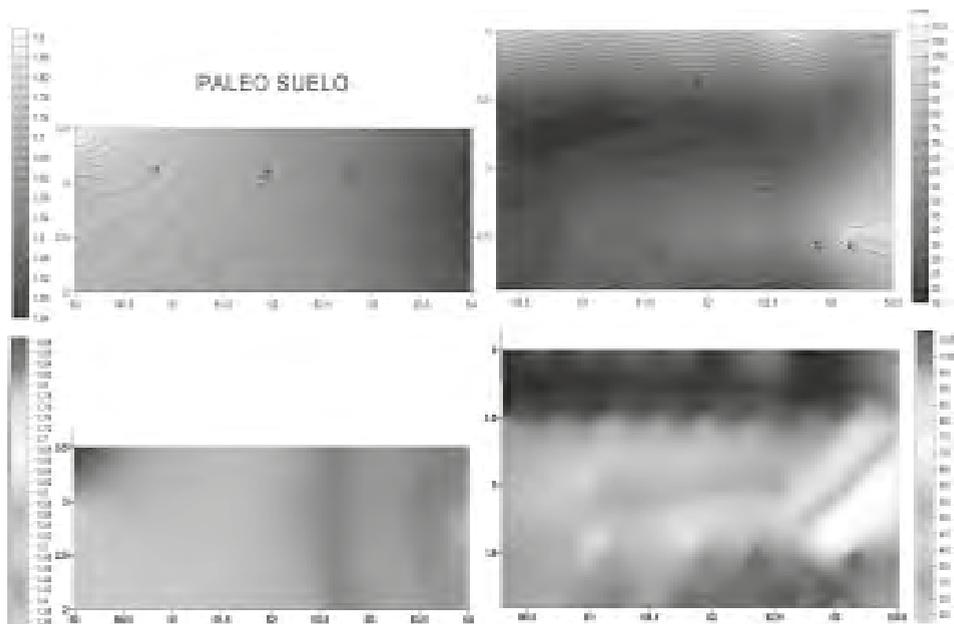


Figura 61.
Densidad aparente vs. Resistividad en el corte de excavación.

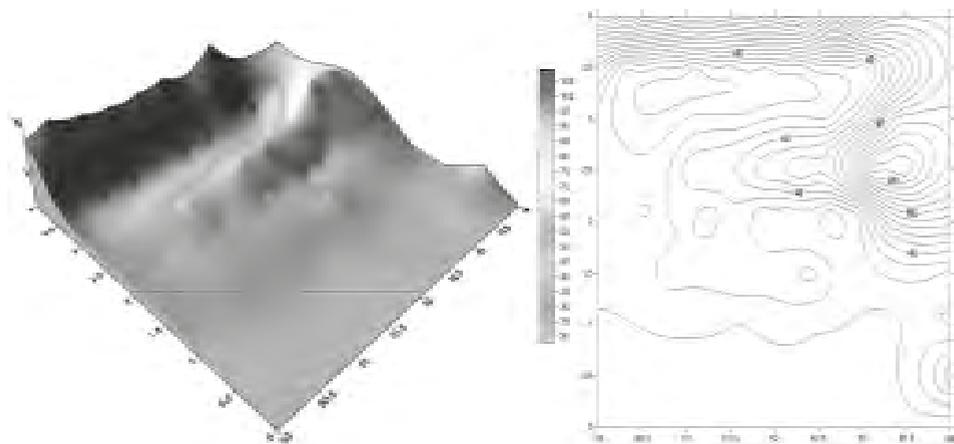


Figura 62.
Mapa de interpolación de resistividad del Paleosuelo a 70 cm de profundidad.

en la excavación con un rasgo rectangular (rasgo 4) y la huella de un barreno (alteración 1), realizado en el año de 1999, por Rodríguez y Bedoya 1999 (Figuras 61, 62).

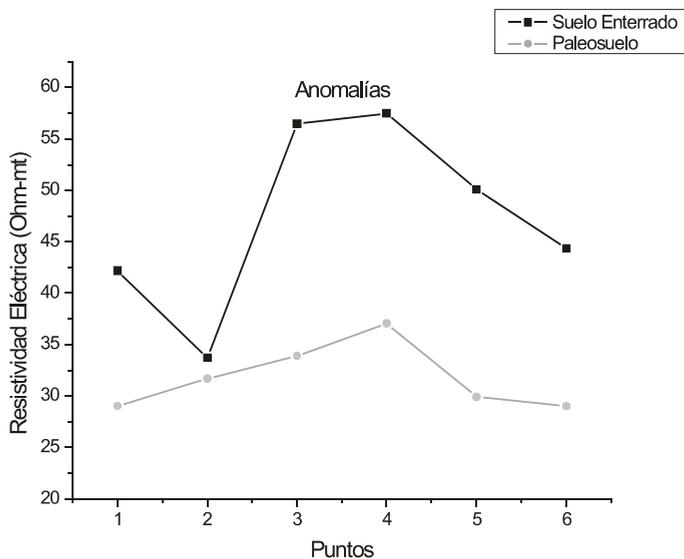


Figura 63.

Comparación en una de las líneas del suelo enterrado con el paleosuelo.

Al igual que en el suelo enterrado, los datos de la línea nueve son diferentes de los demás, dado que fueron tomados meses después de las otras líneas, en un periodo mas seco con humedades entre 27% y 34%. De acuerdo a la figura 63, las anomalías con resistividades altas que se presentan en el Suelo enterrado, se observan nuevamente en el paleosuelo, aunque estos valores no son tan altos. También se ratifica la anomalía relacionada con el rasgo rectangular (rasgo 4). Adicional podemos observar la anomalía del rasgo uno de 19 ohm-mt.

De tal forma, por medio de la calibración logramos observar que los tres horizontes presentaron respuestas de resistividad diferentes de acuerdo al porcentaje de humedad, conservando el principio de la resistividad donde la humedad es inversamente proporcional (si la humedad es alta, la resistividad es baja y viceversa). Además logramos establecer que el horizonte Apb2 presentó diferencias en las respuestas de humedad, tendiente a mantenerla por más tiempo que los otros dos horizontes esto puede estar dado por la diferencia en la cantidad de arcillas, limos y arenas (Textura), de los horizontes. Esto permite inferir que en periodos secos, la resistividad en este horizonte puede ser menor que en los otros.

En general, encontramos que además existen otros factores que alteran la resistividad, como la densidad aparente, la porosidad y la textura. La resistividad fue muy baja en los tres horizontes. Cuando la humedad baja un 40% en el Apb1 y ABb2 aproximadamente, la resistividad se incrementa casi en un 250% en dichos horizontes, y en el horizonte Apb2 en un 150%. Cuando la humedad es mas baja del 10%, se genera una anomalía que es más alta en el horizonte Apb2, continuando con el Apb1 y terminando con el ABb2. El horizonte Apb1 responde fácilmente a los cambios de humedad.

De acuerdo a los puntos tomados directamente en terreno en Univalle 4A, la resistividad en general es baja, oscila entre rangos de 20 a 70 ohm-mt, con un porcentaje de humedad promedio entre 21% y 24%, con un volumen de poros por centímetro cúbico entre 62 y 72%, una microporosidad entre 43% y 52% y una macroporosidad entre 8% y 12%; donde las anomalías que se presentan son por huellas de poste y por rasgos rectangulares. También, a partir de su análisis tanto estadístico como de gráficas, se logró diferenciar claramente los dos suelos, el suelo enterrado y el paleosuelo, los cuales presentaron las siguientes características:

El suelo enterrado presentó resistividades más altas que el paleosuelo. Estas oscilaron entre 20 y 50 ohm – m, con una humedad promedio entre 21% y 24%, un volumen de poros por centímetro cúbico de 62% y 66%, una microporosidad de 43% y una macroporosidad entre 9% y 12% . Mientras el paleosuelo tenía resistividades más bajas que el suelo enterrado. Estas oscilaron entre 20 y 30 ohm – m, un porcentaje de humedad un poco mayor que el suelo enterrado entre 23% y 25%, un volumen de poros por centímetro cúbico también mayor entre 66% y 72%, una microporosidad también mayor entre 46% y 52% y una macroporosidad más baja entre 8% y 9%.

Y finalmente, creemos que es necesario tener en cuenta algunas consideraciones que consideramos de gran importancia. En primer lugar; dadas las características de los suelos encontrados en Univalle 4A, podemos inferir que la resistividad en ellos depende no solo de la humedad. La porosidad, la densidad aparente y el tipo de suelo son factores que deben ser considerados a la hora de hacer cualquier análisis para este sitio.

Por otro lado, la utilización de métodos geofísicos en la prospección arqueológica está tomando una gran importancia en la Arqueología moderna. Sus resultados se están convirtiendo en elementos imprescindibles para la formulación de las diferentes estrategias de prospección y excavación que implementan los arqueólogos en el campo. Dentro de las ventajas que ofrecen la geoeléctrica a la investigación de sitios de habitación prehispánica, es que es un método no intrusivo; es decir, no destruye la integridad del sitio, y aporta

suficiente evidencia para decidir donde concentrar los recursos agilizando la excavación.

Para el uso de este método es necesario integrar los datos con las observaciones directas y con los datos y conocimientos del arqueólogo. Así, los análisis geoelectricos permiten observar las alteraciones antrópicas registradas a partir de cambios en la resistividad eléctrica del suelo. Por ejemplo, la arquitectura en piedra o huecos rellenos con arena o grava pueden aparecer como anomalías con altas resistividades; en contraposición, los huecos enriquecidos con materia orgánica, limos, arcillas, así como suelos altamente salinos pueden aparecer como anomalías con bajas resistividades. En sitios de tumbas, las anomalías que representan las cámaras son muy evidentes, sus rangos de resistividad son más altos que las anomalías que se presentan en los pozos.

En Colombia, la implementación de métodos de prospección basados en la resistividad eléctrica apenas comienza y parece tener un futuro en los trabajos interdisciplinarios entre geofísicos y arqueólogos. El caso de la Universidad del Valle, sede Meléndez y del Cementerio Prehispánico de Guacandá en Yumbo es muy importante, porque por primera vez en el país se ha podido validar el método de los cuatro electrodos en su aplicación a la prospección de sitios de habitación y agricultura y de enterramientos prehispánicos.

En el caso específico de en la Universidad del Valle, la resistividad es muy baja, observándose anomalías que nos remiten a sitios de habitación, como es el caso de las huellas de poste y la acumulación de material cerámico y lítico, además, de aportar a la diferenciación de los horizontes de suelo.

LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN ELECTROTÉRMICA

EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Teniendo en cuenta que el método electrotérmico permite determinar el estado estructural de compactación y el contenido de materia orgánica de los suelos, a partir del análisis del comportamiento térmico y que este análisis depende de la composición mineral, la fracción de volumen de agua y aire, contenido de materia orgánica, y el tamaño, la forma y el arreglo espacial de las partículas del suelo, podemos concluir en el caso arqueológico, a partir del análisis comparativo de la estructura del suelo, las alteraciones causadas por la presencia antrópica, manifiestas en el estado de compactación y la cantidad de materia orgánica.

Así pues, la conductividad térmica (λ), es una propiedad física diferente en cada material porque depende de su composición y arreglo; entonces, su análisis permite evaluar la estructura del suelo, proporcionando una visión real

de su dinámica, tanto a nivel de compactación como de contenido de materia orgánica (Zúñiga 2001). En el suelo, a partir de este método se puede diferenciar grupos estructurales con una alta significancia, obteniendo diferencias en la utilización del suelo.

Reyes y Viera (2001) en su tesis de pregrado “Efecto de cuatro sistemas de labranza en la compactación de un suelo vertisol de Palmira (Valle) y su relación con el comportamiento térmico”, asesorados por Orlando Zúñiga, desarrollaron la sonda electrotérmica como una herramienta útil, práctica y confiable para estudiar el comportamiento de distintos materiales debido a la excitación térmica de los mismos, reportando que esta propiedad física depende de características como: densidad aparente, porosidad, humedad volumétrica, materia orgánica y textura, donde la conductividad térmica puede ser utilizada como indicador confiable del estado de compactación del suelo, y que al complementar la información obtenida con el conocimiento de estas propiedades tanto físicas, químicas como biológicas, se puede deducir de una manera integral y más acertada sobre el verdadero estado de degradación del suelo.

Específicamente en la investigación del sitio arqueológico Univalle 4A el método electrotérmico se utilizó para observar las diferencias entre los horizontes de suelo a partir, no solo del análisis de compactación sino de reserva energética, tratando de verificar las diferencias tanto a nivel temporal como espacial. Para obtener la reserva energética, se toman los datos de conductividad térmica y se le suma la información de la actividad microbiana del suelo; este análisis es importante como indicador cuantitativo de la energía de reserva del suelo, de su riqueza guardada para futuros procesos productivos y para los ciclos naturales del suelo (Rojas 2002).

A continuación se presentan los resultados de la conductividad térmica y su grado de relación con las propiedades físicas de Densidad Aparente, Humedad, Evapotranspiración, Microporosidad y Macroporosidad en Univalle 4A. Para ello se efectuó una correlación y se realizó un análisis estadístico en busca de componentes principales que influyen los suelos; estos resultados se compararon con los datos de conductividad térmica, encontrando que dichas propiedades presentaron mayor variabilidad en los datos que la conductividad térmica, brindando poca facilidad para la observación espacial e incluso para la temporal. Por el contrario la conductividad térmica al presentar datos más ajustados y poco variables presenta la posibilidad de observar diferencias.

Al implementar los estudios electrotérmicos, inicialmente se realizó un análisis exploratorio de las variables de Conductividad Térmica, Densidad Aparente, Humedad, Evapotranspiración, Microporosidad y Macroporosidad, buscando la variabilidad en la distribución de los datos tanto en el Suelo

enterrado como en el Paleosuelo, y ver que tan comparables eran. Dicho análisis permitió establecer que la escala presentó variabilidad, dado que la Evapotranspiración y la Microporosidad mostró valores mayores (tanto en el suelo enterrado como en el paleosuelo), tal y como se puede observar en el valor mínimo y máximo de las medidas de tendencia general, sugiriendo mayor influencia a las demás variables (Tablas 11, 12).

Por otra parte, si miramos los parámetros de normalidad (Tablas 11, 12), en el suelo enterrado, se observa un comportamiento normal para la evapotranspiración, microporosidad y macroporosidad. La densidad aparente, la humedad y conductividad térmica no cumple con los requisitos de normalidad. Así lo muestra la prueba de normalidad donde el valor p para las variables normales es más bien alto (0.83, 0.45 y 0.92 respectivamente), permitiendo aceptar la hipótesis de normalidad, mientras para la densidad aparente, la humedad y la conductividad térmica dicho valor es bajo (0.01, 0.03 y 1.478e-05 respectivamente), posibilitando que se rechace la hipótesis de normalidad. En el paleosuelo la humedad y la evapotranspiración presentan valores normales de 0.31, 0.91, y 0.16, respectivamente, mientras que la densidad aparente, la microporosidad, la macroporosidad y la conductividad térmica no se comportan normal con valores p de 0.008, 0.0044, 0.035 y 6.032e-05, respectivamente (Tabla 12).

En las figuras 64 y 65 podemos observar como los datos presentan gran variación, donde no es posible identificar a priori una tendencia en el suelo enterrado; sin embargo, en el paleosuelo se observa una tendencia entre la micro y macroporosidad con la evapotranspiración.

Tabla 11. MEDIDAS DE TENDENCIA GENERAL Y VALORES DE NORMALIDAD (VALOR P), PARA CADA UNO DE LOS FACTORES EN EL SUELO ENTERRADO.

	Densidad Aparente (g/cm ³)	% Humedad	%Evapo Transpiración	% Microporosidad	% Macroporosidad	Conduct. Térmica (Cal/cm.s.°C) *10 ⁻³
Min.	1.380	7.60	44.31	36.07	2.37	5.040
1st Qu	1.430	19.93	50.20	41.85	7.52	6.935
Median	1.470	24.75	55.90	43.23	10.10	12.160
Mean	1.551	23.26	54.22	43.43	10.79	20.029
3rd Qu	1.630	27.66	58.25	44.61	13.94	17.915
Max	1.910	29.49	63.55	51.59	17.67	108.520
Valor p	0.01446	0.03755	0.8309	0.4525	0.9256	1.478e-05

Tabla 12.

**MEDIDAS DE TENDENCIA GENERAL Y VALORES DE NORMALIDAD (VALOR P),
PARA CADA UNO DE LOS FACTORES EN EL PALEOSUELO**

	Densidad Aparente (g/cm ³)	% Humedad	%Evapo Transpiración	% Microporosidad	% Macroporosidad	Conduct. Térmica (Cal/cm.s.°C) *10 ⁻³
Min.	1.290	19.15	46.89	27.04	3.120	0.070
1st Qu	1.365	26.04	54.08	44.03	7.370	9.535
Median	1.420	28.36	57.52	47.98	9.515	10.860
Mean	1.505	28.03	57.27	46.60	10.864	22.184
3rd Qu	1.627	31.35	61.48	51.85	13.873	16.052
Max	1.890	35.31	65.92	53.02	28.220	85.800
Valor p	0.008298	0.3127	0.9102	0.004486	0.03544	6.032e-05

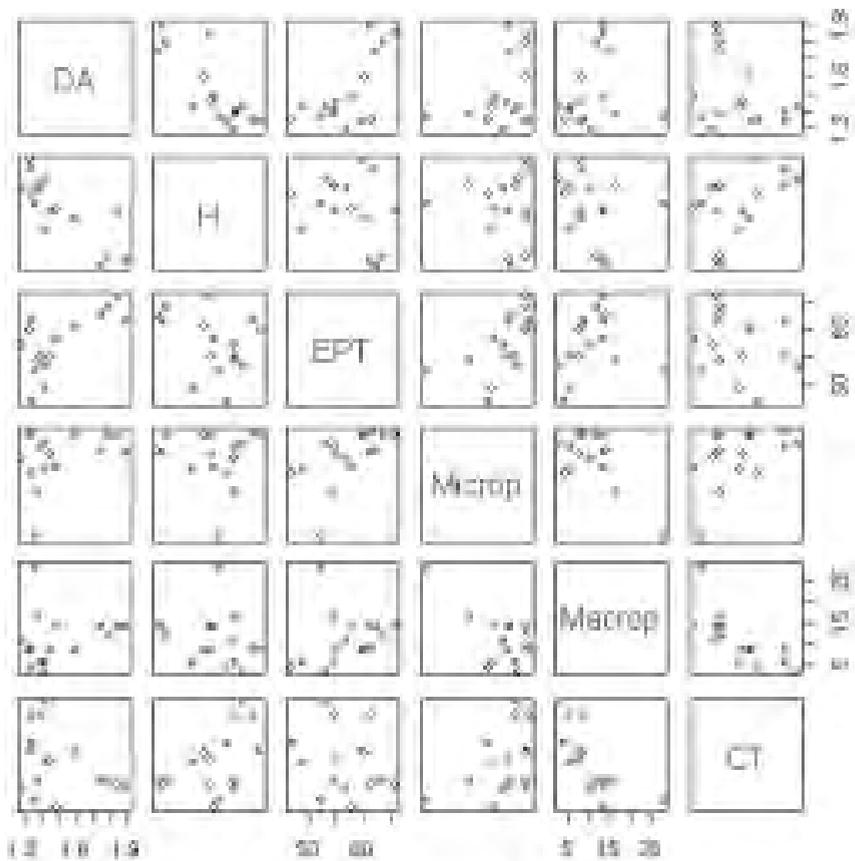


Figura 64.
Relación entre las variables del suelo enterrado.

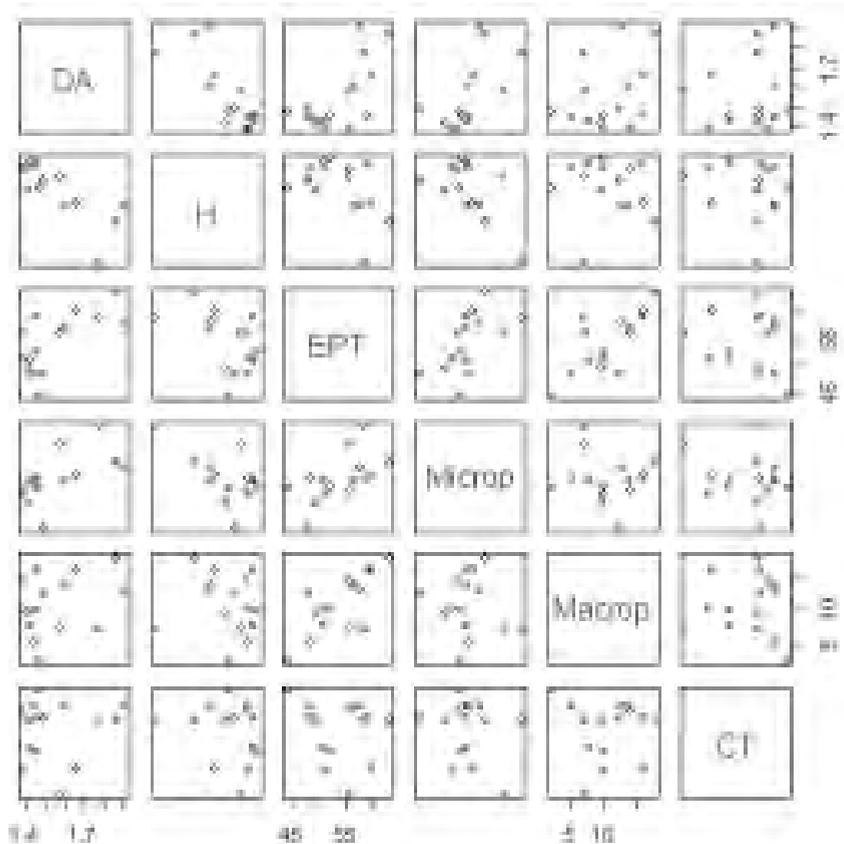


Figura 65.
Relación entre las variables del paleosuelo.

Adicionalmente, para ambos suelos, se observa un intervalo más abierto entre los datos de las variables humedad, evapotranspiración, microporosidad y macroporosidad que las hace aparecer como variables continuas; en cambio en las variables de densidad aparente y conductividad térmica, el intervalo es más reducido y repetitivo, apareciendo como variables discretas (Figuras 64, 65).

De esta forma, en el análisis exploratorio se observa variabilidad en la distribución de los datos, donde las variables no son comparables porque dos de ellas (tanto del suelo enterrado como del paleosuelo), manejan rangos muy altos, a comparación de las otras, que manejan rangos bajos (Figuras 66, 67).

Así mismo, en el suelo enterrado cuatro de las variables se comportaron normales, las otras tenían otro tipo de distribución, y en el paleosuelo, tres de ellas se comportaron normales, y las otras presentaron otro tipo de distribución (tabla 9 y 10). Es decir, se detalla un problema en la escala en los datos. Este

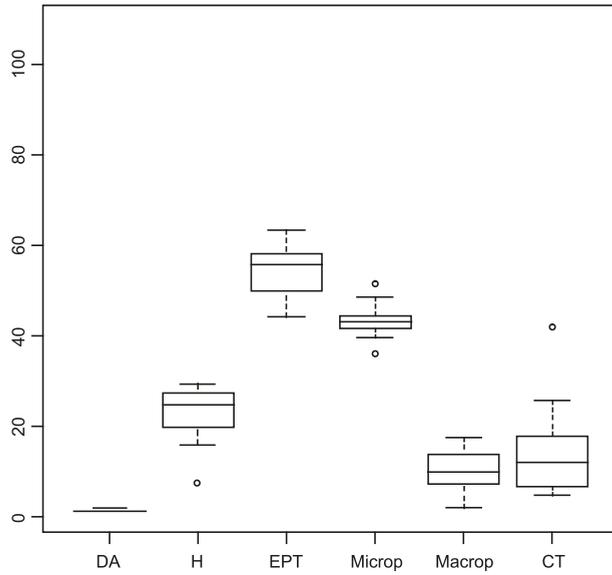


Figura 66.

Análisis de la variabilidad de los datos físicos en el Suelo Enterrado.

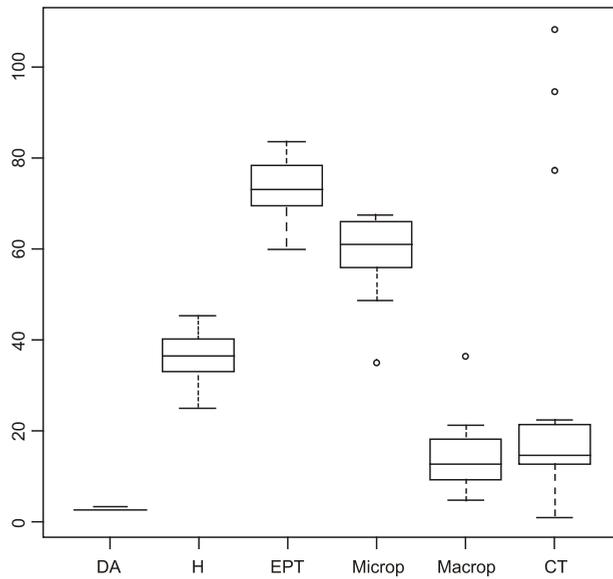


Figura 67.

Análisis de la variabilidad de los datos físicos en el Paleosuelo.

problema es por la toma de las muestras cuyos resultados son diferentes: para la Densidad aparente la medida es en **g/cm³**, la humedad, evapotranspiración, microporosidad y macroporosidad, la medida es en porcentaje (%), y de la Conductividad térmica se obtienen (**Cal/cm.s.°C**)*10⁻³. Dadas estas características, para comparar las muestras y hacer los análisis de correlación, se sugiere la estandarización.

EL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ESTANDARIZADO

Los datos se estandarizaron para hacer las comparaciones del caso. Al realizar el análisis de correlación en el Suelo enterrado (Tabla 13), se observa que la conductividad térmica presenta mayor correlación con la macroporosidad (0.293), siguiéndole en importancia la evapotranspiración (0.199) y por último la densidad aparente (0.064), mientras que para las demás variables presenta una correlación negativa.

Para el paleosuelo, en el análisis de correlación (Tabla 14), se observa que la conductividad térmica presenta correlación negativa con la densidad aparente la evapotranspiración y la microporosidad (-0.348, -0.131, y -0.593), mientras que para las demás variables presenta una correlación positiva, siendo mayor para la macroporosidad (0.534) es decir que el porcentaje de macroporosidad y humedad (0.1428), esta influenciando la conductividad térmica.

Tabla 13. CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES EN EL SUELO ENTERRADO.

	DA	H	EPT	Microp	Macrop	CT
DA	1.00000000	-0.7747241	0.6729120	0.59331219	0.3360102	0.06431077
H	-0.77472412	1.00000000	-0.4838491	-0.58326779	-0.1121835	-0.11085570
EPT	0.67291198	-0.4838491	1.00000000	0.58685238	0.7430422	0.19978317
Microp	0.59331219	-0.5832678	0.5868524	1.00000000	-0.1058267	-0.05881649
Macrop	0.33601025	-0.1121835	0.7430422	-0.10582668	1.00000000	0.29392372
CT	0.06431077	-0.1108557	0.1997832	-0.05881649	0.2939237	1.00000000

Tabla 14. CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES EN EL PALEOSUELO.

	DA	H	EPT	Microp	Macrop	CT
DA	1.00000000	-0.80772018	0.6607767	0.33211708	0.2047931	-0.3487585
H	-0.8077202	1.00000000	-0.3204765	-0.03448455	-0.2374732	0.1428894
EPT	0.6607767	-0.32047650	1.00000000	0.49454084	0.3186751	-0.1317149
Microp	0.3321171	-0.03448455	0.4945408	1.00000000	-0.6662421	-0.5939752
Macrop	0.2047931	-0.23747323	0.3186751	-0.66624206	1.00000000	0.5348452
CT	-0.3487585	0.14288944	-0.1317149	-0.59397520	0.5348452	1.00000000

Así mismo, en las tablas 13 y 14 puede observarse que la mayor relación la presentan la evapotranspiración con la macroporosidad (0.743), en el suelo enterrado y la densidad aparente con la evapotranspiración (0.660), en el paleosuelo. Estos datos de correlación, permite ampliar las características de los suelos de **Univalle 4A** y corroborar que se trata de dos suelos diferentes con comportamientos diferentes.

EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ESTANDARIZADO

A partir del análisis de componentes principales en el suelo enterrado, se observó como la variabilidad en los datos de densidad aparente es la que más esta influyendo en el componente principal 1, con una representación de 0.520, siguiendo en orden de importancia la variabilidad en los datos de evapotranspiración con 0.511, y por último la microporosidad con 0.422. Para el componente principal 2 la que más explica la variación en los datos es la macroporosidad con 0.768. Es decir, la variación de los datos en el componente principal uno, se explica por la densidad aparente, y en componente principal 2, por la macroporosidad, observándose una tendencia entre los datos. (Tabla 15). Además, en la figura 68 se observa que en este caso la variable que menos influencia tiene en el suelo es la humedad, contrario de la densidad aparente y la macroporosidad.

En el paleosuelo, la variación en los datos de la densidad aparente también es la que más esta influyendo en el componente principal 1, con una representación de 0.614, siguiendo en orden de importancia la evapotranspiración con 0.526 y por último la microporosidad con 0.259. Para el componente principal 2 la que más explica la variación en los datos también es la macroporosidad con 0.692. Es decir, que la variación en los suelos se puede explicar mejor por la relación con la densidad aparente que es el que más representatividad tiene en el componente principal 1, siguiéndole en importancia la macroporosidad que representa el componente principal 2, además, la figura registra una tendencia entre los datos. (Tabla 16, Figura 69).

De tal forma, los resultados obtenidos permiten asegurar que la conductividad térmica depende de otras características físicas del suelo independientemente de la humedad; y que para cada suelo, la representación de estas características es diferente. Estos cambios en estas características pueden estar dados también por el uso y manejo de los suelos en el pasado. En ambos casos, para el análisis de la conductividad térmica, se debe tener en cuenta la densidad aparente y la macroporosidad que al parecer para estos suelos es bastante importante, influyendo en la variabilidad de los datos de las demás variables.

Tabla 15.

COMPONENTES PRINCIPALES ESTANDARIZADOS PARA EL SUELO ENTERRADO.

	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5
DA	0.520		0.349	0.774	
H	-0.461	0.311	-0.569	0.605	
EPT	0.511	0.326	-0.377	-0.133	-0.687
Microp	0.422	-0.445	-0.639		0.463
Macrop	0.279	0.768		-0.122	0.560

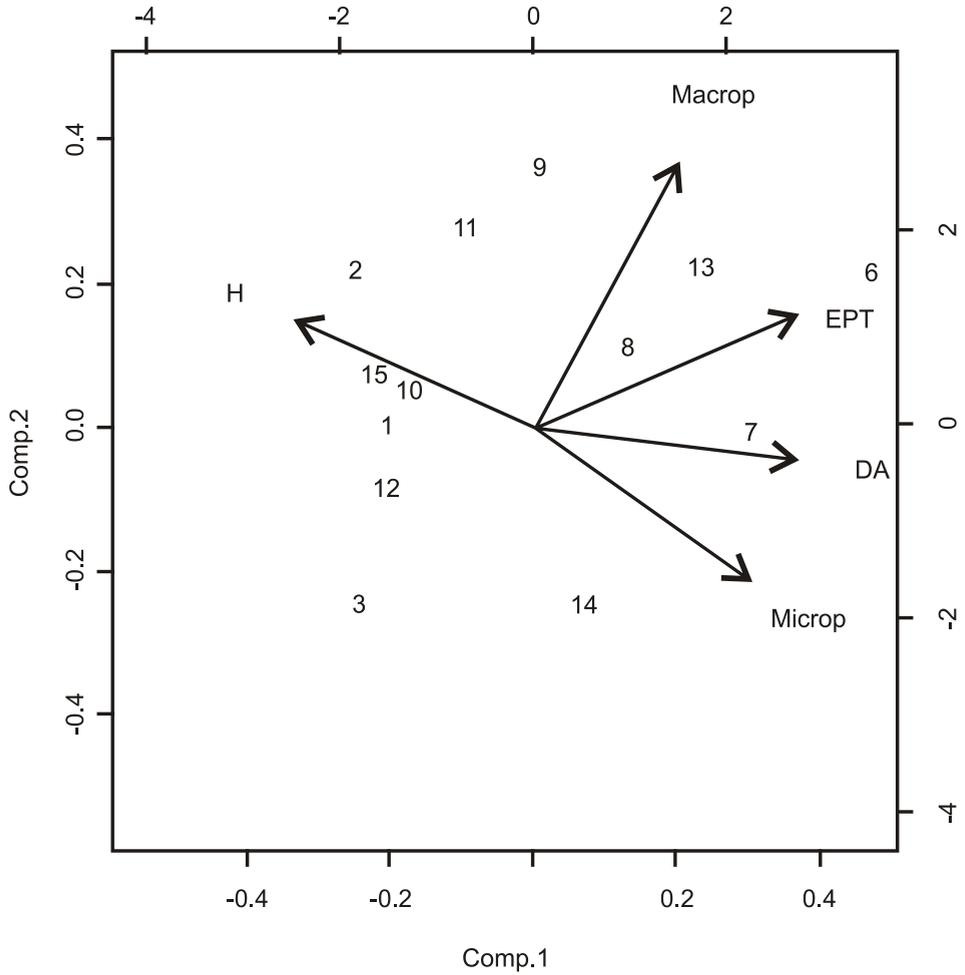


Figura 68.

Representación de los componentes principales estandarizados del Suelo Enterrado.

Tabla 16.

COMPONENTES PRINCIPALES ESTANDARIZADOS PARA EL PALEOSUELO.

	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5
DA	0.614		0.203	0.763	
H	-0.501	-0.185	-0.622	0.573	
EPT	0.526		-0.634	-0.252	-0.502
Microp	0.259	-0.693	-0.146	-0.155	0.638
Macrop	0.168	0.692	-0.385		0.585

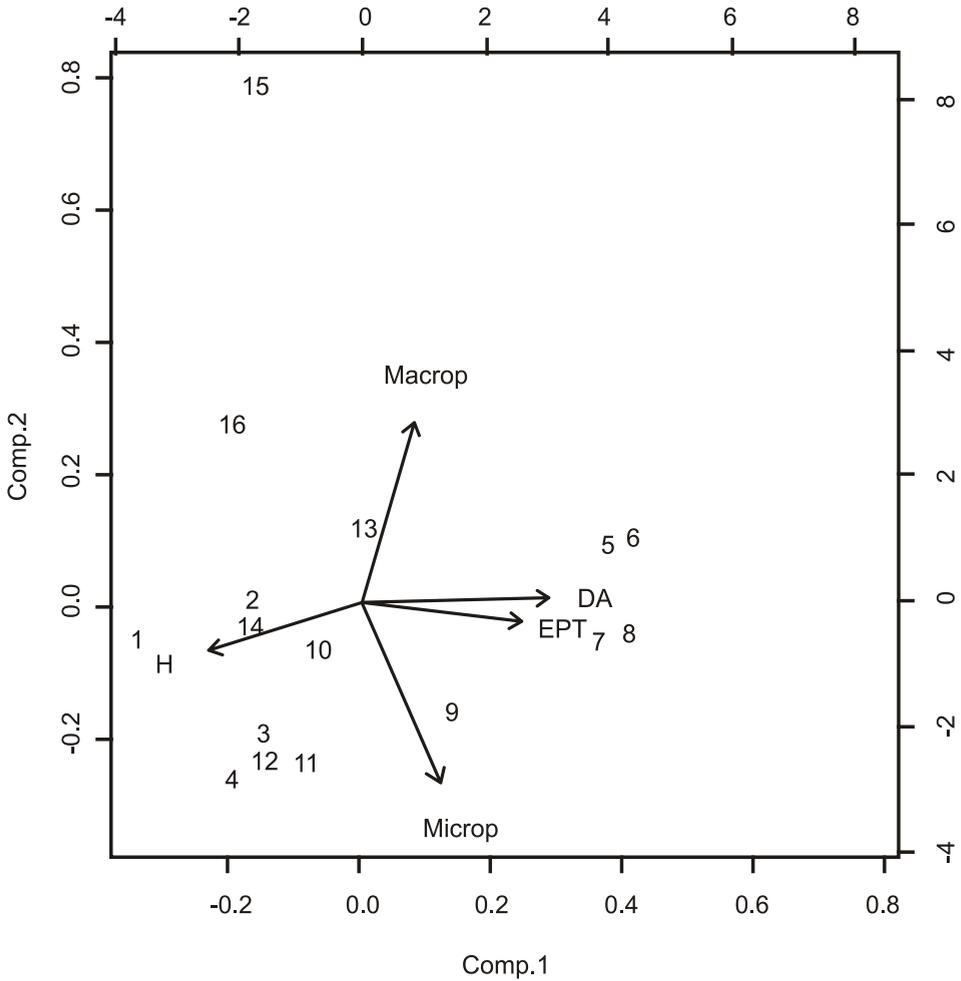


Figura 69.

Representación de los componentes principales del paleosuelo.

EL ANÁLISIS GRÁFICO

Para la electrotérmica se tomaron muestras con barreno en 8 puntos, con muestreos a 4 profundidades, obteniendo para el suelo enterrado 15 muestras de suelo y para el paleosuelo 16; de los puntos, 6 se ubicaron dentro del corte de excavación y los otros 2 en sondeos que se realizaron en el área. Este análisis permitió ubicar diferencias en los horizontes de suelo, en la conductividad térmica, tanto a nivel espacial como temporal, con conductividades altas y bajas, asociadas con actividad antrópica prehispánica, que se correspondió con suelos compactados, huellas de postes de vivienda y rasgos rectangulares. Específicamente, permitió diferenciar el suelo enterrado del paleosuelo, donde la tendencia es a presentar mayor valor de resistividad el paleosuelo que el suelo enterrado (Figura 70), aunque es claro que se presentan algunas irregularidad que están relacionadas con la ubicación; es decir, el perfil Sur presenta un comportamiento diferente de conductividad térmica que el perfil Oeste y que el perfil Este.

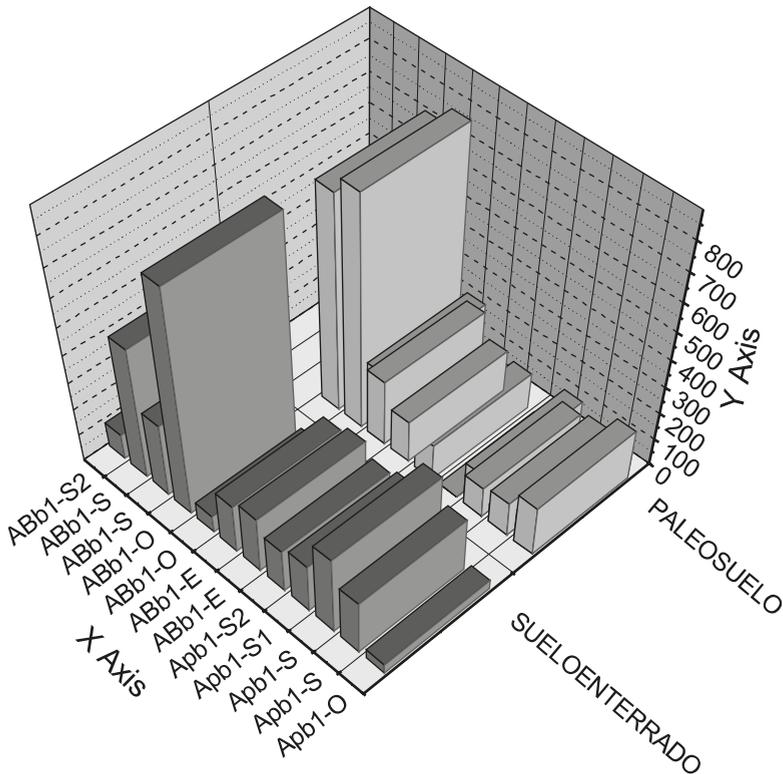


Figura 70.

Comparación de la conductividad térmica del suelo enterrado y el paleosuelo.

Al hacer el análisis espacial de interpolación de los datos físicos, se elaboraron los mapas de conductividad térmica ($\text{Cal}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}\cdot\text{s}$), densidad aparente (g/cc), espacio poroso total (%), macroporosidad (%), microporosidad(%), y actividad microbiana ($\text{gC-CO}_2/\text{gss}$), en cada uno de los suelos. Además, de acuerdo con los análisis estadísticos, el paleosuelo presenta valores más altos de conductividad térmica con una media de 22.184 ($\text{Cal}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$), mientras que para el suelo enterrado la media se encuentra en 20.029 ($\text{Cal}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$). A continuación se presenta la caracterización de cada uno de ellos:

EL SUELO ENTERRADO

En toda el área de estudio se tomó como eje central la conductividad térmica. Al compararla con la de densidad aparente, encontramos que para el suelo enterrado, la conductividad térmica presenta valores más altos hacia el perfil Oeste, y más bajos hacia el perfil Este, el mismo caso lo presenta la densidad aparente. Sin embargo, hacia el Centro Sur, que se corresponde con el corte de excavación, se presentan valores más altos de densidad aparente, asociados a valores bajos de conductividad térmica (Figura 71).

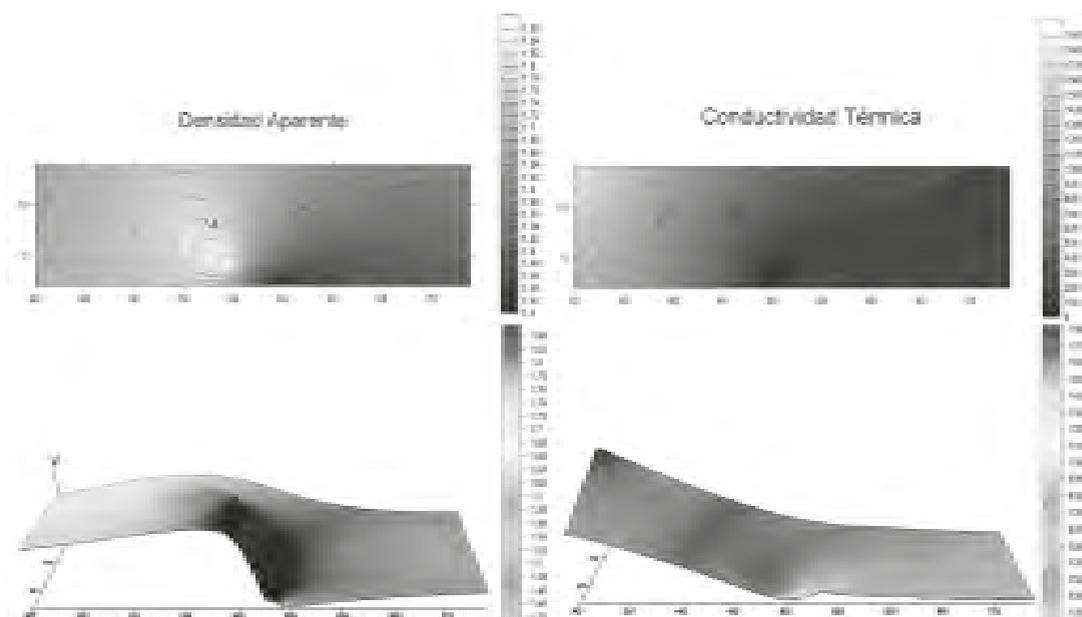


Figura 71.

Mapa de interpolación de la conductividad térmica vs. la densidad aparente en el área de estudio.

El hecho de que hacia el centro se observen los valores más bajos de conductividad térmica, y los más altos de densidad aparente, puede estar relacionado con la perturbación antrópica del sitio, en el pasado. Observando detalladamente el corte de excavación, encontramos que los valores más altos de conductividad están relacionados con los valores más bajos de densidad aparente. Esto puede explicarse por las propiedades de este suelo, que al ser un vertisol, los efectos del agrietamiento pueden causar este resultado. Si miramos el mapa de macroporosidad encontramos que se distribuye de forma irregular (Figura 72).

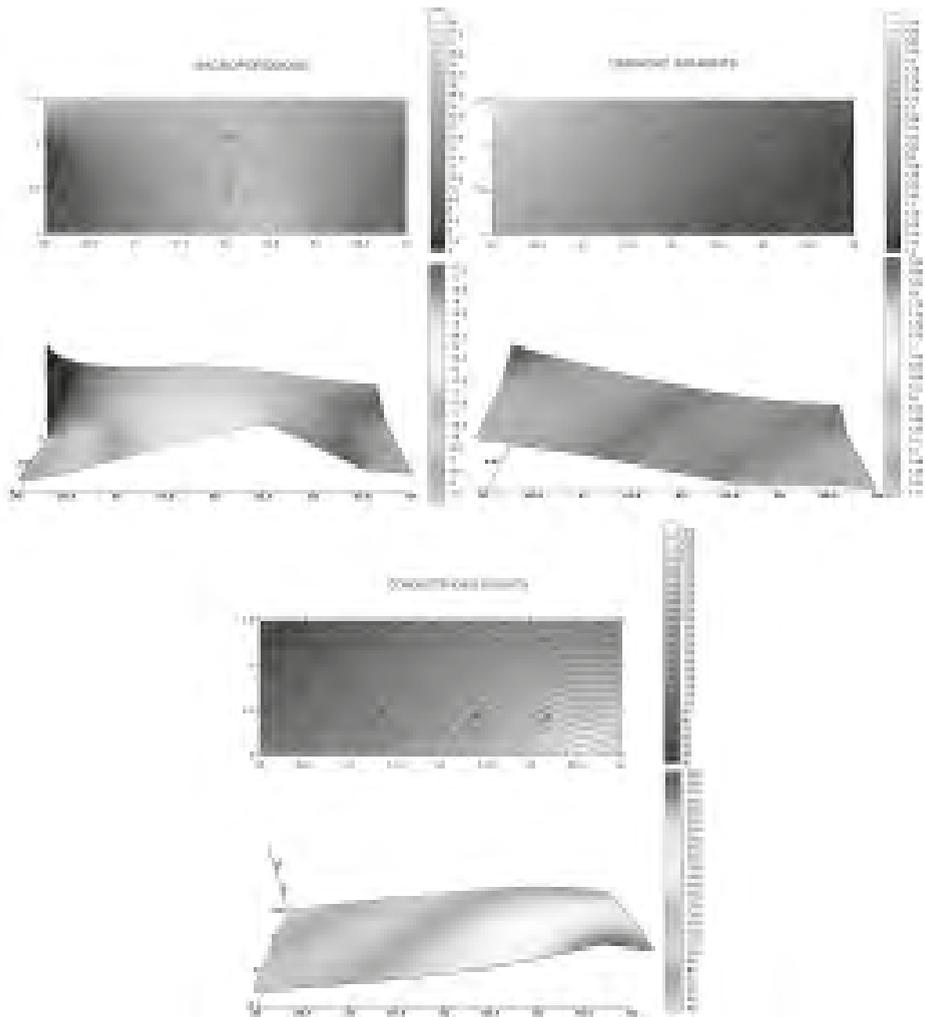


Figura 72.

Suelo enterrado. Mapa de interpolación de la conductividad térmica vs. la densidad aparente vs. la macroporosidad.

Los datos anteriores están indicando que otro factor presenta mayor influencia en la conductividad térmica. Cuando observamos el mapa de la textura, encontramos que la dispersión de la conductividad es bastante parecida al de la textura, permitiendo inferir que cuando cambia la textura en este tipo de suelo, la conductividad térmica cambia. En la figura 73 encontramos que bajo textura arcillosa (3), la conductividad térmica es alta por el contrario en textura franco arcillosa la conductividad térmica es baja, esto se presenta por el porcentaje de arenas (dado que las arenas son malos conductores de calor) que para este caso presenta porcentajes altos (38%).

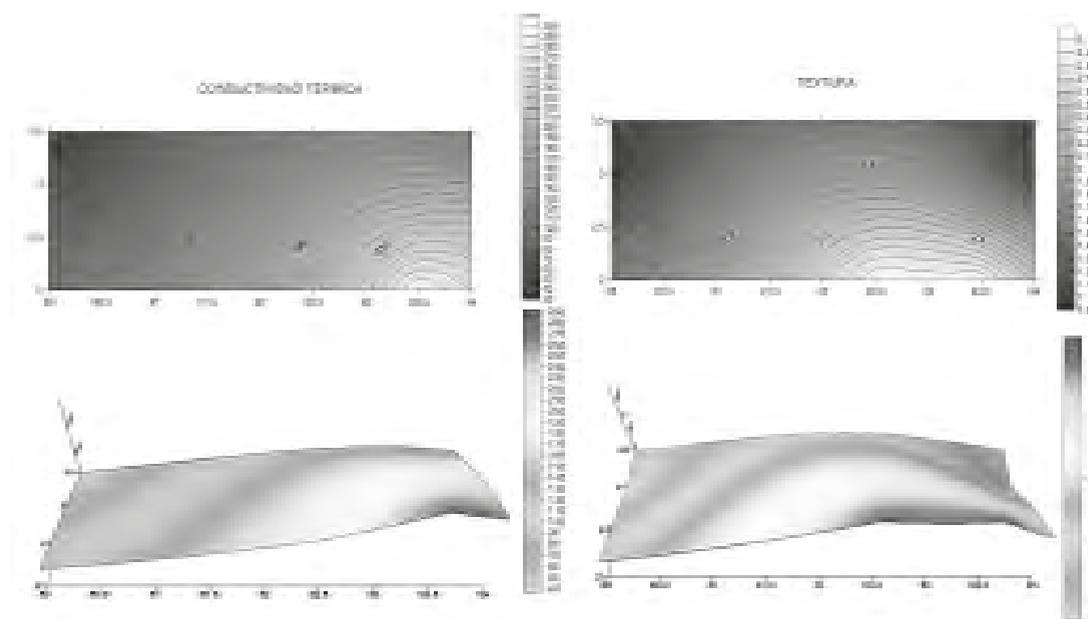


Figura 73.

Suelo enterrado. Mapa de interpolación de la conductividad térmica Vs textura.

Si comparamos la conductividad térmica con los otros factores, encontramos que en este suelo la humedad presenta un comportamiento muy similar a la conductividad térmica; es decir, valores altos de humedad hacia el Este y bajos hacia el Oeste, en cambio la evapotranspiración y la microporosidad presentan un comportamiento similar al de la densidad aparente (Figura 74), indicando que la textura, macroporosidad y porcentaje de humedad se correlacionan con la conductividad térmica de este suelo. Y aunque presenta una alta densidad

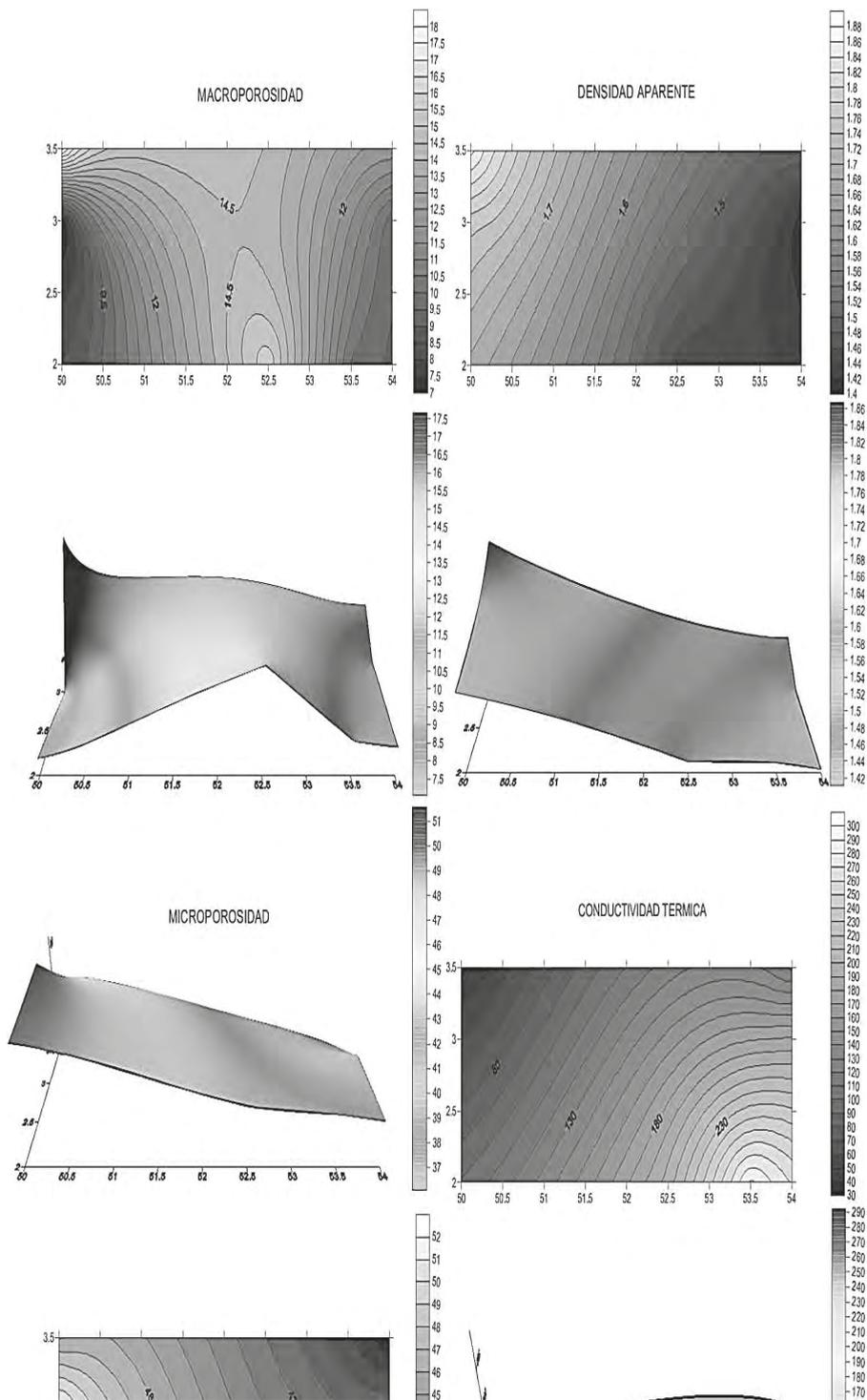


Figura 74.
Suelo enterrado. Mapa de interpolación de las propiedades físicas evaluadas en el área.

aparente, posiblemente la inversión en la conductividad térmica se deba a la presencia de material arenoso que es mal conductor y/o puede tratarse de la estructura la cual aunque no es totalmente en cuñas (característico de los vertisoles), si presenta grietas amplias que pueden inhibir la conductividad térmica.

EL PALEOSUELO

Siguiendo el mismo orden del suelo anterior, se tomo como eje central la conductividad térmica, y se comparó con las demás propiedades físicas. Al compararla con la densidad aparente en toda el área, encontramos que la conductividad térmica presentaba valores más altos hacia el Noroeste, y más bajos hacia el perfil Este y el Sur, la densidad aparente presenta valores medios hacia el Noroeste, y como en la conductividad térmica, bajos hacia el Este y el sur; la diferencia entre ambos esta dada en el área ubicada hacia el Centro Sur, que se corresponde con el corte de excavación, donde se presentan los valores más altos de densidad aparente, y valores bajos de conductividad térmica (Figura 75).

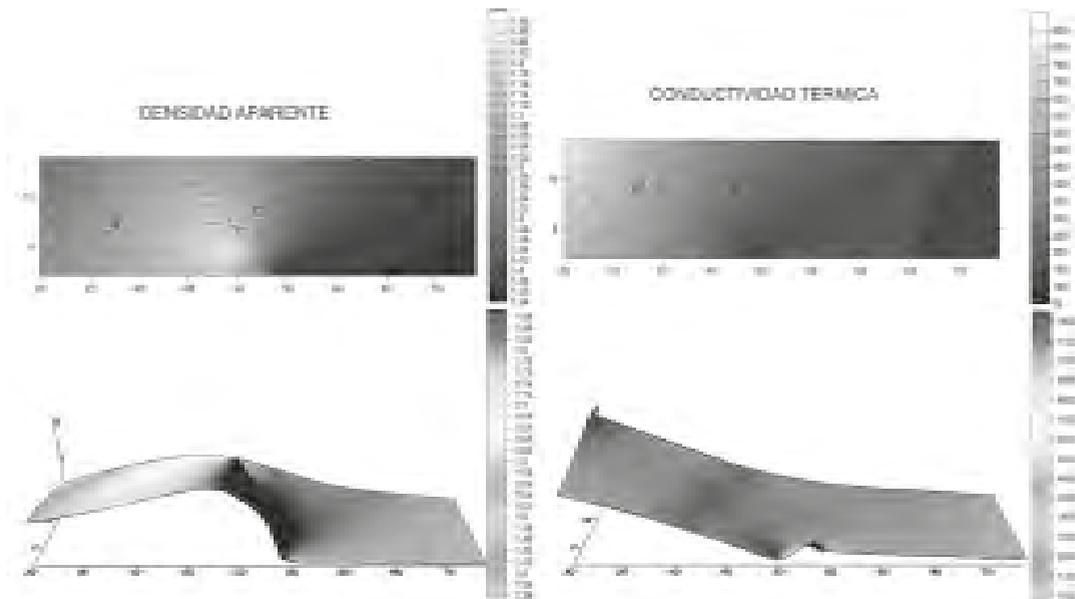


Figura 75.

Paleosuelo. Mapa de interpolación de la conductividad térmica Vs la densidad aparente.

Igual que los análisis anteriores, la ubicación hacia el centro de los valores más bajos de conductividad térmica, y los más altos de densidad aparente, puede estar relacionado con la perturbación antrópica del sitio, en el pasado. Observando detalladamente el corte de excavación, encontramos que los valores altos de conductividad están relacionados con valores bajos de densidad aparente, y aunque es el mismo efecto que en el suelo anterior, la diferencia radica en que la relación no es cerrada, incluso se podría decir que a valores altos de densidad aparente, se presentan valores medios de conductividad térmica; es decir, para este caso la densidad aparente no es tan influyente en la conductividad térmica, Este efecto puede explicarse por las propiedades de este suelo, que al ser un alfisol, presenta unas condiciones físicas un poco más homogéneas que el suelo anterior. Aquí, la microporosidad, la macroporosidad, evapotranspiración y densidad aparente, presentan una respuesta similar; a valores altos de densidad aparente, se presentan valores altos de evapotranspiración, microporosidad y macroporosidad, siendo un poco diferente en el comportamiento la microporosidad. En el caso de la humedad, se observa una tendencia a presentar valores bajos de conductividad térmica cuando la humedad es baja y viceversa. En este caso no se toma en cuenta la textura, puesto que toda el área del corte de excavación en este suelo presenta una textura Arcillosa (3) (Figura 76).

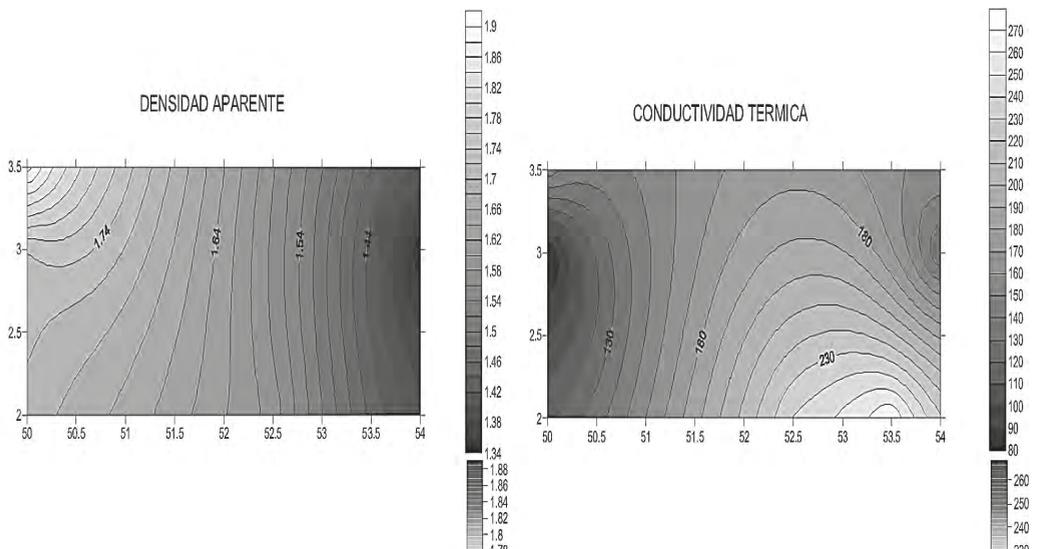


Figura 76.

Paleosuelo. Mapa de interpolación de la conductividad térmica Vs densidad aparente Vs humedad Vs evapotranspiración Vs macro y microporosidad.

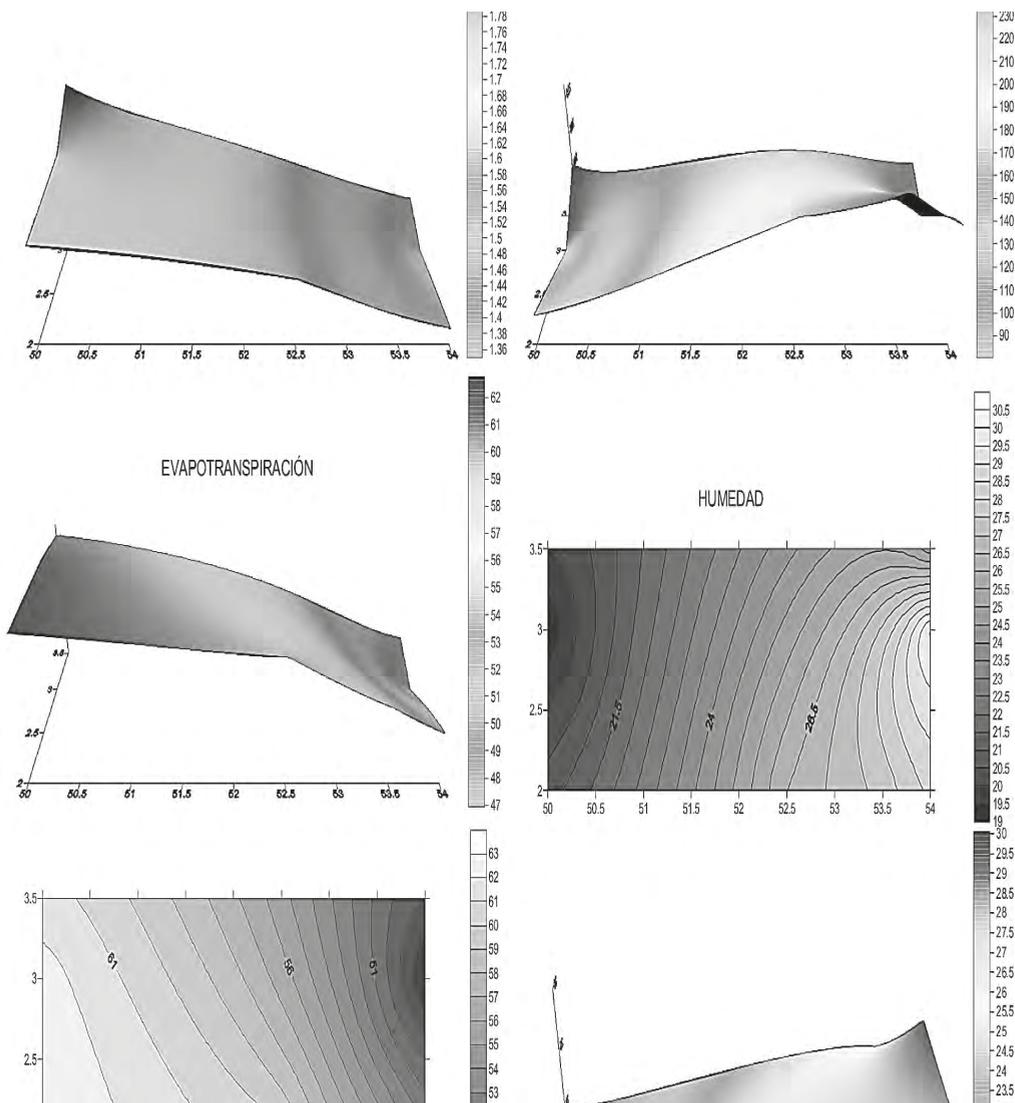


Figura 76. (Continuación)

Paleosuelo. Mapa de interpolación de la conductividad térmica Vs densidad aparente Vs humedad Vs evapotranspiración Vs macro y microporosidad.

De la gráfica anterior también podemos concluir que este suelo se encuentra medianamente compactado hacia el extremo Noroeste como se observa en el mapa de densidad aparente, donde el porcentaje de humedad y conductividad térmica es bajo pero la evapotranspiración y la macroporosidad son altos. Esto puede explicarse por la compactación del suelo enterrado en esta misma área.

Igual, si solo comparamos la conductividad térmica de ambos suelos en el corte, encontramos que presentan comportamientos diferentes, tal y como se observa en la figura 77.

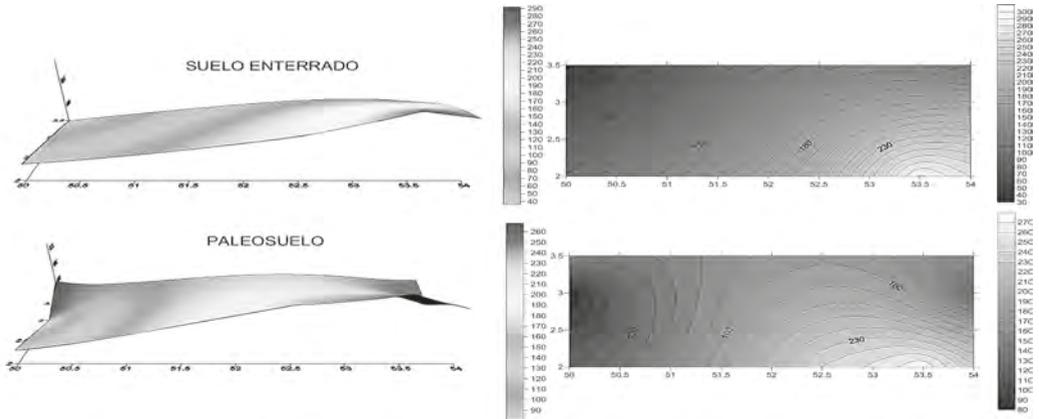


Figura 77.

Mapa de interpolación de la conductividad térmica en el suelo enterrado y el paleosuelo.

LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y LA ACTIVIDAD MICROBIANA

Al comparar la actividad microbiana del suelo enterrado con relación a la conductividad térmica en ambos suelos, la cual aporta datos relacionados con la parte física del suelo, fue posible establecer una correlación entre estas variables, observando que en general, al mayor valor de conductividad térmica le corresponde el mayor valor de actividad microbiana del suelo y viceversa, evidenciándose así una relación de proporcionalidad directa entre estas variables. Sin embargo en la parte central (que se corresponde con el corte de excavación), se presenta una diferencia (Figuras 78, 79).

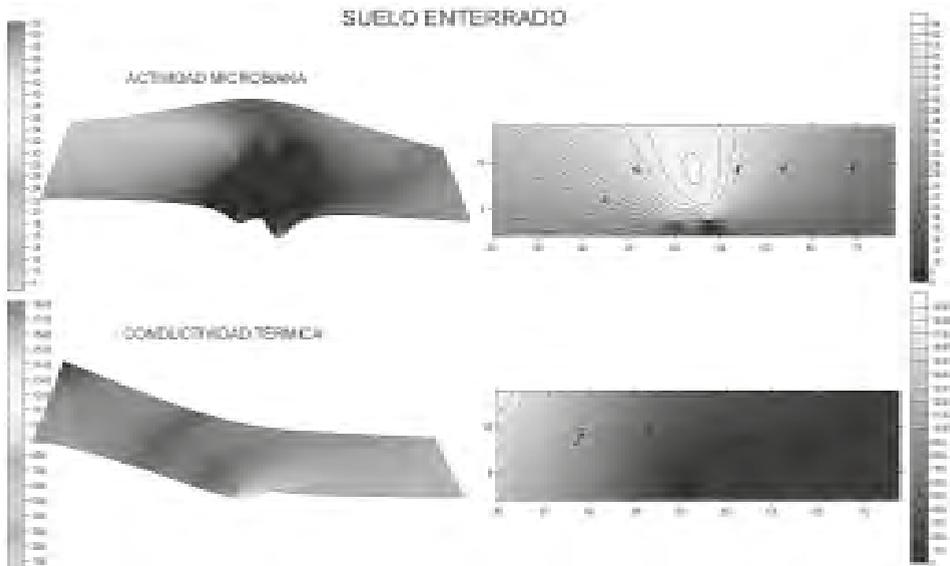


Figura 78.
 Mapa de interpolación en el área de la actividad microbiana y la conductividad térmica en el suelo enterrado.

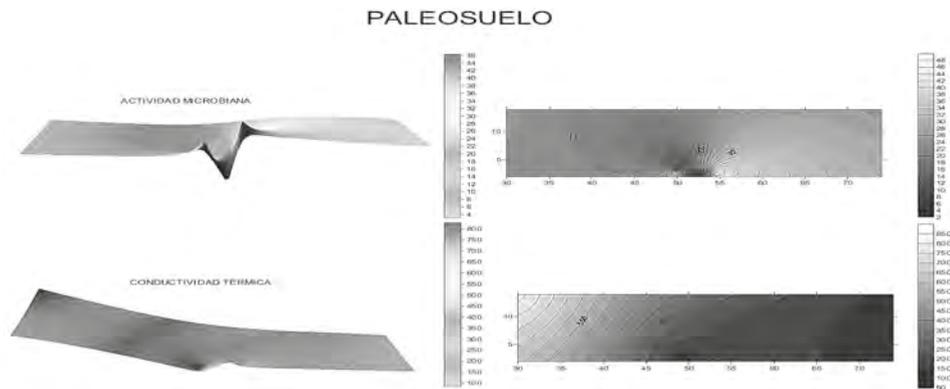


Figura 79.
 Mapa de interpolación en el área de la actividad microbiana y la conductividad térmica en el paleosuelo.

En el corte, efectivamente encontramos que en ambos suelos la actividad microbiana presenta una relación inversa con respecto a la conductividad térmica, siendo un poco diferente en el paleosuelo, donde la actividad microbiana tiene una relación inversa con la densidad aparente; es decir, que a mayor densidad aparente, menor actividad microbiana, efecto que no sucede en el suelo enterrado (Figuras 80, 81).

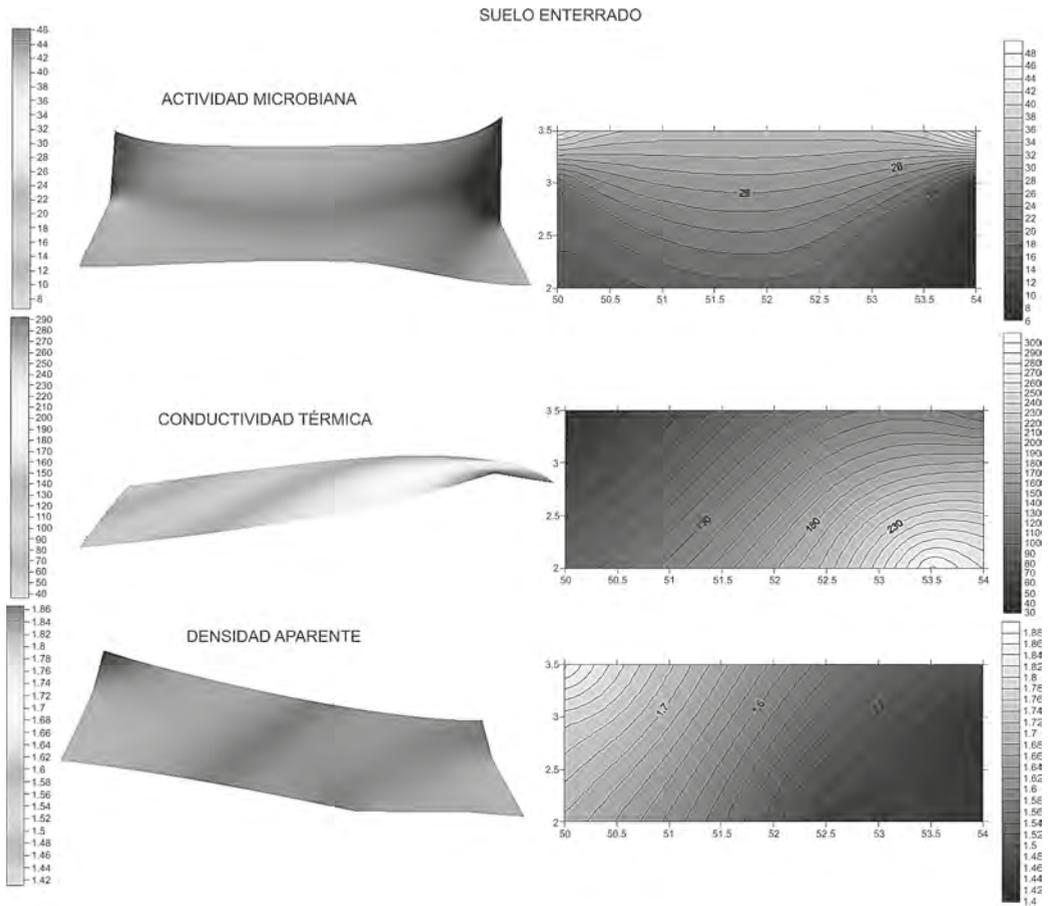


Figura 80.

Suelo Enterrado. Mapa de interpolación en el corte, de la actividad microbiana, la conductividad térmica y la densidad aparente.

PALEOSUELO

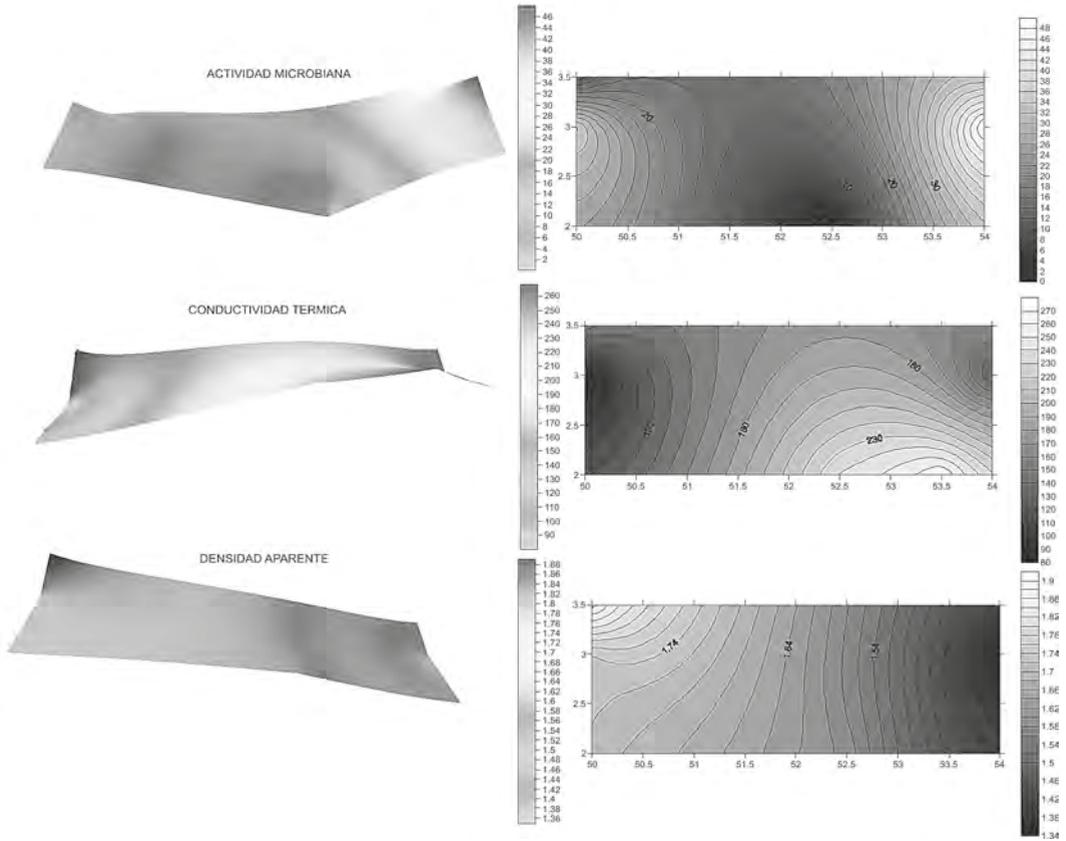


Figura 81.

Paleosuelo. Mapa de interpolación en el corte, de la actividad microbiana, la conductividad térmica y densidad aparente.

LA RESERVA ENERGÉTICA

Los datos de electrotérmica son esenciales para obtener la reserva energética del suelo (energía potencial), para lo cual es necesario restarle la actividad microbiana a las mediciones electrotérmicas. La figura 82 expresa una diferenciación en los suelos a partir de la reserva energética, donde a mayor reserva energética en el paleosuelo, menor reserva energética en el suelo enterrado.

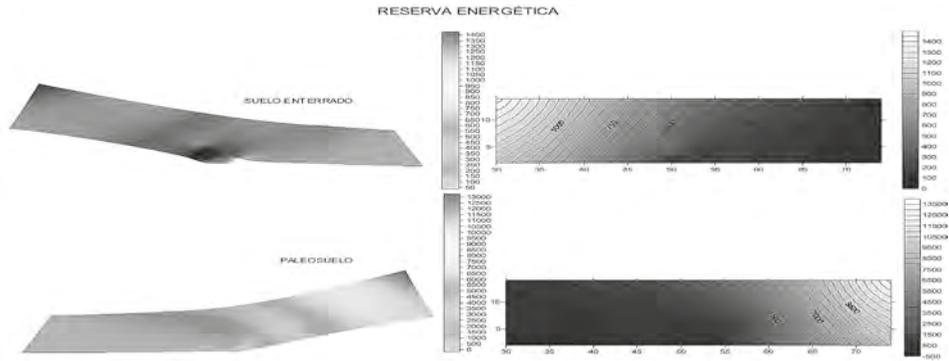


Figura 82.

Mapa de interpolación en el área, de la reserva energética en el suelo enterrado y el paleosuelo.

Cuando observamos la figura 83 encontramos que en el corte, los resultados de esta actividad aportaron información sobre la diferencia entre los suelos, donde además, la reserva energética es más alta en el paleosuelo que en los suelos enterrados, y exhibe diferencias en cuanto a la ubicación espacial de las muestras; es decir, en el perfil sur se encuentra reserva energética baja en el suelo enterrado pero alta en el paleosuelo; esto coincide con la presencia de un piso de habitación en el suelo enterrado y la huella de un rasgo rectangular asociado a un pozo de desechos en el paleosuelo. Por su parte, en el perfil Este, se presenta una baja reserva energética en el suelo enterrado y alta en el paleosuelo, mostrando una diferenciación entre el Sur y el Norte, sin asociación antrópica. En cuanto al uso y manejo de los suelos se puede inferir que la gente que usó el paleosuelo lo hizo con un fin más agrícola, al contrario del suelo enterrado donde la reserva energética es menor y que probablemente este asociada a un sitio de habitación, coincidiendo con la presencia de tres huellas de poste de vivienda.

La REAS también remite a áreas de actividad como se observa en las diferencias entre el perfil Sur y el perfil Este del suelo enterrado donde la REAS es mayor hacia el Este, si estamos hablando de un sitio de habitación,

probablemente fue más habitado hacia el Centro Sur que hacia el Este (Figura 83).

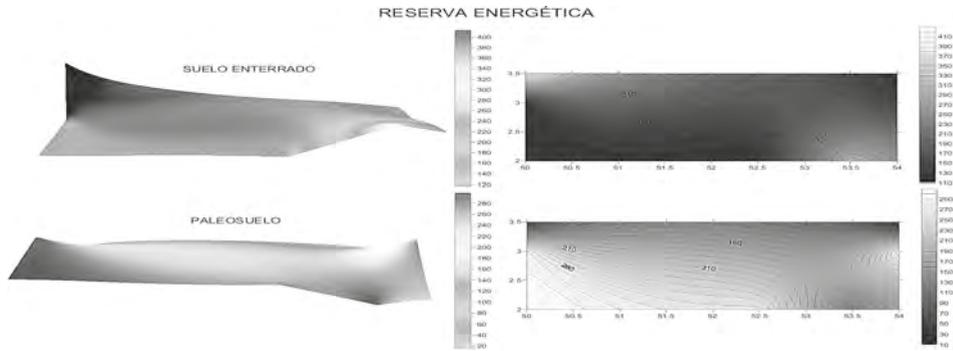


Figura 83.

Mapa de interpolación en el corte de excavación, de la reserva energética en el suelo enterrado y el paleosuelo.

Resumiendo, podemos anotar que los datos de correlación obtenidos para el corte permiten señalar para el suelo enterrado una relación directa entre conductividad térmica y la densidad aparente (0.064), donde, a mayor conductividad térmica, menor densidad aparente. Esta misma relación se presenta para la macroporosidad (0.293) y para la evapotranspiración (0.199). Esta relación no es tan evidente en el paleosuelo, aunque no se contradice, dado que al ser un suelo diferente las características indican que la relación directa se presenta con la microporosidad (0.534) y la humedad (0.1428).

Aunque en el suelo enterrado es evidente la relación con la densidad aparente, la macroporosidad y la evapotranspiración, existe otro factor que no fue tenido en cuenta en los análisis de correlación estadística y que en el análisis gráfico, está indicando que existe una relación directa entre la textura y la conductividad térmica. Los datos aportados por la densidad aparente en profundidad, no presentan mayor variación; es decir, que no aporta mayor información sobre cambios en profundidad, por el contrario, el análisis de la conductividad térmica muestra una gran diferencia en profundidad.

Es importante aclarar que en el área del corte, tanto en el suelo enterrado como en el paleosuelo, los datos están indicando que se presenta compactación hacia el oeste, donde ambos suelos presentaron la siguiente caracterización: El Suelo enterrado tenía una textura franco arcillosa a arcillosa-franco arcillosa, con un porcentaje de arena entre 30% y 38%, un porcentaje de humedad entre 7.6% y 19.3%, macroporosidad entre 7% y 17.6%, densidad aparente entre 1.38 y 1.45 g cm³, y una conductividad térmica entre 5 y 42 cal/cm.s.°C, actividad microbiana entre 17 y 39 mg/CO₂ gss y una reserva energética entre 130 y 647Cal/cm. Por su parte, el paleosuelo presentó una textura arcillosa con un porcentaje de arena del 20%, microporosidad entre 47% y 51%, un porcentaje de humedad entre 19% y 27%, densidad aparente entre 1.33 y 1.59 g cm³, y conductividad térmica entre 6 y 12.8 cal/cm.s.°C, actividad microbiana entre 10 y 53 mg/CO₂ gss y una reserva energética entre 37 y 464Cal/cm.

En el suelo enterrado se presentó la menor cantidad de macroporos, un porcentaje de humedad bajo y conductividad térmica baja, indicando compactación del suelo, coincidiendo con la densidad aparente que en ese punto es mayor. En el paleosuelo se observa la compactación porque la microporosidad, el porcentaje de humedad y la conductividad térmica presentan valores bajos, pero al compararlos con la densidad aparente, esta relación no es tan obvia puesto que presenta valores medios.

En cuanto al uso y manejo de los suelos a partir de la reserva energética se puede inferir que la gente que usó el paleosuelo lo hizo con un fin más agrícola (este suelo presenta mayor cantidad de reserva energética), al contrario del suelo enterrado que probablemente esté asociado a un sitio de habitación, lo que implica mayor extracción de energía.

La REAS también remite a áreas de actividad como se observa en las diferencias entre el perfil Sur y el perfil Este del suelo enterrado donde la REAS es mayor hacia el Este, si estamos hablando de un sitio de habitación, probablemente fue más habitado hacia el Centro Sur que hacia el Este.

LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN PEDOLÓGICA

En el sitio arqueológico **Univalle 4A** fueron levantados seis perfiles de suelo con el objeto de clasificarlos y establecer la historia pedológica, dado que el número de suelos en una secuencia estratigráfica y su grado de desarrollo puede ser clave significativa para la integridad del registro arqueológico de un sitio. Dichos perfiles se ubicaron: en el lado Norte a cuatro metros del corte de excavación; dentro del corte de excavación de Univalle 4A, al Oeste, Sur y Este y otros dos en el pozo de sondeo uno y dos respectivamente (Figura 29).

Adicional a la descripción de los perfiles, en el área del corte se tomaron las medidas pertinentes para la elaboración de la microtopografía, a partir de la cual se observó que el terreno no es tan plano como pareciera, presentando lo que podría llamarse como un microrelieve gilgai, característico de los vertisoles (Figura 84).

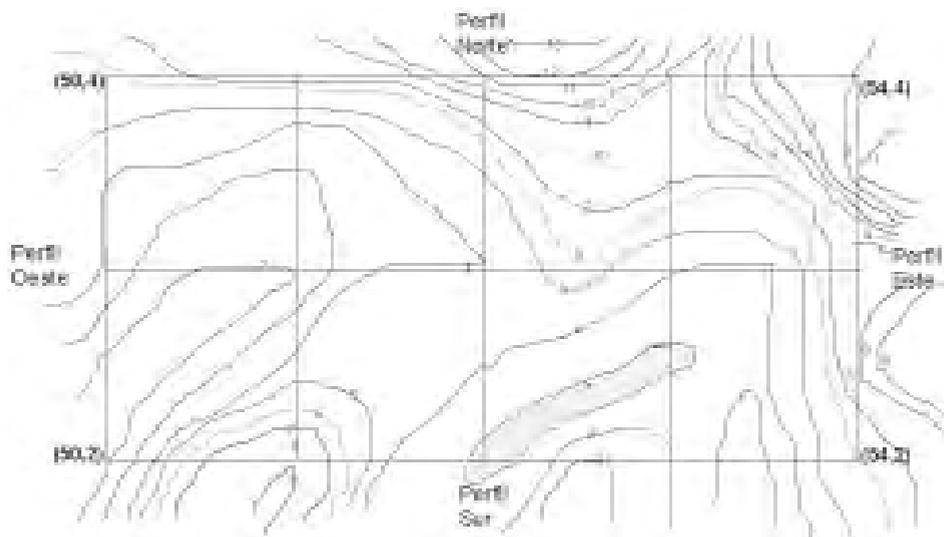


Figura 84.

Microtopografía del sitio excavado realizada por el profesor de topografía, Gerardo Castañeda de la Universidad del Valle-sede Meléndez. Las curvas de nivel son más altas de acuerdo a la numeración.

Para consultar la morfología de los suelos, se realizó una descripción en campo de los horizontes de suelo, determinando algunas características de importancia como: contactos y límites entre horizontes, espesor, color, estructura, textura, composición, porosidad, presencia de raíces, consistencia, entre otros. Además, se realizó un muestreo doble (clásico y con cilindro) de cada horizonte para análisis de laboratorio. Estos datos fueron cruzados con la información geofísica y analizada a partir de mapas de distribución.

Aunque se presentaron variaciones en los perfiles descritos en el área de estudio (Figura 85), se eligió el perfil Este (ubicado en el corte de excavación), como perfil modal, dado que es el que mayor información contenía. La morfología permitió observar dos tipos de suelos diferentes, que por orden temporal se corresponden con un paleosuelo⁶ clasificado como un alfisol con un horizonte Apb2, que se relaciona con el primer evento de ocupación prehispánica de

Univalle 4A y un horizonte ABtb2; y un suelo enterrado clasificado como un vertisol con un horizonte Apb1 y Bwb1 relacionados con el segundo evento de ocupación prehispánica, ambos correspondientes a la Cultura Bolo- Quebrada Seca que existió entre 800 y 1550 d.C. (Rodríguez 2002).



Figura 85.

Al fondo perfil norte de Univalle 4. En primer plano, de izquierda a derecha, perfil Oeste, Norte y Este en el corte de excavación de Univalle 4A.

EL PERFIL MODAL

Altitud: 975.5 m.s.n.m.

Posición fisiográfica: Llanura aluvial de piedemonte

Localización del perfil en la unidad fisiográfica: Plani fondo de Valle

Pendiente: < 3%

Relieve: Plano a Casi plano

Microrelieve: Ondulado.

Topografía vecina: Plana a Casi Plana

Material parental: Sedimentos

Temperatura edáfica: > 22°C

Temperatura Ambiente: > 22°C

Clima: Cálido
Drenaje: Moderadamente drenado
Profundidad de la capa freática: Profundo
Profundidad efectiva: Profundo
Régimen de humedad: Ústico
Régimen de Temperatura: Isohipertérmico
Cobertura Vegetal: Pastos y arbustos
Espesor Total: 1 m
Clasificación de los suelos: Typic Haplustert (Suelo enterrado),
y lamellic Haplustalf (Paleosuelo)

DESCRIPCIÓN DE HORIZONTES DEL PERFIL MODAL

La pedostratigrafía detallada realizada en el perfil modal del sitio Univalle 4A reportó una secuencia conformada por dos capas y seis horizontes de suelos, de los cuales el Ap y las capas constituyen el suelo actual y los demás son dos suelos enterrados y un paleosuelo (Figura 86). En la parte media de la secuencia se encuentran las evidencias arqueológicas.

CAPA 1:

Espesor de 5 cm. Sedimentos de la excavación arqueológica del año 1999. Límite superior irregular. Límite inferior ondulado.

CAPA 2:

Espesor de 5 cm. Sedimentos de arena (balastro), producto de la vía interna construida en el año de 1998. Límite inferior ondulado.

HORIZONTE AP:

Espesor de 20 cm. Café oscuro en seco (10YR 3/3), Café en húmedo (10YR 4/3); Textura Franco Arcillosa; Estructura de bloques subangulares medios por procesos de humedecimiento y secado; consistencia dura en seco, firme en húmedo y moderadamente plástica y pegajosa en mojado; poros finos y comunes; raíces finas y comunes; actividad de macroorganismos como cucarrones, hormigas y lombrices. Presenta moteados pocos y finos (<2 a <5 mm), relacionados con el horizonte posterior; presenta fragmentos de cuarzo y roca volcánica subangular y angular en un 3%. Presencia de dos fragmentos cerámicos. Presenta grietas y se encuentra compactado por el arado. Con pocos moteados causados por épocas alternantes de exceso de humedad, lo que genera una oxidación del hierro. Límite inferior ondulado.

HORIZONTE APB1:

Espesor de 12 cm. Café oscuro en seco (10YR 3/3), Café amarilloso oscuro en húmedo (10YR 4/4); pH de 6.2. textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios moderados por procesos de humedecimiento y

secado; consistencia moderada, dura en seco, firme en húmedo y plástica y moderadamente pegajosa en mojado; poros finos y comunes; raíces muy finas y comunes; actividad de macroorganismos como lombrices. Presenta pocos moteados finos (<2 - <5 mm) de color café amarilloso oscuro (7.5YR 4/6), suelo muy compactado; presenta fragmentos de feldespato subangular 2% y arena muy fina en un 50%, óxidos de hierro 7%. Presencia de 295 fragmentos cerámicos y 246 fragmentos de roca, y tres rasgos de huellas de postes de vivienda. Con pocos moteados causados por épocas alternantes de exceso de humedad, lo que genera una oxidación del hierro. Límite inferior ondulado.

HORIZONTE ABWB1:

Espesor de 30 cm. Café en seco (10YR 4/3), Café amarilloso oscuro en húmedo (10YR 4/4), pH de 5.7. textura arcilloso a franco arcilloso; estructura en bloques subangulares finos débiles; consistencia débil, blanda en seco, friable en húmedo y ligeramente plástico y pegajoso en mojado; poros finos y pocos, raíces muy finas y pocas; presenta muchos moteados mayor que 20 a finos < 5mm de color café fuerte (7.5YR 5/8); presenta recubrimientos de arcilla por iluviación y fragmentos de feldespato subangular en 2% y arena muy fina en un 50%. Presencia de 484 fragmentos cerámicos y 458 fragmentos de roca. Con pocos moteados causados por épocas alternantes de exceso de humedad, lo que genera una oxidación del hierro. Límite inferior ondulado.

HORIZONTE APB2:

Espesor de 12 cm. Café oscuro en seco (7.5YR 3/2), Café oscuro en húmedo (7.5YR 3/3); pH de 5.5. textura arcillosa; estructura granular fuerte; consistencia fuerte, dura en seco, firme en húmedo y plástico y pegajoso en mojado; poros finos y comunes, raíces muy finas comunes; concreciones entre 5 y 20 mm gruesas e irregulares; muchos moteos >20 finos <5mm de color café fuerte (7.5YR 4/6); peds recubiertos por materia orgánica (iluviación de materia orgánica, poco cuarzo 2%, óxidos de hierro 2%; en el techo de este horizonte es común encontrar motas de color gris verdoso (10Y 6/1). Presencia de 8 fragmentos cerámicos y 26 fragmentos de roca. Presencia de concreciones ferruginosas por acumulación del hierro que migra en los horizontes superiores y abundantes moteados. Límite inferior ondulado.

HORIZONTE ABTB2:

Espesor de 20 cm. Café Fuerte en seco (7.5YR 5/8) y café fuerte en húmedo (7.5YR 4/6); pH 6.1. textura arcillosa; estructura granular fuerte; consistencia fuerte, dura en seco, firme en húmedo y plástica y pegajosa en mojado; poros finos comunes; raíces muy finas y pocas; presenta concreciones gruesas e irregulares entre 5 y 20 y abundantes >20; nódulos medios cilíndricos entre 2 y 5, pocos menor que 2; moteados muchos, mayor que 20 medios entre 5 y 15 mm de color café (7.5YR 4/4); se observa iluviación de arcillas y de materia

orgánica. Con recubrimientos de arcilla o materia orgánica que expresan un grado de evolución muy avanzado y presencia de concreciones ferruginosas por acumulación del hierro que migra en los horizontes superiores y abundantes moteados.

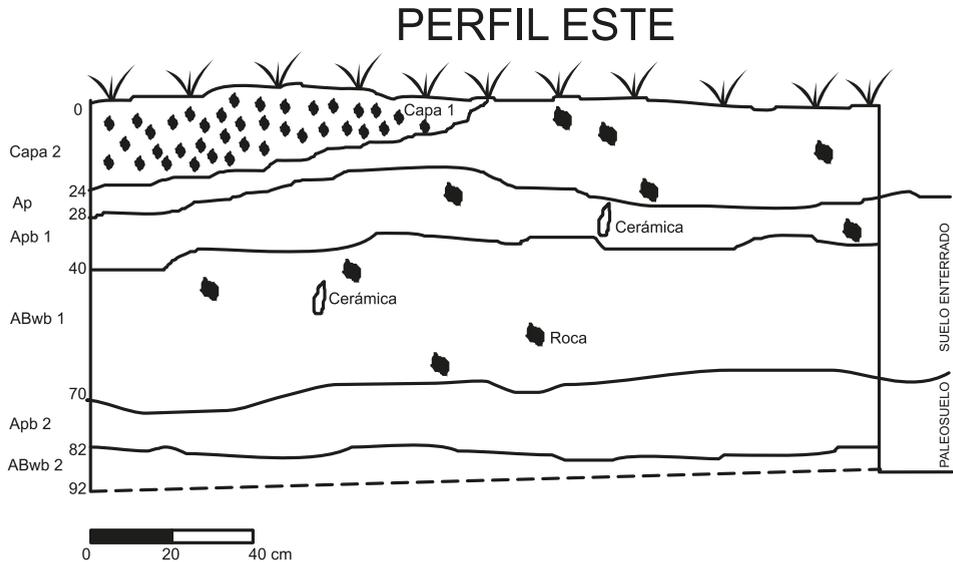


Figura 86.
Perfil Modal de Univalle 4A.

EL SUELO ENTERRADO

Para escoger el endopodón del suelo enterrado se tomó el horizonte ABwb1, que se corresponde con un horizonte cámbico (w), resultado de una alteración física y transformación química. Caracterizado por el desarrollo de estructura edáfica, el color y la argiloturbación; es decir, la expansión y retracción de las arcillas que llevan formar grietas y microrelieves gilgai como el que se observa en la microtopografía del sitio excavado (Figura 84) y en la figura 87).

El orden al que corresponde es de un **vertisol**, con un horizonte cámbico caracterizado por presentar consistencia dura cuando está seco y muy plástico y pegajoso en estado húmedo. Dadas estas características, el trabajo del suelo es limitado a cortos periodos de tiempo donde la cantidad de agua es óptima. Este suelo es pobremente drenado, y los productos de la meteorización son limitados, los contenidos de calcio y magnesio son relativamente altos (de 7.5 a 10.6 y de 2.46 a 2.81 cmole kg⁻¹, respectivamente), en relación con las demás bases y el pH es tendiente a básico (de 5.7 a 6.7), presentando muy baja conductividad hidráulica: una vez el suelo ha enriquecido la capacidad de campo



Figura 87.

Grietas encontradas luego de barrenar el perfil ABwb1.

prácticamente ningún movimiento de agua ocurre. El régimen de humedad que presenta es ústico, permitiendo su clasificación como un usterts, pero al no encajar en ninguno de los grandes grupos, toma el nombre de haplusterts el cual presenta características típicas por lo que el subgrupo es *typic haplusterts*.

Los vertisoles son ricos químicamente; no requieren de periodos de descanso para recuperarse, porque la pedoturbación continuamente trae subsuelo a la superficie. El Nitrógeno es normalmente deficiente así como el fósforo (de 1 a 11 mg kg⁻¹). La fijación de fosfatos puede ocurrir, pero no es mucho problema. Los contenidos de potasio son cambiantes. Los elementos secundarios y los micronutrientes también son deficientes. Son muy susceptibles a la erosión del agua. Presenta un alto contenido de arcillas (entre 38 y 48%) las cuales son generalmente 2:1 y 2:2 algunas con alto contenido de caolinita. Son suelos

bien dotados de nutrientes y tienen una fertilidad alta pero, debido a su capacidad de humedecimiento que causa gran pegajosidad, en contraste con la dureza por el secado, son difíciles para la agricultura. Sólo es posible de trabajar manualmente en los periodos del final de la estación de lluvia, sin embargo con el mal manejo los suelos tienden a compactarse. Pueden ser muy productivos apropiadamente manejados, pero poseen características físicas que generan problemas. El movimiento de estos suelos puede inclinar árboles, tirar vallas, como también postes de teléfono, pavimento y cimientos de edificios.

EL PALEOSUELO

Para escoger el endopedon del Paleosuelo se tomó el horizonte ABtb1, que se corresponde con un horizonte Argílico (t), que es el resultado de la acumulación iluvial de arcillas silicatadas (lamelas), caracterizado por las evidencias de la iluviación de arcillas. El régimen de humedad que presenta es ústico, permitiendo su clasificación como un ustalfs, pero al no encajar en ninguno de los grandes grupos, toma el nombre de haplustalfs el cual presenta lamelas por lo que el subgrupo es lamellic haplustalfs.

En estos suelos se forma un horizonte de acumulación de arcilla que se ha movido desde la parte superior del suelo donde las arcillas acumuladas son de mejor calidad por lo que se presenta una saturación de bases alta, la CICE es de 9 a 11.4 cmole kg⁻¹. La presencia de altos contenidos de arcillas genera una estructura fuerte esferoidal granular, indicando que este suelo posiblemente se desarrollo bajo cobertura de gramíneas (puesto que la materia orgánica no es muy alta) y altos contenidos de óxidos de hierro (de 24 a 80 mg kg⁻¹). Podríamos decir que son suelos con una buena estabilidad estructural dada por las arcillas y la materia orgánica.

EL ANÁLISIS GRÁFICO

Dada la cantidad de elementos a considerar y los pocos datos, los análisis estadísticos de componentes principales no pudieron realizarse, por lo tanto se eligió el análisis gráfico de mapas de distribución. Estos mapas fueron revisados y para un mejor análisis, se dividieron en grupos de acuerdo a la similitud de las gráficas para cada uno de los suelos.

EL SUELO ENTERRADO (TYPIC HAPLUSTERTS)

Al analizar los mapas de distribución de los datos físico-químicos, se ubicaron cuatro grupos, caracterizados por su comportamiento en el área del corte.

Arqueológicamente los valores altos coinciden con los espacios que no fueron alterados en el pasado, contrario al área Centro Sur que es donde se encuentra la mayor cantidad de actividad en el pasado.

El grupo 2 esta compuesto por los limos, arcilla, materia orgánica (%), clase y pH, y zinc y manganeso (mg-kg-1). El comportamiento que presenta este grupo es que los valores más altos se encuentran al Noroeste, siendo el Suroeste la dirección de más bajo concentración. Los limos y arcillas implican que hacia el oeste se presenta una textura arcillosa, en cambio hacia el sureste, la textura es franco arcillosa, y en la parte central es arcillosa - franco arcillosa. Este comportamiento sumado a la materia orgánica y al magnesio y zinc, puede estar influenciando el pH que presenta un comportamiento similar a ellos (Figura 89).

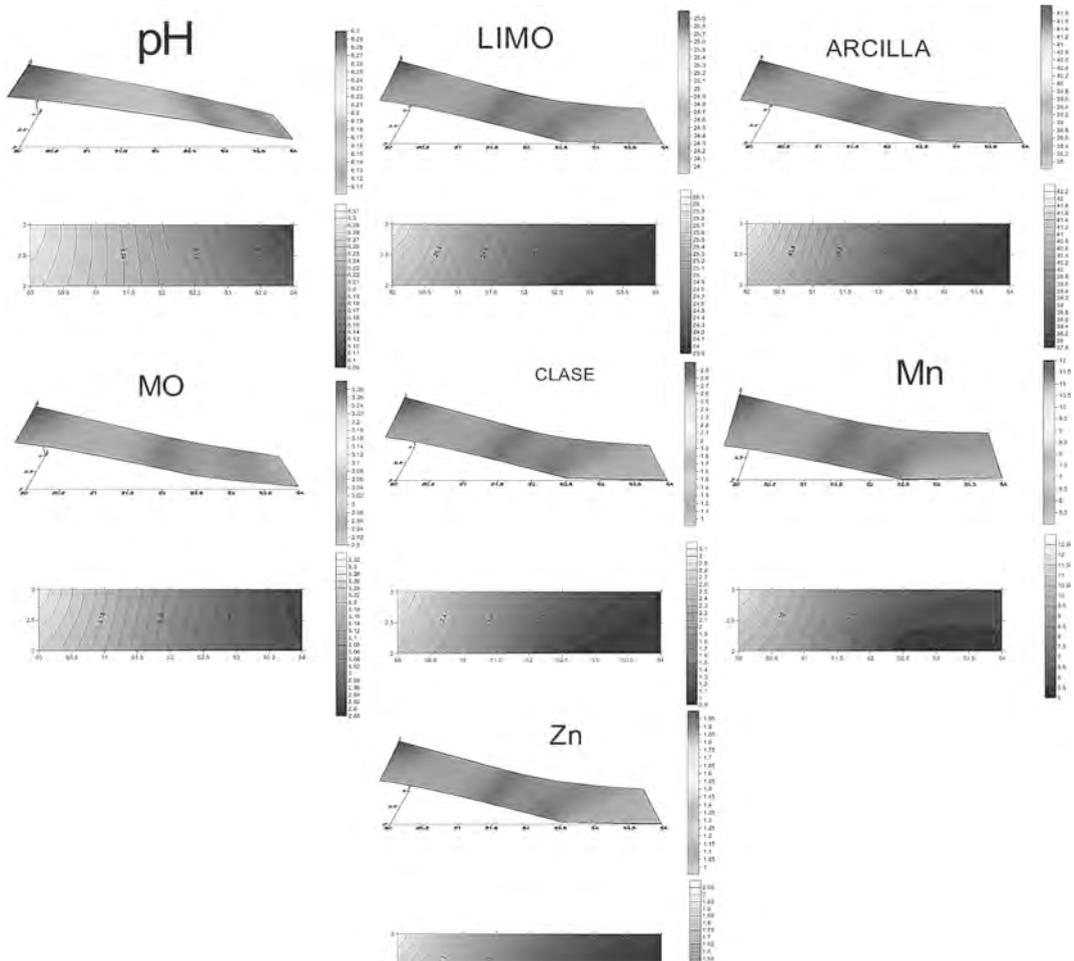


Figura 89.

Mapas de distribución de los análisis físico-químicos del grupo 2 en el suelo enterrado.

Arqueológicamente esta información permite inferir que el uso y manejo en el pasado del sitio fue mayor hacia el Este, haciendo que cambie las características del suelo.

El grupo 3, compuesto por magnesio (Mg) y potasio (K) (cmole kg⁻¹), y cobre (Cu), hierro (Fe) y fósforo (P) (mg kg⁻¹). Estos elementos presentan un comportamiento inverso al grupo 1 donde a mayor humedad, menor concentración de estos (Figura 90). Observando el área de mayor concentración de los elementos, encontramos que coincide arqueológicamente con el área más alterada en el pasado. Aunque es de aclarar que estos elementos presentan una migración más lenta, por lo tanto puede estar dando una información poco veraz sobre la acumulación.

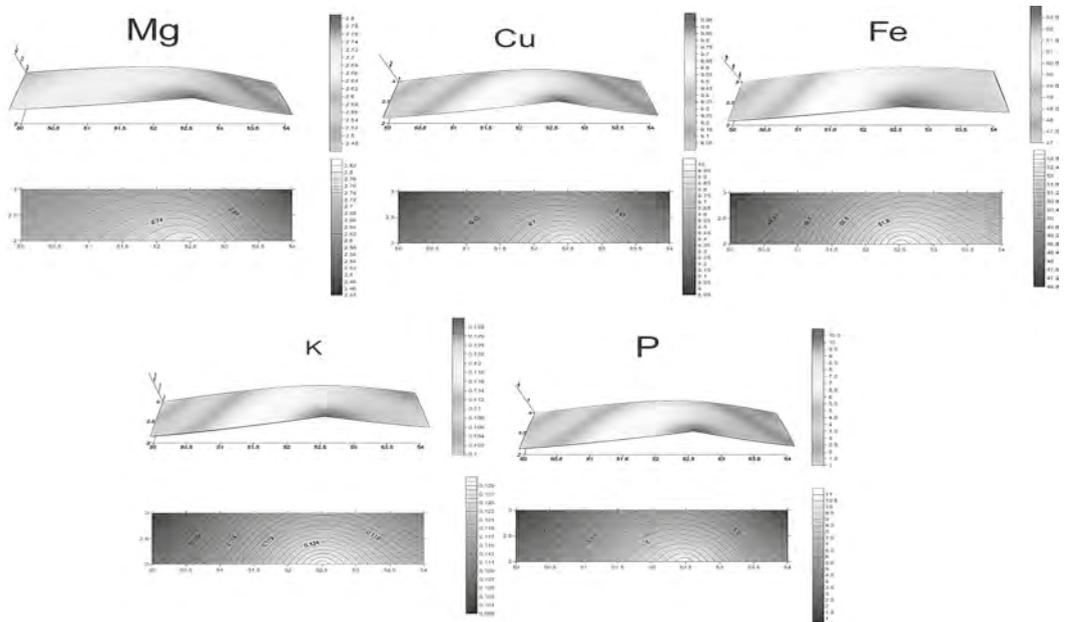


Figura 90.

Mapas de distribución de los análisis físico-químicos del grupo 3 en el suelo enterrado.

El grupo 4 está conformado por la arena (%), el cual se comporta inverso al grupo 2, donde la máxima concentración se da en la dirección Este (Figura 91). Este dato coincide con material antrópico que fue arrojado sobre este suelo en el año de 1997 cuando ampliaron las vías de acceso Norte de la Universidad del Valle – Sede Melendez.

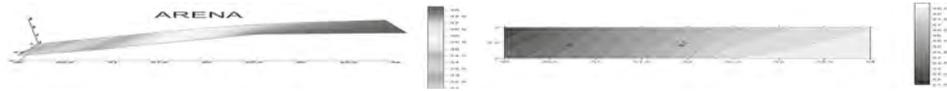


Figura 91.

Mapas de distribución de los análisis físico-químicos del grupo 4 en el suelo enterrado.

EL PALEOSUELO (LAMELLIC HAPLUSTALFS)

Al analizar los mapas de distribución de los datos físico-químicos, se ubicaron cuatro grupos, caracterizados por su comportamiento en el área del corte.

El grupo 1 esta conformado por potasio y cobre (cmole kg⁻¹), y El comportamiento que presenta este grupo es que sus contenidos más altos se encuentran en los extremos Noreste y Noroeste, siendo el más bajo representado hacia el Centro Sur (Figura 92). Arqueológicamente los valores altos coinciden

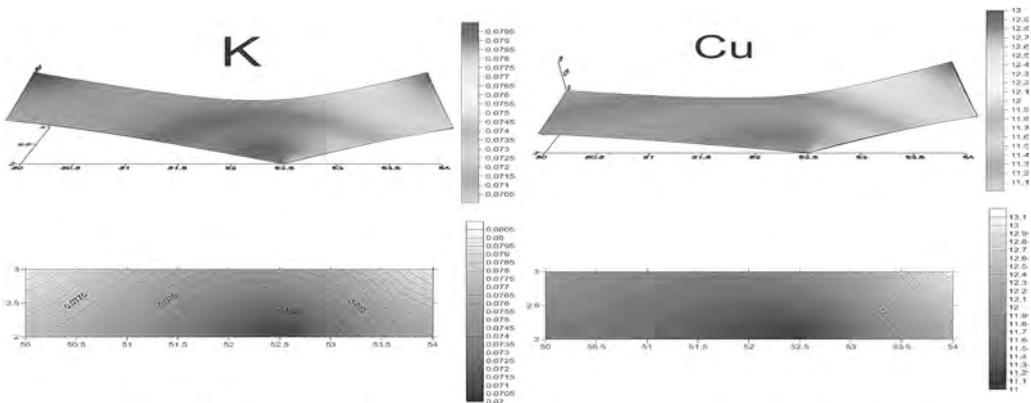


Figura 92.

Mapas de distribución de los análisis físico-químicos del grupo 1 en el paleosuelo.

con los espacios que no fueron alterados en el pasado, contrario al área Centro Sur que es donde se encuentra la mayor cantidad de actividad en el pasado.

El grupo 2 esta compuesto por arena y materia orgánica (%), y aluminio (cmole kg-1). El comportamiento que presenta este grupo es que los valores más altos se encuentran al Noroeste, siendo el Suroeste la dirección de más bajo concentración. A pesar que la textura para este suelo es toda arcillosa, se observa una variación en la cantidad de arena, donde al Noroeste presenta mayor porcentaje que hacia el Sur este siendo este inverso con el comportamiento en el suelo enterrado. La materia orgánica presenta un comportamiento muy similar al del suelo enterrado (Figura 93).

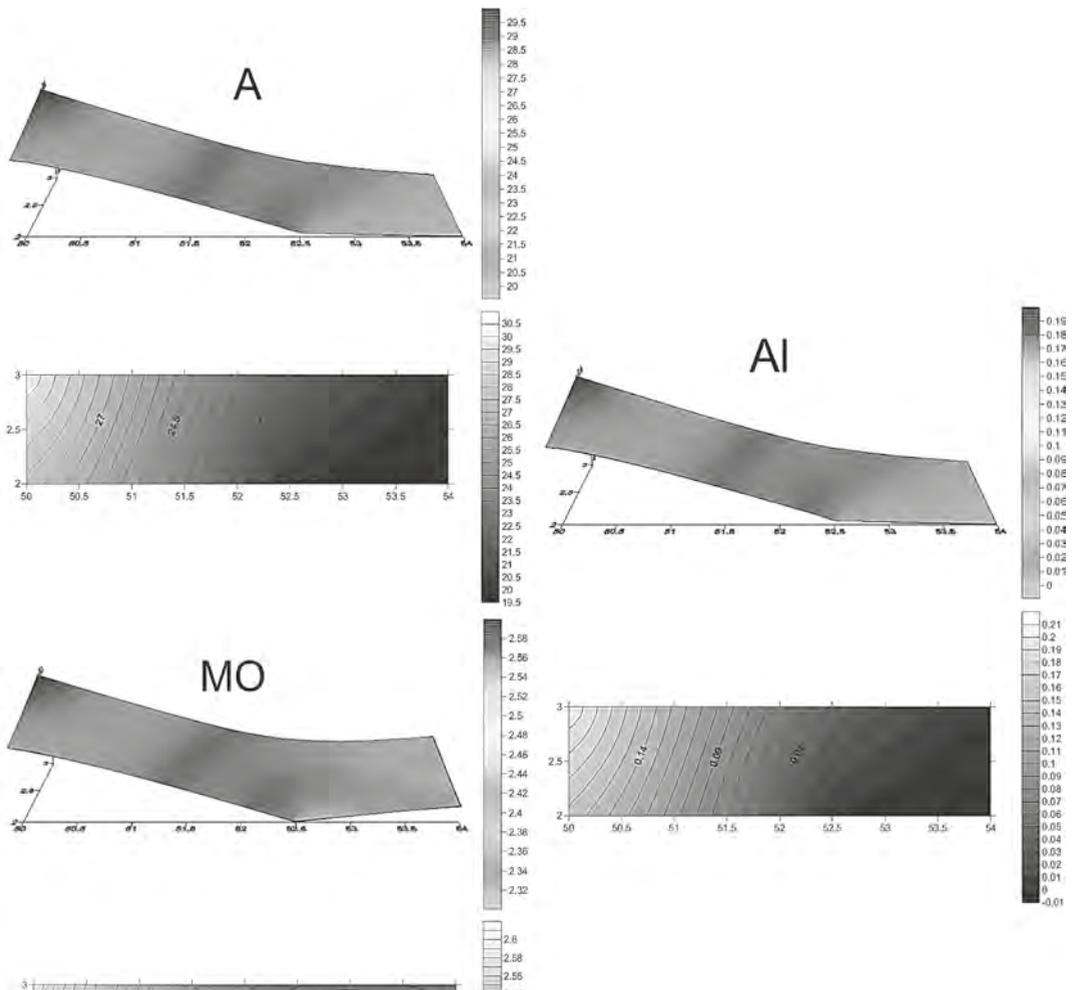


Figura 93.

Mapas de distribución de los análisis físico-químicos del grupo 2 en el paleosuelo.

Arqueológicamente esta información permite inferir que la actividad antrópica en el suelo enterrado repercutió en las características de este suelo, presentando algunas similitudes.

El grupo 3, compuesto por magnesio (Mg) (cmole kg⁻¹) y humedad (%) Estos elementos presentan un comportamiento inverso al grupo 1 (Figura 94). Arqueológicamente se observa que el magnesio y el porcentaje de humedad presentan valores medios a altos en el sitio donde se presentaron vestigios arqueológicos.

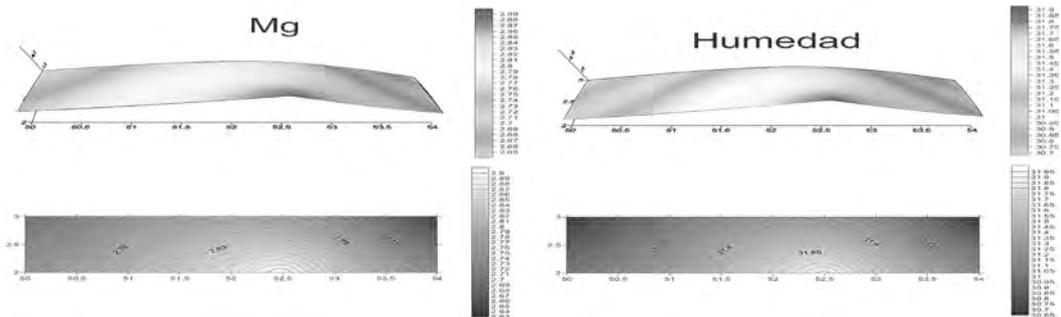


Figura 94.

Mapas de distribución de los análisis físico-químicos del grupo 3 en el paleosuelo.

El grupo 4 esta conformado por limo y arcilla (%), pH Y hierro (Fe) (mg kg⁻¹) el cual se comporta inverso al grupo 2, donde la máxima concentración se da en la dirección Este (Figura 95). Si miramos las figuras del grupo 2 del suelo enterrado, encontramos que el pH, la arcilla y el limo, son completamente opuestos, confirmando una vez más que se trata de suelos totalmente distintos.

El grupo 5 esta compuesto por CICE y calcio (cmole kg⁻¹), y manganeso (mg kg⁻¹). En el se observa una alta concentración en la parte Oeste y Central (Figura 96). Llama la atención que la concentración de calcio y manganeso se encuentran en la misma área donde se excavó una huella de un rasgo rectangular asociado a un depósito de basuras; probablemente estos elementos, estén indicando la perturbación antrópica.

LA INTERPRETACIÓN PEDOGENÉTICA

En la zona de estudios arqueológicos fueron observados varios perfiles podoestratigráficos. El objeto fue establecer la génesis para estos suelos y correlacionar la información con los datos arqueológicos. La génesis puede enmarcarse en varios eventos posiblemente ocurridos en la zona y que pueden ser evidenciados.

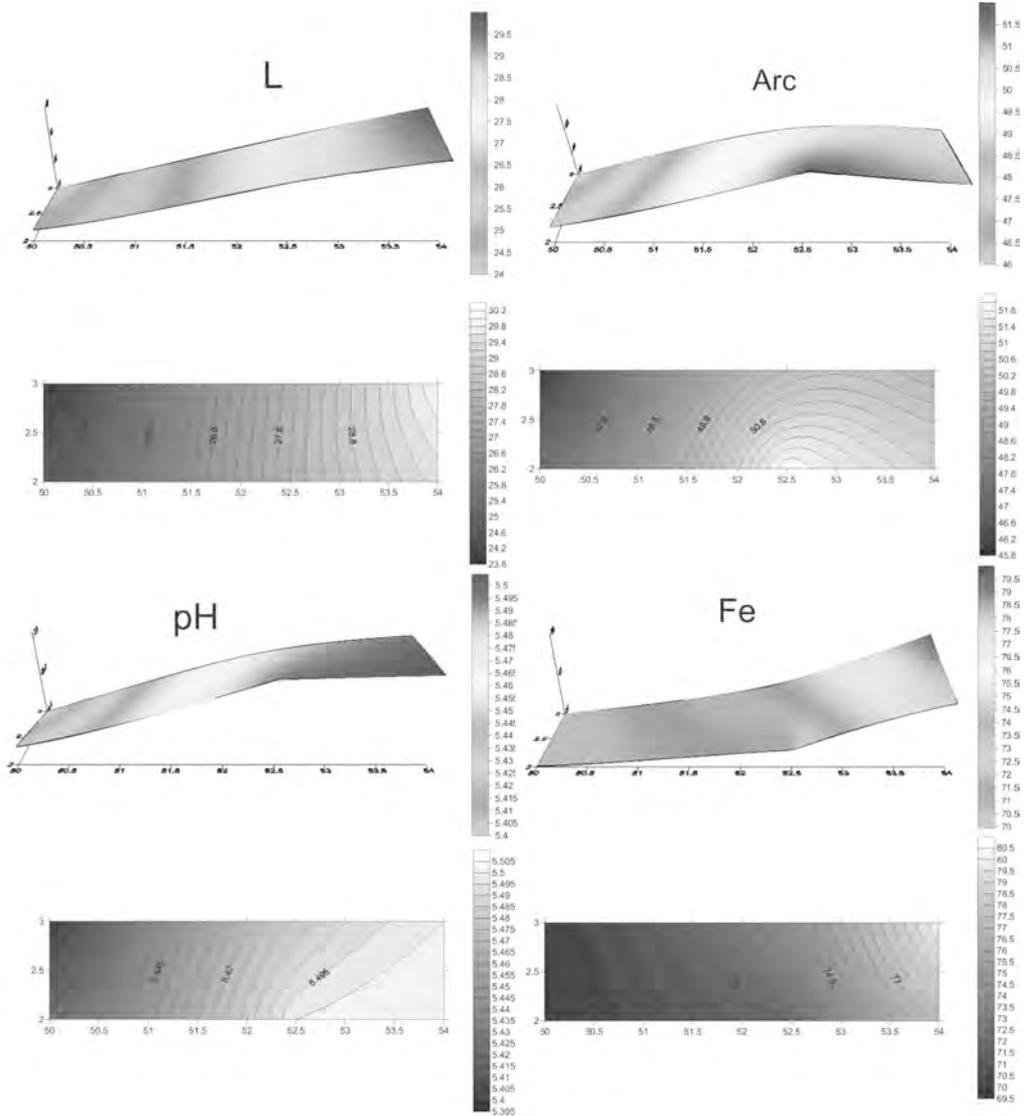


Figura 95.

Mapas de distribución de los análisis físico-químicos del grupo 4 en el paleosuelo.

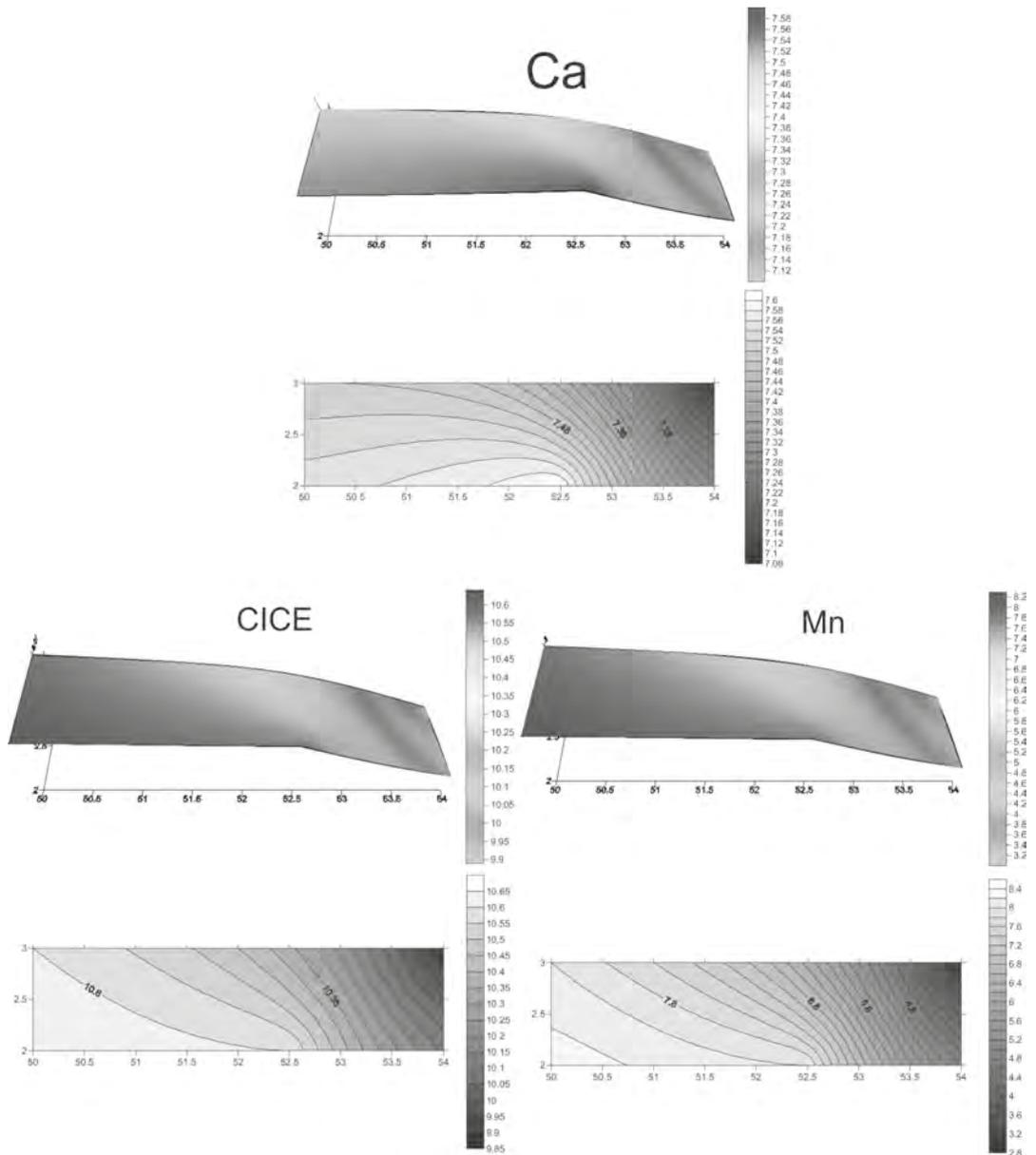


Figura 96.
Mapas de distribución de los análisis físico-químicos del grupo 5 en el paleosuelo.

El primer suelo que encontramos se corresponde con un alfisol, el cual probablemente se encontraba gran parte del año con buena humedad asociado a un régimen bimodal, esto se representa en los moteados en ambos horizontes. El hecho de encontrarse gran parte del año con buena humedad permite la acumulación por iluviación de las arcillas y del hierro, por eso es común encontrar en este suelo elementos asociados (nódulos y concreciones de hierro). Durante este tiempo el suelo fue utilizado como un sitio de agricultura, esto se infiere por la presencia de una huella de un rasgo rectangular asociado a un depósito de basuras y/o ofrendas a la madre tierra para la buena cosecha, asociado a poco material cerámico y lítico.

Con el tiempo, al parecer hubo una época muy húmeda, donde probablemente los ríos Lili y Meléndez se desbordaron y transportaron materiales hacia este sitio, enterrando el alfisol (paleosuelo) y dando origen al vertisol (suelo enterrado). En este suelo, que presentan unas características más duras para la agricultura, donde en épocas secas el suelo es demasiado compacto y en épocas húmedas es un barrizal, implicando el uso de una tecnología específica como es el arado, para lo cual se necesita un poco más de cuidado. Los habitantes prehispánicos preparó un terreno, adecuándolo con roca y cerámica para aislar la humedad, y establecieron allí su sitio de vivienda, lo cual se verificó por la presencia de tres rasgos de huellas de postes de viviendas, asociados a abundante material cerámico y lítico.

LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN ARQUEOLÓGICA

El complejo cultural Bolo-Quebrada Seca, hace parte de las sociedades cacicales tardías que encontraron los conquistadores españoles a su llegada a la región en la primera mitad del siglo XVI. El área de dispersión geográfica la conformaban unos 6500 km², desde el Valle de Popayán hasta el municipio de Palmira. Esta cultura se caracterizó por el uso y manejo de los suelos con fines agrícolas y de vivienda, en donde los pisos eran adecuados con gravilla y tiestos para las viviendas, también se conoce que hacían pisos en limos con el fin de aislarlos de la humedad; a nivel de agricultura, posiblemente en las zonas cercanas a los ríos, utilizaron canales de drenaje (Rodríguez 2002).

El sitio arqueológico Univalle 4A que investigamos hace parte del complejo cultural Bolo-Quebrada Seca y los suelos presentan alteración por actividad antrópica en diferentes momentos. En un primer momento o fase, se observa la construcción de un depósito (Rasgo 4. Figura 97), al parecer de desechos, asociado al uso del suelo para la agricultura, en un segundo momento, se observan huellas asociadas a la construcción de una vivienda, evidenciada en tres vestigios de postes (Figura 98).



Figura 97.
Paleosuelo. Rasgo 4 a 75 cm de profundidad.



Figura 98.

*Suelo enterrado. Hacia el Norte, Rasgos 1 y 2.
En el sur rasgo 3 y alteraciones 1, 2 y 3. A 30 cm de profundidad.*

A nivel natural, el suelo presenta una secuencia de dos depositaciones de sedimentos, la primera enterró el paleosuelo (lamellic Haplustalf), dando origen a un nuevo suelo denominado suelo enterrado (Typic Haplustert), el cual fue posteriormente enterrado por capas de sedimentos producto de la construcción de la vía interna en la Universidad del Valle y producto de la excavación arqueológica realizada en el año de 1999. En estos suelos, se encontró material cerámico y lítico, siendo más abundante en el suelo enterrado. Observando la distribución espacial de los materiales se encontró que no sufrieron transporte, y se incorporaron a la matriz del suelo, sin embargo, si presentan erosión. Por eso, en el caso concreto de Univalle 4A, se hace un estudio pedoestratigráfico, donde se analiza la depositación, y la posición horizontal del material dentro de los horizontes de suelo, el cual se corresponde con un piso de vivienda; esta información sumada a la presencia de huellas de poste de vivienda, indican la permanencia del sitio y una alteración de los suelos, llevando a inferir una modificación del suelo con nuevos aportes tanto físicos como químicos que se reflejan en los estudios realizados en esta investigación.

RECONSTRUCCIÓN DEL PERFIL ANTRÓPICO

De acuerdo a la secuencia estratigráfica cultural, se pudo establecer que Univalle 4A fue habitado ininterrumpidamente, diferenciando dos fases de desarrollo: la fase inicial que se encuentra aproximadamente a 70 cm de profundidad correspondiéndose con el paleosuelo y la fase final ubicada entre los 50 y 30 cm de profundidad en el suelo enterrado.

Para diferenciar estas dos fases, se usaron los datos aportados por las excavaciones anteriores en el yacimiento arqueológico Univalle 4 (Rodríguez y Bedoya 1999), más los datos de los análisis geofísicos, edafológicos y arqueológicos reportados en la investigación de Univalle 4A.

En cuanto a los datos arqueológicos, los vestigios cerámicos indican poca presencia de cerámica en el paleosuelo (horizonte Apb2, Nivel 11 y 12), en cambio en el suelo enterrado (horizonte ABwb1 y Apb1, horizontes del 7 al 10 y del 3 al 6 respectivamente), se presenta un porcentaje muy alto de este material el cual disminuye considerablemente en el nivel 3 del horizonte Apb1 (Figura 99).

FRECUENCIA ABSOLUTA

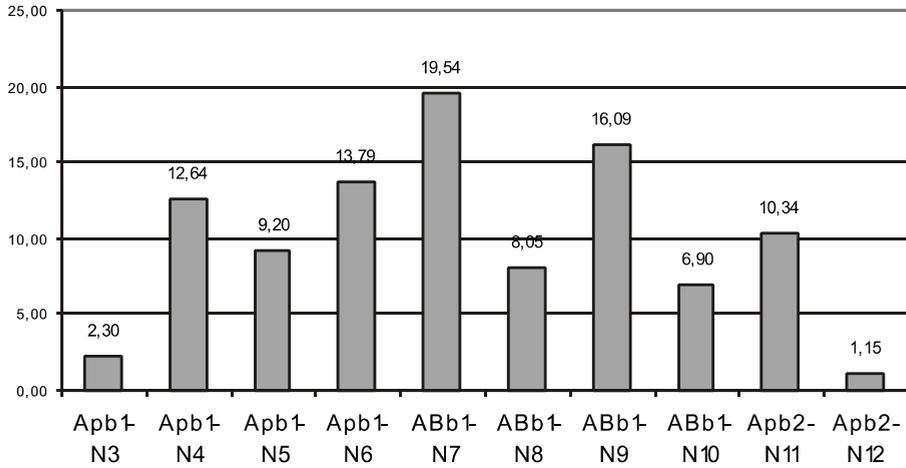


Figura 99.

Frecuencia absoluta de los vestigios cerámicos encontrados en Univalle 4A.

A continuación caracterizamos cada una de las fases de ocupación de la población prehispánica en el perfil modal registrado en el sitio arqueológico Univalle 4A (Figura 100).

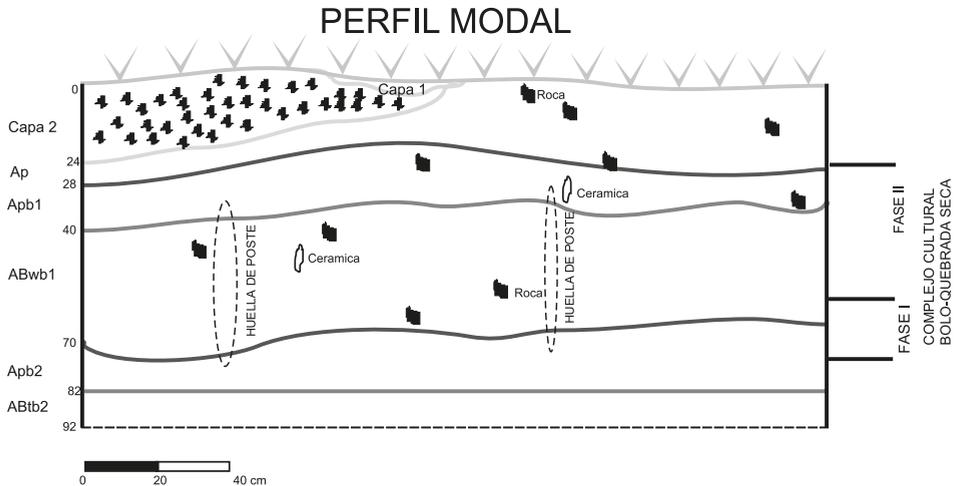


Figura 100.

Ubicación de las fases del complejo cultural Bolo-Quebrada Seca en el perfil modal de Univalle 4A.

LA FASE INICIAL DE LA OCUPACIÓN

Esta fase está representada por una baja densidad de material cultural recuperado en el horizonte de suelo Apb2, caracterizado por diez fragmentos de cerámica, ocho lascas y una estructura vertical o rasgo, dando cuenta de la intensidad de la intervención antrópica de este suelo.

De los diez fragmentos de cerámica (cantidad poco representativa para caracterizar una fase de ocupación, pero que aporta diferencias con respecto al resto de la cerámica del sitio), la mayor cantidad (53.85%), se corresponde con fragmentos de cuerpo, el resto indican que en su mayoría presenta bordes evertidos (15.38%) y labios redondeados (23.08) (Figura 101), de pasta burda a semiburda (7.84%), con algo de fina (3.92%), desgrasante de feldespato, cuarzo y minerales oscuros (19.61%), y alguno con óxido de hierro (1.96%), elaborados en atmósfera reducida (13.73%), donde lo que da la combustión, es el carbón mas no el oxígeno; y otros fragmentos fueron procesados en atmósfera oxidante; es decir, con presencia de oxígeno (Figura 102). En cuanto a la decoración, aunque los fragmentos se encuentran bastante erosionados (63.64%), se obtuvieron bordes que indican que la decoración es el corrugado digitado, que consta de unión de tiras de enrollado con marcas onduladas hechas por presión con la yema de los dedos (Figura 103).

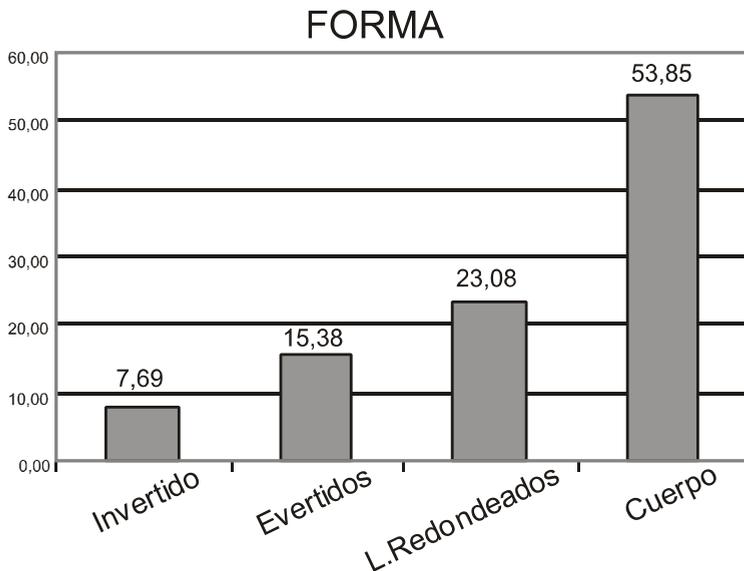


Figura 101.

Frecuencias absolutas de formas en la cerámica de Univalle 4A encontradas en el paleosuelo.

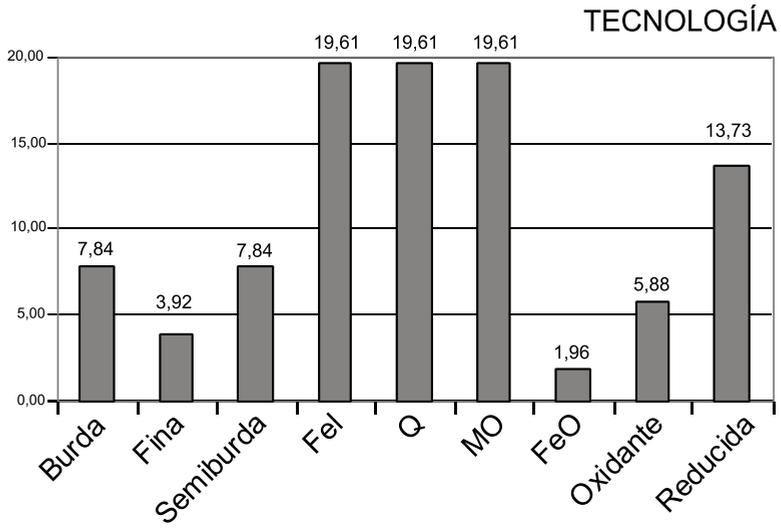


Figura 102.

Frecuencias absolutas de las pastas en la cerámica de Univalle 4A encontrada en el paleosuelo.



Figura 103.

Fragmentos de cerámica correspondientes la fase Inicial de ocupación.

En la tradición cultural Bolo-Quebrada Seca es común encontrar dos estilos cerámicos bien definidos: Bolo y Quebrada Seca. La hipótesis que se presenta con ellos es que fueron compartidos por los cacicazgos, aunque el complejo Bolo ha sido descubierto en sitios arqueológicos cordilleranos. Justamente, los pocos datos para este suelo, coinciden con la cerámica del complejo Bolo, representada por formas domésticas del sitio Cantarrana fechada entre 1000+/-60 d.C y 1040+/-60 d.C (Patiño *et al.* 1997); donde caracterizaron ollas, cántaros, cuencos de cuerpo simple, ollas-cuenco y copas con pintura positiva roja y decorados con presión digital, presión ungulada, presión angulosa, incisión, acanalado, corrugado digitado y aplicaciones (Rodríguez y Bedoya 1999; Rodríguez 2002).

La economía de subsistencia de este complejo cultural pudo incluir, además del cultivo del maíz, el aprovechamiento de otros recursos vegetales y de proteínas animales, a juzgar por la obtención de algunos productos de talla. De las 22 rocas que se encontraron en este paleosuelo, 13 se corresponden con cantos rodados, y 8 con lascas, aunque no se evidencian huellas de uso en estos materiales (Figuras 104, 105).



Figuras 104, 105.

Fragmentos líticos correspondientes a la fase Inicial de ocupación.

De acuerdo con los mapas de distribución del material cultural en este suelo, encontramos que los vestigios cerámicos y líticos se concentraron en el extremo Noreste. Presentando la estructura vertical o rasgo de un posible depósito de desechos hacia el Suroeste, el cual no fue excavado en su totalidad (Figura

106). Este depósito fue rellenado con tierra completamente negra que contenía carbón y algunos fragmentos pequeños de cerámica. Evidencias similares a este depósito fueron referenciadas por Salgado *et al.* 1993, quienes reportaron en la vivienda 5 del poblado prehispánico de Jiguales-Calima, un foso relleno con tierra completamente negra con abundantes trozos de carbón vegetal, semillas carbonizadas de maíz y frijol común y que fue fechado en 310 +/-60 d.C.

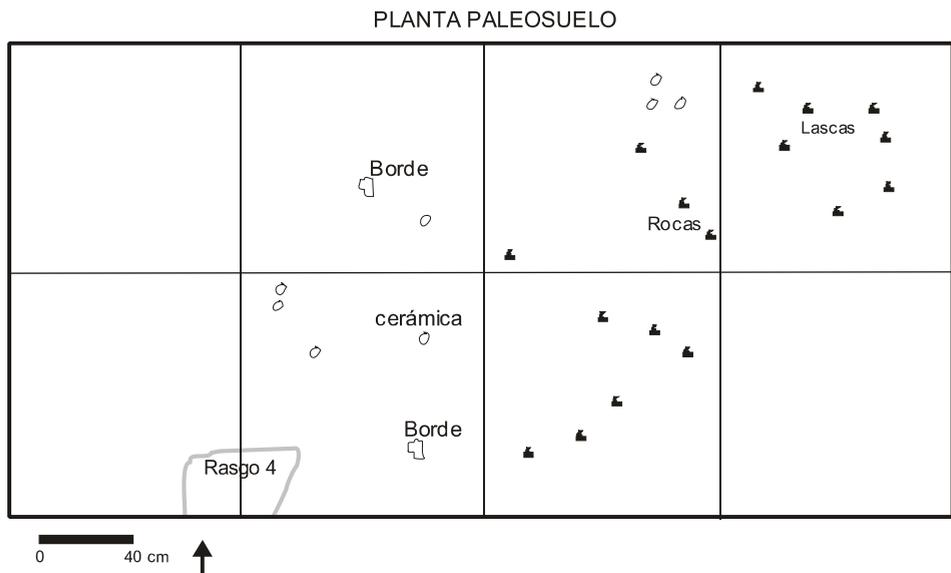


Figura 106.
*Mapa de distribución de los vestigios arqueológicos
de la fase Inicial de ocupación (75-85 cm).*

Si comparamos el mapa de la figura 106 con el de interpolación de la resistividad (Figura 107), encontramos que en la geoelectrónica los valores bajos están asociados con el rasgo 4 y los valores altos se asocian con la presencia de material cerámico y lítico. Al compararlo con los mapas de la conductividad térmica y la actividad microbiana, observamos que la zona del rasgo 4 presenta valores medios, incluso estos valores se replican al área donde se encuentra la cerámica y los líticos. En el caso de la reserva energética, el área de las evidencias arqueológicas presenta mayor reserva energética que las demás áreas (Figura 107).

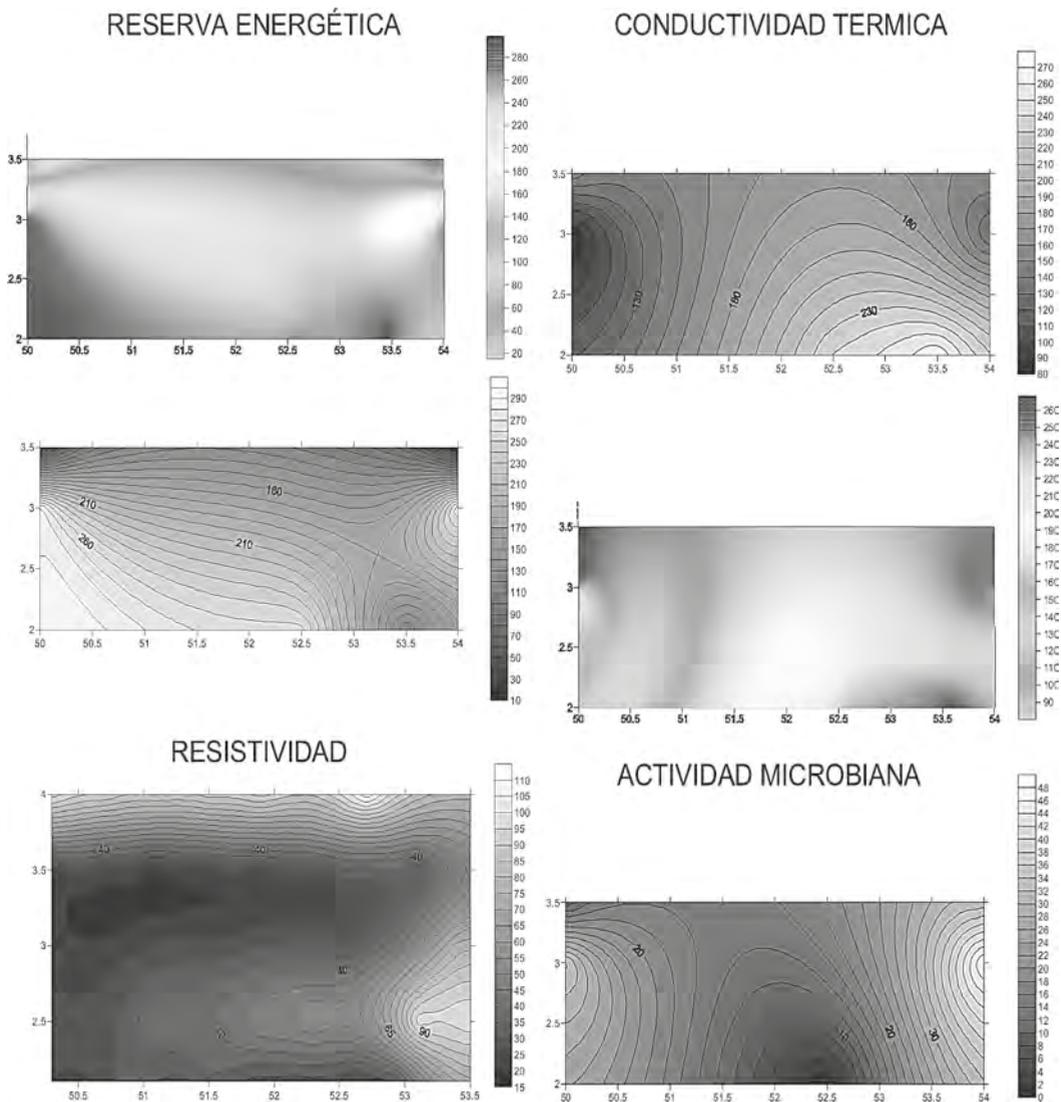


Figura 107.

Mapas de distribución de la reserva energética, resistividad, conductividad térmica y actividad microbiana de la fase Inicial de ocupación.

En cuanto a los análisis físico-químicos, se observa que en el grupo 1 relacionado con el comportamiento del potasio y el cobre (Figura 92), los valores altos coinciden con espacios poco alterados en el pasado, contrario al área Centro Sur, representada por valores medios, que es donde se encuentra la mayor cantidad de actividad antrópica. En el grupo 3 (Figura 94), se observa que el magnesio y el porcentaje de humedad presentan valores medios a altos en el sitio donde se presentaron vestigios arqueológicos. El otro grupo que expresa una relación directa con el material arqueológico, es el 4 (Figura 95), donde encontramos que los valores medios de limo, arcilla, pH y Fe, se asocian con el área del rasgo 4, mientras que los valores altos están relacionados con los vestigios cerámicos y líticos.

De acuerdo a los análisis pedológicos, la gente que vivió en esta época se encontró con un suelo que presentaba una humedad alta, gran parte del año, lo que impidió por un tiempo que fuera usado como sitio de habitación. Aunque dadas las características del suelo, pudo servir para la agricultura, esto se corrobora con los datos de reserva energética que presenta valores altos (de 180 a 280 cal/cm.), en este suelo.

La agricultura documentada para el valle geográfico del río Cauca, al parecer fue de roza y quema, implementando pisos de limos sobre las viviendas para aislar la humedad, como es el caso del yacimiento arqueológico Ciat 1 (municipio de Palmira-Valle del Cauca) (Rodríguez y Stemper 1993). En el caso de Cantarrana (municipio de Palmira-Valle del Cauca), hacia el siglo XI se implementó una tecnología agrícola de roza y quema, realizando rellenos artificiales y canales de drenaje, adaptando los terrenos para cultivar maíz y fríjol (Patiño *et al.* 1997).

LA FASE FINAL DE LA OCUPACIÓN

Esta fase esta representada por una alta densidad de material cultural recuperado en el horizonte de suelo Apb1 y ABb1 (suelo enterrado), caracterizados en el horizonte Apb1, por 33 fragmentos cerámicos, junto a 7 lascas, 4 cantos rodados y 2 artefactos pulidos, más 3 rasgos de huellas de poste; y en el horizonte ABb1, 44 fragmentos de cerámica asociados a 21 lascas, 4 núcleos, un canto rodado y un artefacto pulido, dando cuenta de la intensidad de la intervención antrópica de este suelo.

De los fragmentos de cerámica, la mayor cantidad que se encuentra en el Apb1 (53.49%) y en el ABb1 (35.63%), se corresponden con fragmentos de cuerpo, el resto de los fragmentos indican que existe una tendencia a elaborar bordes evertidos (13.95% en el Apb1 y 5.75% en el ABb1) y labios redondeados (18.60% en el Apb1 y 11.49% en el ABb1), presentando además otras formas de

bordes invertidos y directos con labios biselados y planos (Figura 108), de pasta fina en el Apb1 (11.89%) y semiburda en el ABb1 (8.39%), con desgrasante de cuarzo (20.98% para ambos horizontes), y en menor proporción feldespato (16.78%), y minerales oscuros (13.90%), elaborados en atmósfera oxidante (17.48%), donde pocos fragmentos fueron procesados en atmósfera reducida (Figura 109). En cuanto a la decoración, aunque los fragmentos se encuentran bastante erosionados (80% para el Apb1 y 47% para el ABb1), se obtuvieron indicadores de decoración que muestran que en el Apb1 predomina los pulidos, la pintura y la presión unglada; es decir, presiones curvas con la punta de la uña, y en menor proporción la presión digital, que es la presión de los dedos sobre la arcilla blanda en los bordes de las vasijas; para el ABb1 muestran que predomina la presión unglada y la presión digital, siguiéndole el corrugado digitado y la presión angulosa (Figuras 110, 111, 112).

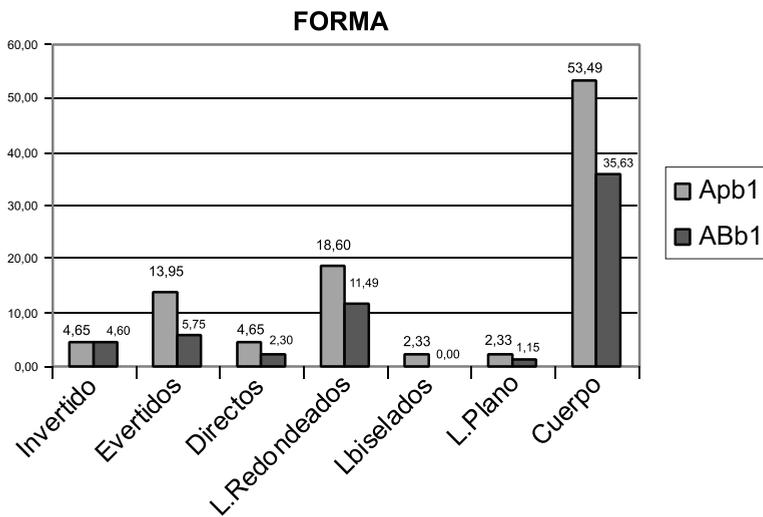


Figura 108.

Frecuencias absolutas de formas en la cerámica de Univalle 4A encontradas en la fase final de la ocupación.

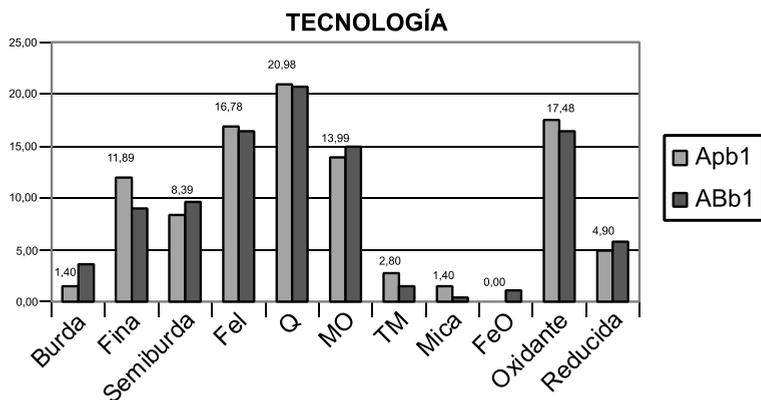


Figura 109.

Frecuencias absolutas de los tipos de pasta en la cerámica de Univalle 4A encontradas en la fase final de la ocupación.

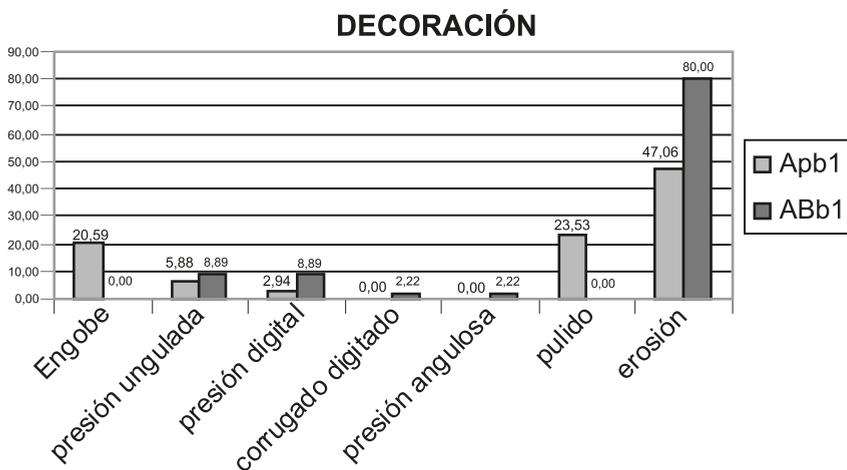


Figura 110.

Frecuencias absolutas de los tipos de decoración en la cerámica de Univalle 4A encontradas en la fase final de la ocupación.

Dentro de los estilos cerámicos para la tradición cultural Bolo-Quebrada Seca, los datos para este suelo, coinciden con la cerámica del Complejo Bolo, representada en las formas domésticas del sitio Sachamate, la cual fue fechada por Julio Cesar Cubillos en 1170+/-60 d.C y 1210+/-50 d.C (Cubillos 1984). Característicos de este complejo cerámico son los platos sencillos con bordes evertidos, cuencos de cuerpo simple, ollas y cántaros subglobulares, decorados con incisiones de líneas simples, presión digital sobre los bordes, presión angulosa, presión ungluada y corrugado digitado (Rodríguez 2002).



Figuras 111, 112.
*Bordes y fragmentos cerámicos decorados de cerámica correspondientes
la fase final de ocupación.*

En cuanto al material lítico, de las 13 rocas que se encontraron en este suelo enterrado, 4 se corresponden con cantos rodados, 2 de ellos pulidos, y 7 lascas, y aunque no se evidencian huellas de uso en estos materiales, los 2 cantos rodados pudieron ser usados como artefactos de molienda y las lascas como instrumentos de corte (Figuras 113, 114).



Figuras 113, 114.

Líticos correspondientes la fase Final de ocupación.



Figura 115.

Mapa de distribución de los vestigios arqueológicos en el horizonte ABb1 de la fase final de la ocupación.



Figura 116.

Mapa de distribución de los vestigios arqueológicos en el horizonte Apb1 de la fase final de ocupación.

De acuerdo a los mapas de distribución del material cultural en este suelo, encontramos que los vestigios cerámicos y líticos se concentraron hacia el Norte y Noroeste. Presentando 3 alteraciones antrópicas (Figura 113, círculos en rojo: rasgos 1,2, 3) que se corresponden con huellas de poste de vivienda en el pasado y 3 alteraciones antrópicas correspondientes a barrenos de prospección elaborados en el año 1999 durante las excavaciones en Univalle 4 (Figuras 115, 116).

De acuerdo a la distribución en profundidad de los vestigios cerámicos, en el suelo enterrado encontramos diferencias en los dos horizontes del suelo, y al observar la distribución en planta de los vestigios arqueológicos (Figuras 115, 116), encontramos que los análisis geofísicos y fisicoquímicos, se corresponden con el horizonte ABb1. Si comparamos este mapa con el de interpolación de la resistividad (Figura 115), encontramos que en la geoelectrica los valores bajos están asociados con la alteración 1 y que puede estar influenciado por el rasgo 4 del paleosuelo, y los valores altos se asocian con la presencia de material cerámico y lítico que en este caso forman parte del piso de la vivienda. Al compararlo con los mapas de la conductividad térmica y la actividad microbiana (Figura 117), observamos que la zona donde se encuentra la cerámica y los líticos presenta valores bajos de conductividad térmica; es decir, se encuentra compactado en esta zona. En el caso de la reserva energética (Figura 117), el área donde se encuentra la cerámica y los líticos es menor que en las otras áreas, esto es contrario a la información de la reserva energética en el paleosuelo, explicándose por el uso de este suelo como sitio de vivienda.

Las huellas de poste de este suelo no se evidencian claramente en los mapas de geofísica y de pedología, esto se explica porque estas fueron elaboradas en el horizonte Apb1, generando perturbación leve en el horizonte ABwb1 y Apb2, y aunque los corta, no es suficientemente fuerte como para alterar las propiedades originales.

En cuanto a los análisis físico-químicos, se observa que en el grupo 1 relacionado con el comportamiento de la humedad, la capacidad de intercambio catiónico, el calcio y el boro (Figura 87), los valores altos coinciden con espacios alterados en el pasado, contrario al área Centro Sur, representada por valores bajos, que es donde se encuentra la menor cantidad de actividad antrópica. En el grupo 2 (Figura 88), se observa que el pH, los limos, arcillas, materia orgánica, la clase, el manganeso y el zinc presentan valores altos a medios en el sitio donde se presentaron vestigios arqueológicos, aunque esta representación no se hace muy evidente hacia el extremo Este del corte. El otro grupo que expresa una relación directa con el material arqueológico, es el 3 (Figura 89), donde encontramos que los valores bajos a medios de magnesio, cobre, hierro, potasio y fósforo, se asocian con el área de concentración cerámica y lítica.

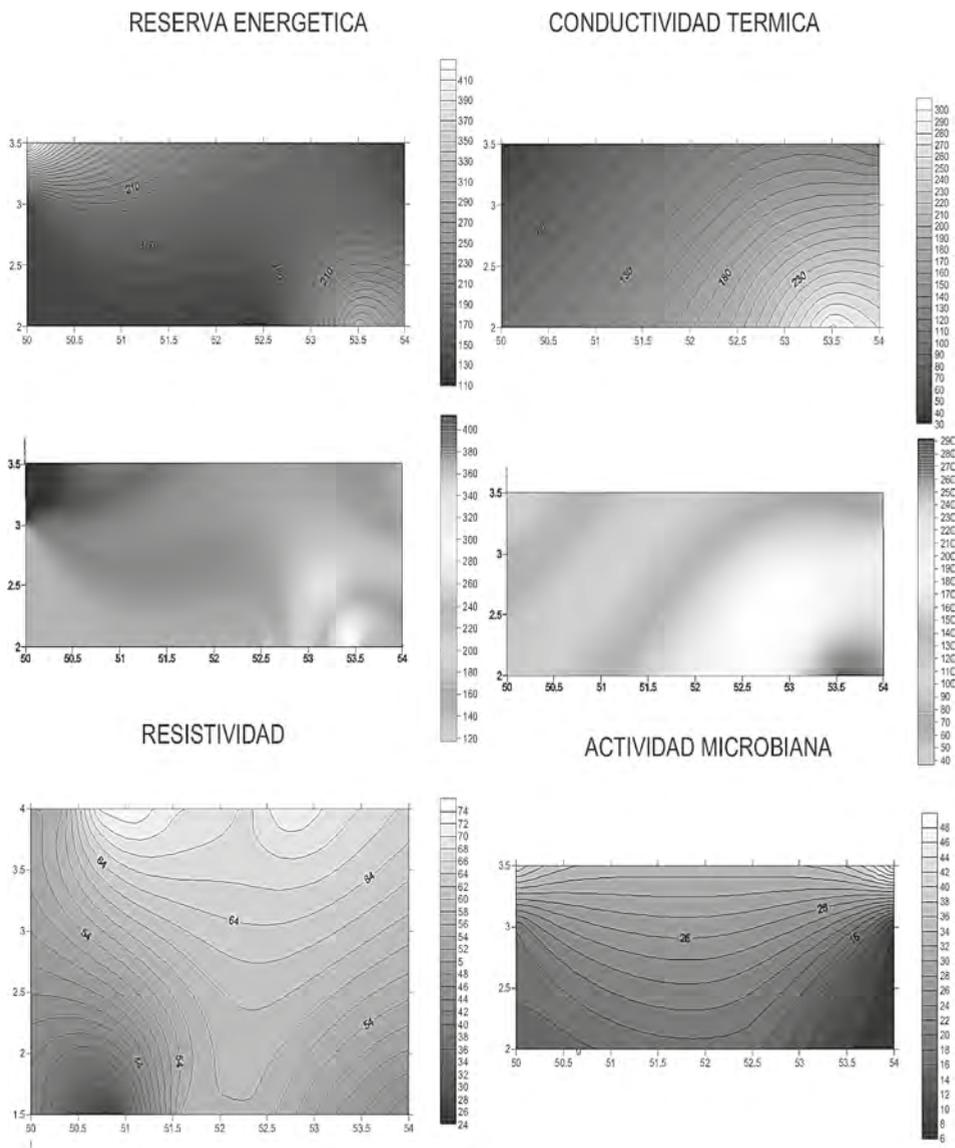


Figura 117.

Mapas de distribución de la reserva energética, resistividad, conductividad térmica y actividad microbiana de la fase Inicial de ocupación.

De acuerdo a los análisis pedológicos, la gente que vivió en esta época se encontró con un suelo difícil para la agricultura, puesto que en temporada de sequía es compacto y en época de lluvia es arcilloso y posiblemente se encontraba gran parte del año húmedo. Buscando contrarrestar esta característica, le adicionaron al suelo cerámica, roca y posiblemente arena del río para impermeabilizar el piso y adecuarlo para la vivienda. Esta hipótesis se puede corroborar de acuerdo a los datos de reserva energética que para este suelo presenta valores relativamente bajos (de 120 a 200 cal/cm.).

En concordancia con lo anterior, podemos afirmar que efectivamente la actividad humana en el pasado representa un cambio en la normalidad de los suelos y que esto puede ser observado con métodos y técnicas geofísicas, donde los datos geofísicos y edafológicos adquiridos en los suelos con huellas de perturbación (rasgos) son diferentes a los datos reportados por los suelos con materiales cerámicos y líticos, los cuales se muestran inversos a los primeros, mostrando además que a partir de estos datos se pueden observar áreas de actividad. El hecho de que se presentaron valores contrarios en los datos geofísicos y pedológicos en ambos suelos, dependió de la respuesta del suelo a la presencia de los vestigios arqueológicos los cuales alteran sus propiedades de manera diferente.

NOTAS

¹ Estación Climatológica de la Universidad del Valle (<http://osso.univalle.edu.co/doc/publicac/planii/cap04/text06.htm>).

² Tomado de OSSO 2003 (<http://osso.univalle.edu.co/doc/publicac/planii/cap04/text06.htm>).

³ Tomado de OSSO 2003 (<http://osso.univalle.edu.co/doc/publicac/planii/cap04/text06.htm>).

⁴ Toda la información sobre estas dos temporadas de campo y sus resultados pueden consultarse en Rodríguez y Bedoya 1999.

⁵ Las excavaciones en el sitio Univalle 4A se planificaron con el objeto de ampliar la información obtenida del estudio del yacimiento Univalle 4, donde previamente habían sido identificadas dos ocupaciones prehispánicas portadoras de la Cultura Bolo-Quebrada Seca (800-1500 d.C.). Sus resultados fueron expuestos en una tesis de Maestría sobre Geomorfología y Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, sustentada en mayo del año 2005 (Agudelo 2005).

⁶ Paleosuelo: Suelo formado en un paisaje del pasado, o formado bajo cambios en las condiciones ambientales, notablemente climáticas y asociadas con cambio de vegetación. Es un suelo enterrado por sedimentos jóvenes con la suficiente profundidad para que cualquier subsiguiente pedogénesis no lo afecte (Holliday 1989).

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, Alejandra M. 2005. “*Análisis de suelos antrópicos en un contexto arqueológico de la cultura Quebrada Seca (800-1550 d.C.), utilizando técnicas de la geofísica y la pedología*”. Tesis de Grado como requisito para optar el título de Magíster Science en Geomorfología y suelos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Medellín. Mayo.

Barea, J.M y Azcon, C. 1982. “*La rizosfera: Interacción microbio-planta. En: A nales de Edafología y Agrobiología*”. Madrid. Vol 41 No. 7-8, Pp 1517-1532.

Binford, Lewis. 1972. “*An Archaeological Perspectiva*”. Seminar Press. New York.

Binford, Lewis. 1988. “*En busca del pasado*”. Editorial Crítica, Barcelona.

Burbano, H. 1989. “*El Suelo: Una visión sobre sus componentes bioorgánicos*”. Universidad de Nariño, Pasto.

Butzer, K. 1989. “*Arqueología - Una ecología del hombre: Método y teoría para un enfoque contextual*”. Ediciones Bellaterra. Cambridge University Press, Barcelona.

Carandini, A. 1997. “*Historias en la Tierra. Manual de excavación arqueológica*”. Editorial Crítica. Barcelona. Cubillos 1984.

Cubillos, J. 1984. Asentamientos Prehispánicos en la Suela Plana del río Cauca. Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales. Banco de la República. Bogotá.

Dincauze, D. 2000. “*Environmental Archaeology. Principles and practice*”. Cambridge University Press.

Gándara Vázquez, Manuel. 1993. “*El análisis de posiciones teóricas: aplicaciones a la arqueología social*”. Boletín de Antropología Americana. No 27:2-20. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México.

Gándara Vázquez, Manuel. 1990. “*La analogía etnográfica como heurística: lógica muéstrela, dominios ontológicos e historicidad*”. En: Sugiera e Serra Editores. Etnoarqueología. Coloquio Bosch-Gimpera. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM. México.

Gómez, E. 1997. “*Estimación de algunos agentes biológicos del suelo asociados con el manejo del cultivo de la yuca (Manihot esculenta crantz) en la Costa Norte de Colombia*”. Tesis MSC Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. Gómez et al 2004.

Gómez, Patricia, Romero Gustavo, Zúñiga Orlando, Calero Álvaro, Osorio Juan Carlos. 2004. *Evaluación De La Reserva Energética Del Suelo En Tres Sistemas Del Cultivo De Caña De Azúcar En El Cerrito – Valle Del Cauca*. Primera Parte. En: Revista Procaña. N.66:23-27. Diciembre. Cali.

Harris, E. 1991. “*Principios de Estratigrafía Arqueológica*”. Editorial Crítica. Barcelona. Holliday 1985.

Holliday, V. 1989. *Paleopedology in Archaeology*. In: *Paleopedology. Nature and Application of Paleosols*. Bronger, A. and Catt J.A. (eds). Supplement 16. Pag.187-206. Catena Cremlingen, Germany.

Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, IGAG. 1980. “*Estudio semidetallado de suelos del valle geográfico del Río Cauca*”. IGAC-CVC. República de Colombia.

Jaramillo, Daniel. 2002. “*Introducción a la ciencia del suelo*”. Libro en CD Room. 1ª edición. Universidad Nacional de Colombia.

Kuhn, Thomas.1977. “*Second thoughts on paradigms*”. *The structures of scientific theories:459-482*. University of Illinois Press. Urbana.

Lakatos, I. 1970. “*Falsification and Methodology of Scientific Research Programmes*”. In Lakatos, I and Musgrave, A. Criticism and the grow of knowledge:91-196. Universsity Press. Cambridge.

Limbrey, Susan. 1975. “*Soil Science and Archaeology*”. Academic Press. New York.

Leonardi, G y Balista, C. 1992. “*Linee di Appocio al Deposito Archeologico*”. En: G Leonardi (ed), Processi Formativi della stratificazione archeologica. Salturie dal Laboratorio del Piovego, 3: 75-99

Londoño, L. 1996. *Yumbo, de resguardo indígena a capital industrial del Valle del Cauca*. Colección de Autores Vallecaucanos. Gobernación del Valle - Gerencia Cultural. Cali.

López, F. 1990. “*Elementos para una construcción teórica en Arqueología*”. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Colección Científica. México D.F.

Manzanilla, L. y Barba, L. 1994. “*La arqueología: una visión científica del pasado del hombre*”. La ciencia / 123 desde México. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.

Montenegro, H. Y Malagón, D. 1990. “*Propiedades físicas de los suelos*”. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Subdirección Agrológica. República de Colombia. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Bogotá, D.E.

Morin, Edgar, 1996. “*Introducción al pensamiento complejo*”. Gedisa.

Patiño, D., Clavijo, A., Gómez, A., Díaz, C., y Pulido, R. 1997. “*Evidencias paleoindias y cerámicas en el Valle del Cauca (Rescate Arqueológico en el Gasoducto de Occidente Mariquita-Yumbo)*”. Cespedesia. Vol. 22. .N.70: 33-95. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas. Cali. Paul y Clark 1989.

Paul, E.A.; Clark, F.E. 1989. Soil microbiology and biochemistry. California: Academic Press.

Politis, Gustavo.2003. “*The theoretical landscape and the metodological development of archaeology in Latin America*”. Latin American Antiquity, Vol 14, N.2:115-142.

Porta, C. J., López-Acevedo, R. M. y Roquero, C. 1994. “*Edafología para la agricultura y el medio ambiente*”. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Rapp, G., Hill, C. 1998. *Geoarchaeology. “The earth-science approach to archaeological interpretation”*. Yale University. Chelsea, Michigan.

Reyes, Aldemar. y Viera Magalier. 2001. “*Efecto de cuatro sistemas de labranza en la compactación de un suelo vertisol de Palmira (Valle) y su relación con el comportamiento térmico*”. Tesis de pregrado. Laboratorio de Física Ambiental. Universidad del Valle. Unal de Colombia. Sede Palmira. Facultad de Ingeniería Agrícola. (Inédito)

Rodríguez, Carlos A. 1996. “*Rescate arqueológico en los sitios PK 276 + 700 y PK 321 + 400 ubicados en la troncal del Gasoducto de Occidente*”. Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL. Informe Final. Santiago de Cali. Noviembre.

Rodríguez, Carlos A. 2002. “*El Valle del Cauca prehispánico. Procesos socioculturales antiguos en las regiones geohistóricas del alto y medio Cauca y la Costa Pacífica colombo-ecuatoriana*”. Departamento de Historia, Universidad del Valle-Fundación Taraxacum, Washington D.C. Cali.

Rodríguez, C., y Stemper, D. 1993. “*Investigaciones arqueológicas de sociedades agroalfareras prehispánicas tardías en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Municipio de Palmira, Valle del Cauca*”. Informe Final. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas. Centro Internacional de Agricultura Tropical-Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales. Cali. Marzo.

Rodríguez, Carlos A y Alexandra Bedoya. 1999. “*Asentamientos prehispánicos tardíos en la Universidad del Valle*”. Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales. Año 14. Numero 1. Santa Fe de Bogotá, D.C.

Rodríguez Carlos A, Ernesto L. Rodríguez y William M Romero. 2001. “*La población de la sociedad Sonso entre 1000 y 1550 d.C y su relación con la muerte. El caso del cementerio Prehispánico de Guacandá en Yumbo, Departamento del Valle del Cauca*”. *Boletín de Arqueología*. Vol.16.N.3:27-94. Fundación de investigaciones Arqueológicas Nacionales. Bogotá. D.C. Rojas 2002.

Rojas, Adriana. 2002. Adriana. 2002. *De la conductividad térmica del suelo y su relación con la materia orgánica, actividad y biomasa microbianas en cultivos agroecológicos y convencional de maracuyá (passiflora edulis var. Flavicarpa) en el municipio de Toro (Valle Del Cauca)*. Trabajo de grado. Universidad Nacional-sede Palmira.

Salgado, Héctor, Rodríguez, Carlos, y Bashilov, Vladimir. 1993 “*Investigaciones arqueológicas en el poblado prehispánico de Jiguales-Calima (Primera Temporada)*”. INCIVA. Cali, Colombia.

Sánchez, Alberto y Cañabate, Maria Luisa. 1998. “*Indicadores químicos para la arqueología*”. Universidad de Jaén. Baeza (Jaén)

Siqueira, O.J.; Moreira, F.; Grisi, B.; Hungria, M. y Araujo, R. 1994. “*Microorganismos e processos biológicos do solo*”. Perspectiva ambiental. EMBRAPA-SPI. Brasilia.

Shennan, Stephen. “*Arqueología cuantitativa*”. Editorial Crítica. Barcelona. 1992

Shiffer, M. 1987. “*Formation processes of the archaeological record*”. University of New Mexico Press. Albuquerque. SSDS 1993.

SSDS. 1993. Soil Survey Division Staff (SSDS). 1993. Soil Survey Manual. Handbook 18.USDA. Washington D.C.

WARDLE, D.A. 1994. “*Métodos para quantificar a biomassa microbiana do solo. Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*”. EMBRAPA – SPI. Brasilia. 480 p

Waters, M. 1992. “*Principles of Geoarchaeology. A North American Perspective*”. The University of Arizona Press. Tucson. Witten 2006.

Witten, Alan. 2006. *Handbook of Geophysics in Archaeology*. Equinox Publishing. London.

Zúñiga, Orlando. 2001. “*Nuevas técnicas no destructivas en el manejo de suelos y plantas como herramientas para una agricultura de conservación*”. Ponencia presentada en el VII congreso Nacional de Ingeniería agrícola. Universidad Surcolombiana. Neiva. Octubre 29-31.

Zúñiga, Orlando. y Rodríguez, Carlos A. 1999. “*Aplicación del método geoeléctrico para la localización de tumbas prehispánicas*”. Ponencia presentada al I Congreso de Arqueología en Colombia. Manizales 28-30 de Octubre.

Zúñiga O, Reyes A y Peña D. 2003a Técnica electrotérmica. *En: Agricultura orgánica en Colombia: Un enfoque analítico y sintético*. Universidad del Valle - Universidad de Bonn. Colombia Pag. 151-166.

Zúñiga, O, Reyes, A. y Pohland, J. 2003. “*The thermal conductivity: An alternative method for the measurement of soil compaction*”. Journal of agriculture and rural development in the tropics and subtropics. Vol.104, No 2:173-180.

Zúñiga O, Reyes A, y Peña D. 2003a. *Técnica electrotérmica. En: Agricultura orgánica en Colombia: un enfoque analítico y sintético*. Universidad del Valle-Universidad de Bonn. Cali. Pág. 151-166.

Zúñiga, O. 2004. “Presentación del Laboratorio de Física Ambiental a PROCANA. Valle del Cauca. Colombia”. Diciembre. Cali.

Paginas Web.

<http://osso.univalle.edu.co/doc/publicac/planii/cap04/text06.htm>

AUTORES

Carlos Armando Rodríguez

Historiador de la Universidad Estatal de Voronech (Rusia, 1980) tiene un Ph.D. en Arqueología del Instituto de Arqueología (Moscú, 1987). Profesor Titular adscrito al departamento de Artes Visuales y Estéticas de la Universidad del Valle, donde coordina el Grupo de Investigación en Arqueología y Diversidad Sociocultural Prehispánica, *Arqueodiversidad*. Igualmente, desde 1994 es Director del Museo Arqueológico “Julio César Cubillos”. Investigador invitado del Departamento de Antropología del Smithsonian Institute (2000). Autor de los libros: “*Los hombres y las Culturas Prehispánicas del Suroccidente de Colombia y el Norte del Ecuador*” (2005), “*El Valle del Cauca Prehispánico. Procesos socioculturales antiguos en las regiones neohistóricas del Alto y Medio Cauca y la Costa Pacífica colombo-ecuatoriana*” (2002) “*Tras las huellas del hombre prehispánico y su cultura en el Valle del Cauca*” (1992). coautor de “*Lo cotidiano y lo simbólico en el arte geométrico prehispánico del Valle Medio del río Cauca, 1000-1300 d.C.*” (1993) “*La vivienda prehispánica en Calima*” (1993). Su producción intelectual también incluye más de 70 artículos escritos en varios idiomas (ruso, alemán, inglés, español), publicados en revistas científicas nacionales y extranjeras.

Orlando Zúñiga Escobar

Ingeniero Geofísico de la Universidad Técnica de Berlín (Alemania), Ph.D. en Física de Suelos de la Universidad Politécnica de Madrid (España 1996). Profesor Titular adscrito al departamento de Física de la Universidad del Valle, donde coordina el Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales y de la Tierra YLAMA y dirige el Laboratorio de Física Ambiental. Actualmente es Profesor Visitante del departamento de Física de Suelos de la Universidad de Wisconsin (USA). Ha desarrollado una electrosonda para estudios de suelos con patente de invención internacional en vigencia y un equipo electrotérmico para estudios edafológicos y caracterización de paleosuelos antrópicos con patente de invención internacional en trámite.

Alejandra María Agudelo

Antropóloga de la Universidad de Antioquia (Medellín 2000) y tiene una Maestría en Geomorfología y Suelos de la Universidad Nacional de Colombia (Medellín 2005). Ha sido profesora del Colegio Mayor de Antioquia y actualmente se encuentra realizando prospecciones y excavaciones arqueológicas en el norte de Colombia.



Programa ditorial

Ciudad Universitaria, Meléndez
Cali, Colombia

Teléfonos: (+57) 2 321 2227
321 2100 ext. 7687

<http://programaeditorial.univalle.edu.co>
programa.editorial@correounivalle.edu.co