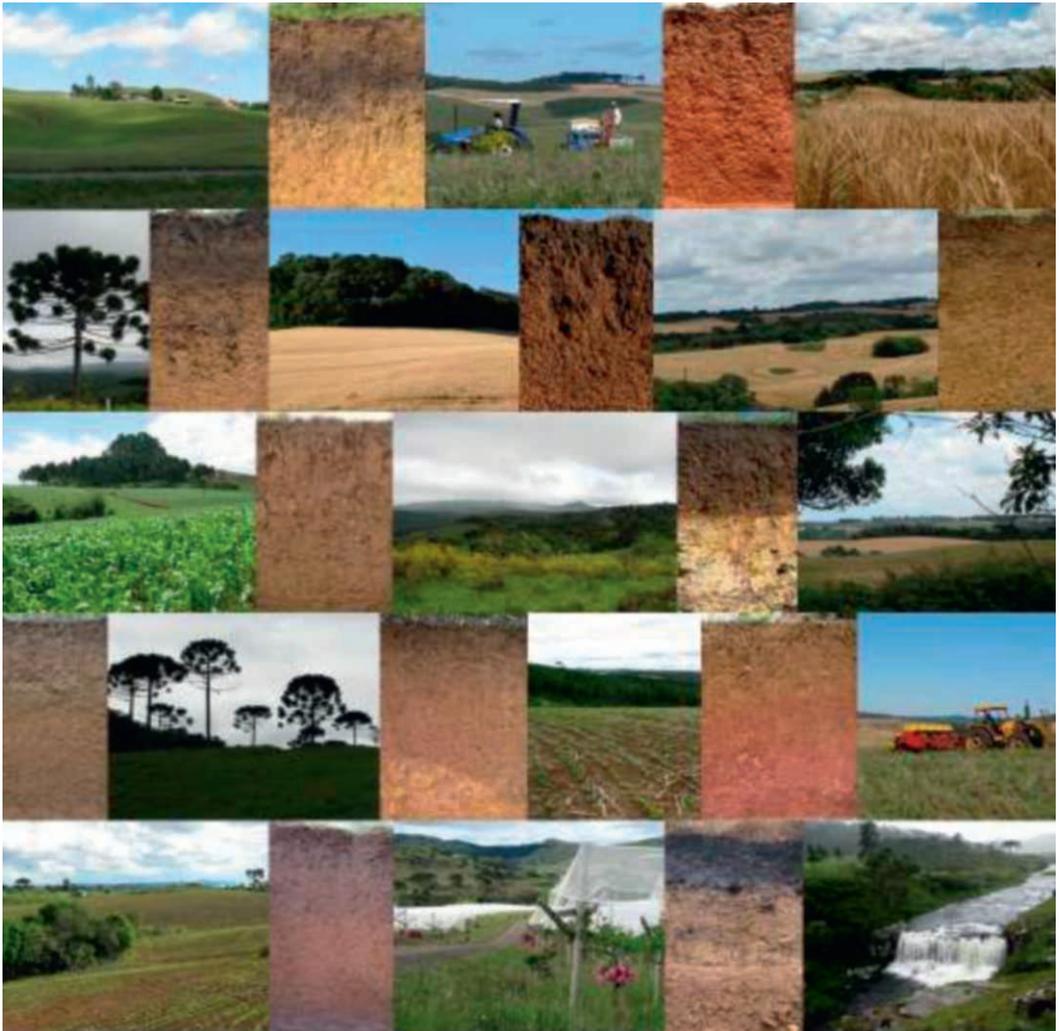


Superficie específica y parámetros multifractales obtenidos a partir de isothermas de adsorción y desorción de suelos de la región serrana del sur de Brasil





UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal

Tesis Doctoral

SUPERFICIE ESPECÍFICA Y PARÁMETROS MULTIFRACTALES OBTENIDOS
A PARTIR DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE SUELOS DE
LA REGIÓN SERRANA DEL SUR DE BRASIL

Lúcia Raquel Queiroz Pereira da Luz

Mayo 2016

Dña. Eva VIDAL VÁZQUEZ Profesora Contratada Doctora del Área de Edafología y Química Agrícola de la Universidade da Coruña (UDC)

CERTIFICA

Que la presente memoria titulada “***Superficie específica y parámetros multifractales obtenidos a partir de isothermas de adsorción y desorción de suelos de la región serrana del sur de Brasil***”, que para optar al grado de Doctor por la Universidade da Coruña presenta **Dña. Lúcia Raquel Queiroz Pereira da Luz**, ha sido realizada bajo mi dirección y supervisión dentro del Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal.

Considerando que constituye trabajo de Tesis Doctoral, autorizo su presentación.

Y para que así conste, firmo el presente certificado en A Coruña, a 10 de Mayo de 2016.

Fdo.: Eva Vidal Vázquez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de La Coruña por darme la oportunidad de llevar a cabo los estudios de doctorado.

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyecto CGL2005-08219-C02-01-HID) y a la Xunta de Galicia (proyecto 10MRU162037PR) por la financiación de esta investigación.

A la profesora Dra. Eva Vidal Vázquez y a los profesores del área de Edafología y Química Agrícola de la Universidad da Coruña (UDC), por su eficiente orientación, apoyo, incentivo y atención constante.

Al amigo, Denilson Dortzbach por el apoyo, la compañía agradable y por la disposición en los trabajos en campo, en una excursión por las sierras de Santa Catarina, para coleccionar muestras no deformadas para determinación de la densidad aparente, la densidad real y porosidad de los suelos.

Al amigo, Dr. Sergio Shimizu por las fotografías de los perfiles de los suelos y de los paisajes de los lugares en donde se muestrearon los suelos estudiados.

Al profesor Dr. José García Miranda por compartir su conocimiento sobre los fractales y los programas de ordenador necesarios para los análisis.

Al Profesor Dr. Jorge Paz-Ferreiro por las informaciones adicionales sobre el análisis multifractal.

RESUMEN

Superficie específica y parámetros multifractales obtenidos a partir de isothermas de adsorción y desorción de suelos de la región serrana del sur de Brasil

Las isothermas de adsorción (NAIs) y las isothermas de desorción (NDIs) de nitrógeno se usan generalmente para evaluar la superficie específica y la microporosidad del suelo (SSA) y de otros materiales. El estudio del escalamiento de la isothermas de N_2 puede proporcionar información complementaria acerca de la complejidad de la superficie del suelo. En este trabajo de tesis, se georeferenciaron, muestrearon, describieron morfológicamente y clasificaron once perfiles de suelos, representante de la región serrana del Estado de Santa Catarina, Brasil. Nueve de los perfiles muestreados estaban desarrollados sobre rocas volcánicas, con una amplia gama de composición mineralógica. En cada perfil seleccionado se estudiaron seis horizontes diferentes. Se analizaron las propiedades generales físicas, químicas y mineralógicas de los horizontes muestreados. Además también se tomaron agregados de todos los horizontes de los 11 perfiles estudiados, que se utilizaron para determinar tanto los diagramas de adsorción (NAIs) como los correspondientes diagramas de desorción. Los datos primarios de NAIs y NDIs se elaboraron para evaluar la superficie específica y examinar las propiedades escalares de los mismos mediante el análisis multifractal. Se puso de manifiesto que los suelos estudiados eran ricos en materia orgánica, y en general también exhibían contenidos elevados en arcilla. Los valores de superficie específica obtenidos fueron relativamente elevados y al mismo tiempo mostraron una gama de variación entre los perfiles de los suelos estudiados y entre los horizontes sucesivos dentro de un mismo perfil. Los datos de microporosidad también presentaron amplias diferencias entre las muestras estudiadas, y estos resultados demostraron ser muy útiles para comprender el movimiento y retención del agua del suelo. El contenido en arcilla y la capacidad de intercambio catiónico (CEC) presentaron una correlación positiva con la superficie específica (SSA), y ello a pesar de la amplia variación en cuanto a la mineralogía de la arcilla. Por su parte, el contenido de carbono orgánico mostró una débil correlación negativa con la superficie específica (SSA). Tanto las isothermas de adsorción (NAIs) como las de desorción (NDIs) de Nitrógeno pusieron de manifiesto que podían describirse mediante la aproximación multifractales, pero los

modelos de escalado fueron muy diferentes, de modo que isotermas de adsorción mostraron una heterogeneidad de escala más elevada, al tiempo que se comportaban como medidas con una distribución menos regular. Las diferencias de multifractalidad entre NAIs y NDIs fueron atribuidas a los diferentes procesos físicos que ocurren durante la adsorción y la desorción. Tanto la superficie específica (SSA) como diversos parámetros multifractales obtenidos a partir de las NAIs y NDIs permitieron establecer diferencias significativas entre los suelos desarrollados sobre materiales de partida de naturaleza ácida o básica. Mediante análisis de regresión lineal y análisis de componente principales (PCA) se puso en evidencia que el aumento en el contenido de carbono disminuía la heterogeneidad del escalado y la persistencia tanto de NAIs como de NDIs. Por otro lado, el incremento en el contenido de arcilla tiende a aumentar la heterogeneidad del escalado y la disminuir la persistencia tanto durante la fase de absorción como durante la fase de desorción.

ABSTRACT

Specific surface and multifractal parameters obtained from adsorption and desorption isotherms of soils of the highland region of south Brazil

Nitrogen adsorption isotherms (NAI's) and Nitrogen desorption isotherms (NDI's) are commonly used to evaluate specific surface area (SSA) and microporosity of soils and other materials. Scaling analysis of N₂ isotherms may yield complementary information about the complexity of the soil surface. Eleven soil profiles, representative of the mountain region of Santa Catarina State, Brazil, were georeferenced, sampled, morphologically described, and classified. Nine of the sampled soil profiles were developed over volcanic rocks with a wide range of mineralogical composition. Six different horizons were sampled for each of the studied profiles. General soil physical chemical and mineralogical properties were analyzed. Aggregate soil samples of the aggregate 11 profiles also were collected and these aggregates were used to determine both NAIs and associated NDIs isotherms. Data gathered from NAIs and NDIs were used to assess the specific surface area (SSA) and to examine the scaling properties using multifractal analysis. The studied soils were rich in organic matter and in general also exhibited high clay contents. The specific surface area values were relatively high, but showed a range of variation among the studied soil profiles and between successive horizons of the same profile. The microporosity also showed wide differences, which were important for understanding the movement and retention of water in them. Clay content and cation exchange capacity (CEC) showed a positive correlation to SSA, which was attributed to variable clay mineralogy. Organic carbon content showed a weak negative correlation to SSA. Both NAIs and NDIs exhibited multifractal behavior, but its scaling properties were different so that adsorption isotherms showed higher scaling heterogeneity and were less evenly distributed measures than desorption isotherm. Differences in multifractality between NAI's and NDI's were attributed to contrasting physical processes during adsorption and desorption. Both, SSA and various multifractal parameters estimated from NAI's and NDI's differentiated between soils developed over either acid or basic parent material. Linear regression and principal component analysis (PCA) showed increasing carbon content decreased scaling

heterogeneity and increased persistence of both, NAI's and NDI's. On the other hand, increasing clay content showed a trend to increase scaling heterogeneity and to decrease persistence during the absorption and desorption phases.

RESUMO

Superficie específica e parámetros multifractais obtidos a partir de isotermas de absorción e desorción de solos da rexión serrana do sur de Brasil

As isotermas de absorción (NAIs) e as isotermas de desorción (NDIs) de nitróxeno úsanse xeralmente para avaliar a superficie específica e a microporosidade do solo (SSA) e doutros materiais. O estudo das propiedades escalares das isotermas de N₂ pode proporcionar información complementaria para avaliar a complexidade da superficie do solo. Neste traballo de tese, xeoreferenciáronse, recolléronse mostras, describiuse a morfolóxica e clasificáronse once perfís de solos, representativos da rexión serrana do Estado de Santa Catarina, Brasil. Nove dos perfís estudados estaban desenvolvidos sobre rocas volcánicas cunha ampla gama de composición mineralóxica. En cada perfil recollido estudáronse seis horizontes diferentes. Analizáronse as propiedades xerais físicas, químicas e mineralóxicas dos horizontes seleccionados. Ademais tamén se tomaron mostras de agregados de todos os horizontes dos 11 perfís seleccionados, que se utilizaron para determinar tanto os diagramas de absorción (NAIs) como os correspondentes diagramas de desorción (NDIs). Os datos primarios de NAIs e NDIs elaboráronse para avaliar a superficie específica e examinar as propiedades escalares dos mesmos mediante a análise multifractal. Púxose en evidencia que os solos estudados eran ricos en materia orgánica e en xeral tamén exhibían contidos elevados en arxila. Os valores de superficie específica obtidos foron relativamente elevados e ao mesmo tempo mostraron unha gama de variación entre os perfís dos solos estudados e entre os horizontes sucesivos dentro dun mesmo perfil. Os datos de microporosidade tamén presentaron amplas diferenzas entre as mostras estudadas e estes resultados demostraron ser moi útiles para comprender o movemento e retención da auga do solo. O contido en arxila e a capacidade de intercambio catiónico (CIC) presentaron unha correlación positiva coa superficie específica (SSA) e iso a pesar da ampla variación en canto á mineraloxía da arxila. Pola súa banda, o contido de carbono orgánico mostrou unha débil correlación negativa coa superficie específica (SSA). Tanto as isotermas de absorción (NAIs) como as de desorción (NDIs) de Nitróxeno puxeron de manifesto que podían describirse mediante a

aproximación multifractal, pero os seus modelos de escalados foron moi diferentes, de modo que as isothermas de absorción mostraron unha heteroxeneidade de escala máis elevada, á vez que se comportaban como medidas cunha distribución menos regular. As diferenzas de multifractalidade entre NAIs e NDIs foron atribuídas aos diferentes procesos físicos que ocorren durante a absorción e a desorción. Tanto a superficie específica (SSA) como diversos parámetros multifractais obtidos a partir das NAIs e NDIs permitiron establecer diferenzas significativas entre os solos desenvolvidos sobre materiais de partida de natureza aceda ou básica. Mediante análise de regresión lineal e análise de compoñentes principais (PCA) púxose en evidencia que o aumento no contido de carbono diminuíu a heteroxeneidade do escalado e a persistencia tanto das NAIs como das NDIs. Doutra banda, o incremento no contido de arxila tende a aumentar a heteroxeneidade do escalado e a diminuír a persistencia tanto durante a fase de absorción como durante a fase de desorción.

RESUMO

Superfície específica e parâmetros multifractais obtidos a partir de isotermas de absorción e desorción de solos da rexión serrana do sur de Brasil

As isotermas de absorção (NAIs) e as isotermas de desorção (NDIs) de nitro xênio usam-se geralmente para avaliar a superfície específica e a microporosidade do solo (SSA) e de outros materiais. O estudo das propriedades escalares das isotermas de N₂ pode proporcionar informação complementar para avaliar a complexidade da superfície do solo. Neste trabalho de tese, xereferenciaronse, recolheram-se amostras, descreveu-se a morfológica e classificaram-se onze perfis de solos, representativos da região serrana do Estado de Santa Catarina, Brasil. Nove dos perfis estudados estavam desenvolvidos sobre rochas vulcânicas com uma ampla variação de composição mineralógica. Em cada perfil recolhido estudaram-se seis horizontes diferentes. Analisaram-se as propriedades gerais físicas, químicas e mineralógicas dos horizontes selecionadas. Ademais também se tomaram amostras de agregados de todos os horizontes dos 11 perfis estudados, que se utilizaram para determinar tanto os diagramas de absorção (NAIs) como os correspondentes diagramas de desorção (NDIs). Os dados primários das NAIs e das NDIs elaboraram-se para avaliar a superfície específica e examinar as propriedades escalares dos mesmos mediante a análise multifractal. Pôs-se em evidência que os solos estudados eram ricos em matéria orgânica e em geral também exibiam conteúdos elevados em argila. Os valores de superfície específica obtidos foram relativamente elevados e ao mesmo tempo mostraram uma grande variação entre os perfis dos solos estudados e entre os horizontes sucessivos dentro de um mesmo perfil. Os dados de microporosidade também apresentaram amplas diferenças entre as amostras estudadas, e estes resultados demonstraram ser muito úteis para compreender o movimento e retenção da água do solo. O conteúdo em argila e a capacidade de troca catiónica (CTC) apresentaram uma correlação positiva com a superfície específica (SSA) e isso apesar da ampla variação no que diz respeito à mineralogia da argila. Por sua parte, o conteúdo de carbono orgânico mostrou uma débil correlação negativa com a superfície específica (SSA). Tanto as isotermas de absorção (NAIs) como as de desorção (NDIs) de Nitrogênio puseram de manifesto que se podiam descrever mediante a aproximação

multifractal, mas os seus modelos de escalados foram muito diferentes, de modo que as isotermas de absorção mostraram uma heterogeneidade de escala mais elevada, à vez que se comportavam como medidas com uma distribuição menos regular. As diferenças de multifractalidade entre NAIs e NDIs foram atribuídas aos diferentes processos físicos que ocorrem durante a absorção e a desorção. Tanto a superfície específica (SSA) como diversos parâmetros multifractais obtidos a partir das NAIs e NDIs permitiram estabelecer diferenças significativas entre os solos desenvolvidos sobre materiais de partida de natureza aceda ou básica. Mediante análise de regressão lineal e análise de componentes principais (PCA) pôs-se em evidência que o aumento no contido de carbono diminuía a heterogeneidade do escalado e a persistencia tanto das NAIs como das NDIs. Por outra parte, o incremento no contido de argila tende a aumentar a heterogeneidade do escalado e a diminuir a persistência tanto na fase de absorção como durante na fase de desorção.

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2.1. Suelos de la región serrana de Santa Catarina | 3 |
| 2.1.1. Factores de formación | 3 |
| Localización | 6 |
| Material de partida | 6 |
| Tiempo | 7 |
| Relieve | 8 |
| Clima | 9 |
| Organismos vivos | 11 |
| Vegetación natural | 11 |
| Uso actual | 12 |
| 2.1.2. Suelos estudiados | 13 |
| Ferralsol | 14 |
| Alisol | 17 |
| Nitisol | 19 |
| Cambisol | 30 |
| 2.2. La superficie específica del suelo | 32 |
| 2.2.1. Determinación de la superficie específica | 35 |
| 2.2.2. Porosidad | 42 |
| 2.3. Fractales | 45 |
| 2.3.1. Fractales clásicos | 48 |
| 2.3.2. Usos de la geometría fractal | 50 |
| 2.3.3. Otras percepciones comunes de los fractales | 51 |
| 2.3.4. Aplicaciones de los fractales en ciencias del suelo | 52 |
| 2.4. Multifractales | 52 |
| 2.4.1. Análisis multifractal | 53 |
| 2.4.2. Espectro de dimensiones generalizadas | 55 |
| 2.4.3. Espectro de singularidad | 57 |

| | |
|---|-----|
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS | 60 |
| 3.1. Suelos seleccionados y propiedades generales | 60 |
| 3.1.1. Muestreo, descripción y clasificación | 60 |
| 3.1.2. Densidad aparente | 61 |
| 3.1.3. Densidad real | 61 |
| 3.1.4. Porosidad total | 62 |
| 3.2. Superficie específica | 52 |
| 3.2.1. Método BET | 65 |
| 3.2.2. Diagramas T | 67 |
| 3.2.3. Método BJH | 68 |
| 3.3. Análisis multifractal | 68 |
| 3.4. Análisis de Componentes principales | 68 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 69 |
| 4.1. Caracterización general de los suelos | 69 |
| 4.1.1. Ferralsoles | 69 |
| 4.1.2. Alisoles | 70 |
| 4.1.3. Nitisoles | 71 |
| 4.1.4. Cambisoles | 74 |
| 4.2. Superficie específica | 74 |
| 4.3. Porosidad | 88 |
| 4.4. Análisis multifractal | 96 |
| 4.4.1. Ferralsoles | 101 |
| 4.4.2. Alisoles | 104 |
| 4.4.3. Nitisoles | 106 |
| 4.4.4. Cambisoles | 109 |
| 4.5. Análisis de componentes principales | 112 |
| 4.6. Relationships between multifractal parameters, parent material, weathering and soil properties | 113 |
| 5. CONCLUSIONES, CONCLUSIONS, CONCLUÇÕES | 117 |
| 5.1. Conclusiones | 117 |

| | |
|--|-----|
| 5.2. Conclusions | 119 |
| 5.3. Conclusões | 121 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 123 |
| Anexo 1. Perfiles de los suelos estudiados | 130 |
| Anexo 2. Tablas de adsorción y desorción de N ₂ de los perfiles seleccionados | 173 |

1. JUSTIFICACIÓN y OBJETIVOS

El suelo es un complejo dinámico formado por tres fases, sólida, líquida y gaseosa, relacionadas entre sí, que se influyen mutuamente, lo que hace que para su estudio sea necesario considerar las interacciones suelo-agua-aire-plantas.

La importancia de estudiar el suelo, considerando la dinámica que ocurre en su matriz y en lo que respecta a su estructura, que origina y se expresa a través de la porosidad y la superficie específica es de fundamental importancia para entender las relaciones suelo-agua-plantas. Este tipo de caracterización es fundamental para los productores que viven del sector agrícola, pero va más allá de los suelos agrícolas, cuando se considera el medio ambiente como un todo. Así, no solo el agua que queda almacenada en el suelo, y que está disponible para las plantas tiene gran importancia, sino que también hay que considerar el agua que escurre por la superficie del suelo o la que es drenada a través de la zona no saturada y alcanza las capas freáticas o sigue un drenaje lateral hasta alcanzar un río, un lago o una represa; por tanto el agua representa quizás el recurso natural más importante, tanto debido a la necesidad de la misma para la vegetación, como por los daños que puede cuasar a lo largo de su camino sobre la superficie del suelo o la zona no saturada.

En sur de Brasil, presenta regiones de sierras, donde el clima es templado, en las que se aprecian suelos del tipo Ferralsol, Alisol, Nitisol y Cambisol, muy utilizados en agricultura, sobre todo para frutales como uva y manzana y para cultivos anuales como maíz, trigo y soja. La importancia económica y la representatividad de estos suelos justifican estudios para optimizar su uso sostenible y la preservación ambiental.

Algunas características de estos suelos ya fueron definidas en un trabajo anterior, pero para comprender mejor su dinámica y, por lo tanto, la dinámica del agua en ellos, es necesario estudiar más detenidamente características físicas utilizando metodologías modernas.

El análisis multifractal es una herramienta matemática que permite caracterizar sistemas complejos como es el suelo. Analizando por descomposición, revela relaciones entre diferentes componentes, aportando un foco más amplio sobre la

estructura y en los componentes sólidos y porosos que influyen en los procesos que ocurren en su matriz.

El objetivo general de este trabajo de investigación consiste en estudiar los diagramas de adsorción y desorción de nitrógeno de los tipos de suelos representativos de la región serrana de Santa Catarina, Estado del sur de Brasil, para contribuir con la información obtenida al desarrollo de la agricultura y a la preservación ambiental. Los objetivos específicos consisten en: 1) caracterizar la superficie específica y la microporosidad asociada a la misma y 2) llevar a cabo un análisis multifractal de los datos de adsorción y desorción de nitrógeno y relacionarlo con las propiedades generales del suelo.

Por tanto en esta tesis doctoral se busca comprender mejor la naturaleza de suelos representativos de la región estudiada empleando tanto métodos tradicionales en Ciencias del Suelo como el análisis multifractal. La riqueza de informaciones permitirá aporte de informaciones para sitios donde ocurren suelos semejantes, ampliando así los objetivos alcanzados en esta investigación. Por estar los suelos georeferenciados, los datos obtenidos en este estudio podrán ser replicados.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Suelos de la región serrana de Santa Catarina

En las regiones de sierra del sur de Brasil, donde el clima es templado, los principales suelos pertenecen a los grupos de los Ferralsols, Alisoles, Nitisoles y Cambisoles (WRB, 2006); estos suelos, caracterizados en su mayoría por la coloración parduzca, que contrasta con el color más intenso de los suelos tropicales, son muy utilizados para agricultura, sobre todo para frutales como uva y manzana y para culturas anuales como maíz, trigo y soja. Entender estos suelos implica también entender el ambiente donde fueron formados a partir del entendimiento de los principales factores de su formación.

2.1.1 Factores de formación

El estudio de los paisajes precede el concepto de edafogénesis y nació en Rusia a partir de los trabajos de Dokuchaiev en fines del siglo XIX. En sus estudios, la noción de paisaje se impone al contexto del planeamiento de división regional, definido como principios de análisis de referencia geográficas e geomorfológicas, los contrastes biogeográficos de los suelos e del clima. Dokuchaiev definió el suelo como un cuerpo natural e histórico. Afirmó que estudiar la variabilidad de la naturaleza de los suelos en el tiempo e en el espacio es de fundamental importancia. Esclareció las interacciones entre vegetación, relieve, geología, clima y actividad humana, posibilitando así, el análisis sintético del paisaje e de la historia de su formación (Frelova, 2000).

La génesis de los solos o edafogénesis es comprendida a partir del entendimiento de los procesos que transforman el material parental (roca madre o material geológico transportado) en suelos o que hacen con que un tipo de suelo sufra modificaciones. Esos procesos son determinados por factores que influyen directamente en los cambios morfológicos, físicos, químicos y biológicos. La edafogénesis puede ser entendida a partir de enfoques basados en factores de formación (Dokuchaiev, 1899; Jenny, 1941); en procesos de formación (Simonson, 1959) o en relaciones suelo-paisaje (Gerard, 1981).

Teniendo en cuenta los conceptos definidos por Dokuchaiev, Jenny (1941), formuló la expresión del suelo como función de cinco factores fundamentales: material parental,

tiempo, relieve, clima y organismos vivos). Así, el suelo quedó definido como el resultado de la acción de organismos vivos sobre determinado material parental en determinado relieve, sometido a las condiciones climáticas durante cierto tiempo.

Suelo = f (material parental, tiempo, relieve, clima, organismos vivos)

Jenny (1941) observó situaciones en que, con excepción de un de los factores, los demás eran constantes, definiendo los conceptos de climo, bio, lito, topo y cronosecuencias, para describir conjuntos de suelos que presentan como variable el clima, los organismos vivos que actúan sobre ellos, el material parental, el relieve y el tiempo, respectivamente. Así, para evaluar teóricamente la influencia de cada factor en particular sobre las propiedades de los suelos es imprescindible buscar situaciones en que los demás se mantienen constantes.

Con base en los factores de formación es posible establecer relaciones factor-características de los suelos, formular hipótesis y prever comportamientos edáficos. El material parental sufre meteorización física, química y biológica. Los productos resultantes, sean minerales preexistentes (heredados), minerales transformados o minerales neo formados (formados a partir de una reorganización de los minerales transformados) dependen del grado que alcanza su meteorización. La meteorización física consiste en la degradación mecánica de la roca, con disminución del tamaño de los fragmentos y consecuente aumento de la superficie específica. Consiste básicamente de la ruptura de la roca en sus planos de fractura, sin que se produzcan alteraciones apreciables en la mineralogía de los constituyentes. De acuerdo con el origen de la fuerza que provoca la fragmentación de la roca, los procesos pueden ser clasificados en endocinéticos o en exocinéticos. Los procesos endocinéticos son generados dentro de la roca por el efecto de las alteraciones de temperatura (termoclasia). Cuanto a los procesos exocinéticos, las fuerzas actuantes son externas a la roca como agua, sales, plantas y animales. La meteorización química de la roca es entendida como transformaciones que ocurren sin la intervención de la materia orgánica. De manera contraria, es considerado bioquímica. Tales procesos afectan la composición química y mineralógica de la roca dando origen a minerales de composición variable y compleja por transformaciones o por neoformaciones. La

intensidad con que cada proceso actúa en la formación del suelo varia en función de las condiciones ambientales (Porta, 1999).

Los procesos edafogénicos consisten en un conjunto de reacciones y redistribuciones que transforman el material parental en suelo con cierto grado de organización y con diferenciación de horizontes. Tales procesos son íntimamente relacionados con los factores de formación que prevalecen por tiempo suficiente para que los procesos se establezcan. La actuación de cada factor de formación puede hacer variar la velocidad y también la secuencia de los procesos formadores de los suelos. Algunos aspectos de los suelos son definidos en condiciones pretéritas en cuanto otros corresponden a procesos de formación actuales (Muhs, 1984).

La edafogénesis debe ser comprendida no solamente como un proceso progresivo. Engloba también procesos regresivos relacionados a la degradación del suelo por erosión superficial o por procesos edáficos ocasionados, por ejemplo, por la acción de la fauna del suelo o por humedecimiento y secamiento. Los procesos formadores de los suelos son complejos debido a la acción conjunta de distintos agentes que actúan con diferentes intensidades y velocidades. De una manera general pueden ser agrupados como adiciones al suelo, transformaciones internas, translocaciones internas, pérdidas a partir de la superficie y pérdidas a partir de la subsuperficie (Porta, 1999).

A partir de la expresión formulada por Jenny en 1941, se puede inferir que para una determinada combinación de factores formadores sólo puede existir un tipo de suelo y, por lo tanto, esa combinación originará siempre un tipo semejante de suelo independiente del lugar geográfico en que se encuentre. Esta no es una verdad absoluta porque tales combinaciones no se repiten de manera absoluta en la naturaleza. Pero este es el principio de las correlaciones que se establecen para que sea posible clasificar los suelos a partir de informaciones de campo prospectas en calicatas en asociación con tales factores y extrapolarlos para una determinada región donde los factores se repiten de una manera relativamente similar.

Así, es de fundamental importancia para los estudios del suelo, caracterizar el ambiente donde se encuentran. Con el intuito de informar de la mejor manera posible las condiciones ambientales de las áreas donde fueran descriptos y muestreados los

suelos estudiados, siguen informaciones sobre la localización, la geología, el relieve, algunos aspectos del clima, la vegetación primaria y el uso actual.

Localización

Todos los suelos fueron muestreados en la región serrana del Estado de Santa Catarina, sur de Brasil. Una esquematización de la localización geográfica puede ser observada en la figura 01. La tabla 01 reúne datos de los posicionamientos geográficos de los perfiles en que respecta a los municipios donde se encuentran, su altitud, latitud y longitud.



Figura 1. Localización de Santa Catarina en Brasil y de los perfiles de suelos muestreados dentro del Estado.

Tabla 1.- localización de los perfiles respecto a los municipios donde se encuentran, su la altitud, latitud y longitud.

| Perfil | Municipio | Altitud (m) | Latitud | Longitud |
|--------|----------------|-------------|--------------|---------------|
| 1 | Alfredo Wagner | 833 | 27°40'03,5"S | 49° 11'11,4"W |
| 2 | Painel | 1.150 | 27°53'41,8"S | 50° 07'45,0"W |
| 3 | Santa Cecília | 1.075 | 26°54'03,0"S | 50° 27'13,6"W |
| 4 | Lebon Regis | 1.010 | 26°56'47,6"S | 50° 42'20,3"W |
| 5 | Tangará | 752 | 26°56'47,6"S | 50° 42'20,3"W |
| 6 | Água Doce | 1.205 | 26°03'03,0"S | 51° 33'59,2"W |
| 7 | Água Doce | 1.245 | 26°46'21,3"S | 51° 40'39,5"W |
| 8 | Vargeão | 1.043 | 26°51'13,3"S | 52° 05'56,0"W |
| 9 | Ponte Serrada | 1.046 | 26°51'21,2"S | 52° 02'31,1"W |
| 10 | Campos Novos | 948 | 27°24'07,0"S | 51° 13'30,0"W |
| 11 | Curitibanos | 1.022 | 27°22'12,0"S | 50° 34'46,0"W |

Material de partida

El material geológico inalterado representado generalmente por la roca madre o por un material transportado y depositado es conocido como material parental. Es compuesto por minerales consolidados o no consolidados que sufren la acción de otros factores a lo largo del tiempo manteniéndose en parte inalterados y en parte sometidos a la meteorización física, química o biológica. Los suelos reflejan directamente la composición mineralógica, la granulometría y la permeabilidad del material parental. Así, rocas que contienen en su composición abundancia de minerales fácilmente descomponibles evolucionan más rápidamente que aquellas formadas en grande parte

por minerales estables como cuarzo cuando se encuentran bajo condiciones ambientales semejantes.

La región de sierra del Estado de Santa Catarina, donde fueron muestreados los perfiles de suelos, es recubierta por una espesa capa de rocas volcánicas conocida



Figura 2. Aspecto del paisaje, donde se puede observar las rocas basálticas que originaran la mayoría de los suelos estudiados.

como Formación Serra Geral compuesta predominantemente por basaltos y secundariamente por rocas efusivas acidas, ricas en hierro como dacitas, riolitas e riodacitas, que ocurren en las partes más altas (Silva y Bortoluzzi, 1987). Los perfiles 2, 3, 4, 5, 10 y 11 encuentran-se en áreas de basalto (figura 02), los de número 6, 7, 8 y 9 están sobre las rocas efusivas acidas. El perfil 1 fue muestreado sobre la Formación Rio Bonito, compuesta por una sucesión sedimentaria cíclica de paquetes de arenitas, lutitas y folleros, dónde se encuentran extensos depósitos de carbón mineral.

Tiempo

El tiempo necesario para la transformación del material parental en el suelo es muy largo y, relativamente, la velocidad de los procesos edafogénicos es extraordinariamente lenta, resultando de la interacción principalmente del clima y de los organismos vivos, variando desde 0,001mm/año hasta 1mm/año, siendo más rápida en los climas más cálidos y húmedos, donde la actividad de los macroorganismos es más intensa y la vegetación más exuberante. La velocidad de formación de los suelos naturalmente tiende a su estabilización. Inicialmente el material parental evoluciona hacia la formación de una capa superficial rica en materia orgánica que se convierte en el horizonte A que es considerado de rápida formación. El horizonte subsuperficial mineral (B) se desarrolla después y las alteraciones que ocurren para su formación son mucho más lentas. Suelos considerados de ciclo corto se forman en menos de algunas decenas de miles de años. Suelos de ciclo largo tardan hasta cientos de miles de años para formarse.

Inferir la edad de los suelos implica en observar la geología local sobre la cual se formaran. Suelos más antiguos no son necesariamente los más desarrollados. Esto solamente es posible entenderse como verdad en condiciones en que los otros factores de formación de los suelos son constantes.

Algunas propiedades de los suelos presentan un desarrollo creciente a lo largo del tiempo mientras otras tienen comportamiento inverso, pero todas alcanzan un estado de equilibrio con el tiempo. El suelo es considerado en estado estacionario cuando todas sus propiedades se encuentran en equilibrio. Este es un concepto teórico importante para entender la edafogénesis, pero los procesos de formación de los suelos siguen activos a lo largo del tiempo. Es verdad que, en condiciones naturales, en las etapas posteriores al estado de equilibrio los suelos evolucionan tan lentamente que se puede considerar sus cambios poco significativos.

La Formación Serra Geral compuesta predominantemente en las partes más altas, donde fueran muestreada la mayoría de los perfiles, tiene su cronología en el período geológico que comprende el final del Jurásico y el inicio del Cretáceo. La formación Rio Bonito, donde fue estudiado el perfil 1, corresponde al período Pérmico (Silva y Bortoluzzi, 1987).

Relieve

La expresión del relieve es sobretodo importante en la formación de suelos. Grandes cambios climáticos pueden ser observados en regiones que presentan formas distintas de relieve, donde se puede igualmente observar la variación de la vegetación. La altitud y los tipos de relieve marcados por la inclinación, la longitud y la orientación de las laderas influyen directamente en la formación de los suelos. Procesos de erosión y acumulación, de transporte de arcilla tanto verticalmente como lateralmente por flujo del agua, son directamente relacionados a las características del relieve. El relieve influye la cantidad del agua que se infiltra, se mueve y se acumula en los suelos. La acción del agua condiciona grande parte de los procesos edafogenéticos y, asociado al clima, el relieve influye las características de los suelos y de la vegetación.

Las relaciones directas entre las características de relieve y suelo pueden ser fácilmente observadas en toposecuencias. Esta es la manera más fácil de observar el

escalonamiento de los suelos y entender sus variables al largo de posiciones que tienen como factor diferencial el relieve. En pequeñas distancias se puede apreciar cambios en los suelos que ocupan distintas posiciones, lo que posibilita extrapolar resultados a partir de estas observaciones y correlacionarlos a otras áreas que se encuentran en condiciones de relieve semejantes.

Los perfiles fueron muestreados en la región de la Sierra, conocida también como "planalto das Araucárias", en alusión al relieve y también al árbol que predomina en esta región. Están ubicados en altitudes entre 752 y 1.245m (tabla 1), en áreas llanas y en colinas con pendientes variando entre 3 y 15% de declividad. La figura 03 presenta un aspecto del relieve de la región.



Figura 3. Aspecto del relieve.

Clima

Los procesos meteorización física y bioquímica son directamente relacionados al clima local donde los suelos se desarrollan. Clima que, por cierto, sufrió cambios a lo largo del tiempo de la edafogénesis. La influencia de esta variación climática puede muchas veces ser comprobada por observaciones en rasgos presentes en los perfiles de suelos (Muhs, 1984).

Temperatura y humedad son las características del clima que más fuertemente influyen los procesos de formación de los suelos.

El tipo y la cantidad de arcilla está directamente relacionada a la acción del clima sobre el material parental en cierta condición de relieve. Climas más cálidos y húmedos favorecen la formación de arcillas consideradas como minerales secundarios, favoreciendo también la formación de arcillas del tipo 1:1 y de sesquióxidos de hierro y aluminio.

El contenido de materia orgánica y su grado de evolución es también relacionado a las condiciones de clima, relieve y vegetación que actúan sobre los suelos. Mayores cantidades de materia orgánica son aportadas a los suelos en climas más cálidos y húmedos pero también es cierto que su degradación es directamente relacionada a las

altas temperaturas y a humedad. Así, suelos de regiones templadas generalmente presentan cantidad y calidad de materia orgánica superior a otras de clima tropical o ecuatorial.

Cuanto a las propiedades morfológicas y físicas de los suelos relacionadas a los contenidos y a la calidad de arcillas y materia orgánica se destacan el color, la textura, la estructura, la consistencia, la porosidad y la diferenciación de sus horizontes. La profundidad, la permeabilidad, las condiciones de drenaje interno son igualmente influenciadas por el clima e relacionadas a los contenidos de materia orgánica y arcillas.

Siendo la fracción coloidal del suelo formada por materia orgánica y arcillas, su capacidad de cambio es también directamente relacionada a las condiciones climáticas. Así, la fertilidad, de los suelos también está directamente relacionada al clima.

Los perfiles de suelos estudiados fueran caracterizados en sitios donde el clima, según la metodología propuesta por Köppen es clasificado como Cfb, que es el acrónimo para clima templado sin estación de sequía con aproximadamente 30 mm de lluvia en el mes más seco del año. La temperatura mediana del mes más caluroso queda debajo de 22°C e la del mes más frío debajo de 18°C. La tabla 02 presenta las temperaturas medianas, máximas y mínimas anuales, bien como la evapotranspiración potencial basada en la metodología de Thornthwaite y la precipitación mediana de cada sitio donde fueren mostrados los suelos de acuerdo con los datos constantes en el atlas de Santa Catarina (Pandolfo et al, 2002).

Tabla 2.- Temperatura mediana anual (Tmed), temperatura máxima anual (Tmax), temperatura mínima anual (Tmin), estimativa anual de evapotranspiración potencial (ETP) e total anual de precipitación (Prec) en los sitios donde se ubican los suelos estudiados.

| Perfil | T (med) | T (max) °C | T(min) | ETP | Prec |
|--------|---------|---------------|--------|-----|-------|
| | | | | mm | |
| P1 | 16,1 | 21,6 | 12,2 | 757 | 1.500 |
| P2 | 14,7 | 20,6 | 10,4 | 695 | 1.600 |
| P3 | 15,7 | 21,8 | 11,6 | 741 | 1.600 |
| P4 | 16,1 | 22,2 | 11,9 | 759 | 1.600 |
| P5 | 17,3 | 23,5 | 13,0 | 823 | 1.500 |
| P6 | 15,6 | 22,0 | 11,1 | 734 | 1.600 |
| P7 | 15,3 | 21,9 | 10,8 | 725 | 1.600 |
| P8 | 16,3 | 22,8 | 11,7 | 774 | 2.000 |
| P9 | 16,1 | 22,9 | 11,8 | 775 | 1.950 |
| P10 | 15,8 | 22,2 | 11,7 | 763 | 1.900 |
| P11 | 13,2 | 21,8 | 11,5 | 746 | 1.600 |

Se observa que las temperaturas y la evapotranspiración potencial son más o menos similares en todos los sitios, habiendo mayores variaciones en la precipitación. La precipitación mediana anual varía entre 1500mm y 2000mm presentándose bastante superior a la evapotranspiración potencial. Como en todas las áreas las lluvias son bien distribuidas a lo largo del año, se puede inferir que hay suficiente humedad para atender a las necesidades hídricas de las culturas.

Organismos vivos

Desde la micro fauna de los suelos hasta la vegetación que se establece sobre ellos, todos los organismos vivos influyen en su formación por participando como fuente de materia orgánica y como agentes directos de los procesos edafogénicos. Transformaciones físicas, químicas y biológicas, transporte y mezcla de materiales del suelo y, sobre todo, la descomposición de la materia orgánica son procesos directamente relacionados a cantidad y a calidad de los organismos vivos que actúan en los suelos, principalmente representados por la micro fauna de los suelos y por las raíces de las plantas, especialmente por acción de sus enzimas.

La influencia de los organismos vivos sobre los suelos se puede apreciar más directamente en características como agregación de partículas, estructura y porosidad. Su participación en la descomposición y calidad de la materia orgánica influye en propiedades directamente relacionadas a la fertilidad de los suelos.

Los organismos vivos participan también en la protección de los suelos contra procesos erosivos tanto por la cobertura vegetal como por la estructuración de los suelos favoreciendo la permeabilidad y el drenaje de ellos.

Vegetación natural

Originalmente, gran parte del área donde se encuentran los perfiles de suelos muestreados fue ocupada por una vegetación conocida como "floresta ombrófila mixta" o "floresta de pinos" (figura 04). Esta vegetación es formada sobre todo por las auracarias (*Auracaria augustifolia*) y también por otros árboles



Figura 4. Aspecto de la floresta ombrófila mixta.

conocidas en Brasil como imbuya (*Ocolea porosa*), canela lajeana (*Nactandra lanceolata*), camboatã blanco (*Matayba elacagnoides*), camboatã rojo (*Cupaina vernalis*), bracatinga (*Mimosa scabrela*), angico rojo (*Paraptadenia rigida*), sapopema (*Sloanea lasiocoma*) y hierba-mate (*Liex paraguayensis*).

Algunos de los perfiles se encuentran en sitios donde ocurre la vegetación de campos de altitud en terrenos aplanados. Esta vegetación se caracteriza por un estrato arbóreo-arbustivo que hacen escasa cobertura del suelo y otro herbáceo combinando características del bosque con del pastizal. Son zonas de transición donde los árboles ocurren dispersos o en grupos constituyendo algunas veces bosques de galería.

Uso actual

En las áreas donde fueran muestreados los suelos estudiados, son cultivados frutales como la manzana y la uva (figura 05), con empleo de tecnologías agrícolas que buscan producciones económicamente viables y ecológicamente sustentables. Convirtiéndose en una importante región productora de vinos de grande cualidad. Un aspecto interesante observado en el cultivo de las uvas, además de la protección contra la insolación directa, fue el uso de rosales en el inicio y en el final de cada filera de viñas para atraer a los insectos que representan plagas para las uvas.



Figura 5. Cultivo de uvas protegidas del sol y con uso de rosas para atraer insectos perjudiciales al cultivo de las parreira.

Entre los cultivos anuales, se destacan los de trio, soya y maíz asociados o no con cultivos de bosques de pinos y eucaliptus (figura 06, 07 y 08), también con empleo de tecnologías con fines de alcanzar capacidad productiva y conservación ambiental.



Figura 6. Sembrado de trigo. Foto de Sergio Shimizu.



Figura 7. Sembrado de soja.



Figura 08. Sembado de maíz.

2.1.2. Suelos estudiados

Algunas características ambientales de los sitios donde se encuentran los perfiles de los suelos pueden ser observadas en la tabla 03. Asociada a cada perfil, hay imágenes que reflejan el panorama de cada uno de los lugares donde los perfiles fueron estudiados. La granulometría y las principales características químicas de los perfiles se encuentran en tablas. La caracterización completa de todos los perfiles en su formato original y en Portugués, incluyendo aspectos ambientales de las áreas donde fueron muestreados, características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas se encuentran en el apéndice. Los aspectos edáficos y ambientales presentados están basados en el manual de la Reunión Nacional de Correlación y Clasificación de Suelos realizada en el Estado de Santa Catarina (Epagri, 2008).

Los suelos fueron clasificados inicialmente por el sistema brasileño de clasificación de suelos (Embrapa, 2006), pero en la tabla 03 se encuentra la clasificación internacional de suelos utilizada por la Organización de la Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación - FAO (WRB, 2000). Entre los 11 suelos estudiados se encuentran dos Ferralsoles, un Alisol, siete Nitisoles y un Cambisol que representan la mayoría de los suelos de la región serrana del Estado de Santa Catarina, sur de Brasil.

Tabla 03 - Algunas características ambientales de los sitios donde fueron descritos y muestreados los perfiles de suelos estudiados.

| Perfil | Clasificación (FAO) | Declividad (%) | Vegetación | Altitud (m) | Litología | Relieve |
|--------|---------------------|----------------|------------------------|-------------|---------------------|----------------|
| 1 | Alisol | 12 | Pastaje | 833 | Arcillitas y lutita | Ondulado |
| 2 | Nitisol | 15 | Floresta de araucarias | 1.150 | Basalto | Ondulado |
| 3 | Nitisol | 8 | Floresta de araucarias | 1.075 | Basalto | Suave ondulado |
| 4 | Nitisol | 3 | Floresta de Araucarias | 1.010 | Basalto | Suave ondulado |
| 5 | Nitisol | 10 | Cultivo de Maíz | 752 | Basalto | Ondulado |
| 6 | Nitisol | 10 | Cultivo de Maíz | 1.205 | Basalto | Ondulado |
| 7 | Cambisol | 3 | Gramíneas | 1.245 | Dacita | Suave Ondulado |
| 8 | Ferralsol | 3 | Cultivo de trigo | 1.043 | Dacita | Suave Ondulado |
| 9 | Nitisol | 5 | Cultivo de trigo | 1.046 | Dacita | Suave Ondulado |
| 10 | Ferralsol | 6 | Cultivo de trigo | 752 | Basalto | Suave Ondulado |
| 11 | Nitisol | 8 | Cultivos anuales | 1.022 | Riodacita | Suave ondulado |

FERRALSOL

Ferralsols son suelos minerales que presentan horizonte B bien desarrollado, rico en hierro compuesto de arcillas 1:1 y sesquióxidos de hierro y aluminio. En este estudio, fueran muestreados un perfil de Ferralsol Bruno (Perfil 8) y un perfil de Ferralsol Rojo (Perfil 10).

Perfil 8

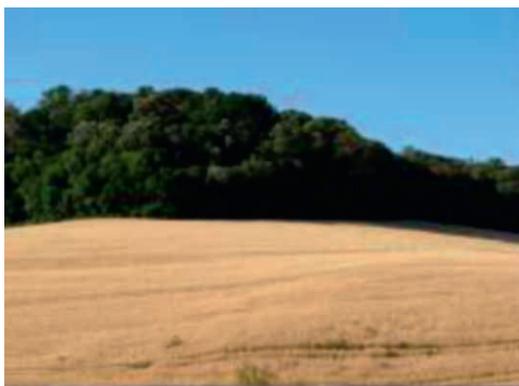


Figura 9 - Área en el entorno donde fue estudiado el perfil 8 - Ferralsol. .

El área dónde fue estudiado el perfil 8 se encuentra en el municipio de Vargão, a 1.043m de altitud en un topo de elevación en un relieve entre llano y suave ondulado, con declividad media de 3%, donde se cultiva granos como trigo (Figura 09), en el invierno en rotación con maíz o soja en el verano.

Los Ferralsols Brunos tienen como característica principal su color con matiz marrón, valor inferior a 4 y croma inferior a 6, presentando carbono orgánico superior a 1% hasta 70cm o más de profundidad. El suelo estudiado en el perfil 8 (figura 10), es un Ferralsol Bruno formado a partir de rocas efusivas (Dacita), bien desarrollado, profundo, mucho arcilloso, formado por arcillas del grupo de la calinita, como puede ser observado en el apéndice en un difractograma que representa su análisis mineralógica. Este suelo presenta buenas condiciones de drenaje interno y buenas condiciones de retención del agua. Su estructura se presenta granular en superficie y en bloques en profundidad. La saturación por bases varía entre 2 y 3% (distrófico), con horizonte A rico en materia orgánica. Es un suelo ácido, con baja suma de bases. Su capacidad de cambio de cationes es debida en grande parte a los

Los Ferralsols Brunos tienen como característica principal su color con



Figura 10. Perfil 8 - Ferralsol - 1 valores de iones H^+ y Al^{+++} ,

presentando por tanto, alta saturación por aluminio lo que hace con que su cultivo carezca de correcciones con caliza y fertilizaciones. Por otro lado, la riqueza en aluminio promueve alta estabilidad de agregados e fuerte estructuración. Las tablas 04 y 05, presentan respectivamente la granulometría y algunas características químicas del perfil 8.

Tabla 4.- Granulometría del perfil 8 - Ferralsol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| A1 | 0-30 | 31 | 21 | 304 | 644 | 93 |
| A2 | 30-71 | 31 | 21 | 266 | 682 | 100 |
| AB | 71-80 | 29 | 19 | 230 | 722 | 100 |
| BA | 80-94 | 31 | 22 | 232 | 715 | 100 |
| Bw1 | 94-123 | 29 | 20 | 236 | 715 | 100 |
| Bw2 | 123-174 | 47 | 22 | 217 | 714 | 100 |

Tabla 5.- Características químicas del perfil 8 - Ferralsol

| Horizonte | Profundidad (cm) | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ |
|-----------|------------------|-----------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|
| | | | gkg ⁻¹ | cmolckg ⁻¹ | | % | |
| A1 | 0-30 | 4,5 | 47,7 | 0,5 | 24,0 | 2 | 85 |
| A2 | 30-71 | 4,7 | 22,4 | 0,4 | 17,3 | 2 | 93 |
| AB | 71-80 | 4,7 | 17,7 | 0,3 | 15,2 | 2 | 95 |
| BA | 80-94 | 4,7 | 13,5 | 0,2 | 12,4 | 2 | 93 |
| Bw1 | 94-123 | 4,8 | 11,3 | 0,2 | 10,3 | 2 | 95 |
| Bw2 | 123-174 | 4,9 | 4,7 | 0,2 | 7,8 | 3 | 93 |

Perfil 10

El Perfil 10, presenta un ferralsol rojo que se encuentra en el municipio de Curitibanos. Ese suelo es derivado de basalto y ocurre en área de relieve suave ondulado con declividad media de 6%, bajo vegetación de campo nativo, a 752 m de altitud. El imagen de la figura 11 represente el entorno de donde fue caracterizado, muestreado y clasificado el perfil, ocupada por el cultivo de trigo.



Figura 11. área en el entorno donde fue estudiado el perfil 10.



Figura 12. Perfil 10, Ferralsol.

El suelo es profundo, bien desarrollado uniforme, con coloración roja al largo de todo perfil, salvo del horizonte superficial, que presenta coloración más oscura debido a materia orgánica (figura 12).

Su textura es mucho arcillosa y su estructura es en bloques subangulares en los horizontes subsuperficiales y granular en superficie. Como es natural en este tipo de suelo, sus arcillas son mayormente del grupo de la calinita (figura xx del apéndice). Presenta baja fertilidad natural (tabla 07), pero buenas condiciones físicas (tabla 06), lo que garantiza buen drenaje interno así como buenas condiciones de retención del agua.

Es un suelo ácido, con baja saturación por bases (distrófico) y alta saturación por aluminio, lo que implica en la necesidad de correcciones con calcáreo y fertilizaciones macizas para la conducción de los cultivos. Las tablas 06 y 07, presentan respectivamente la granulometría y algunas de las principales características químicas del perfil 10.

Tabla 06 - Granulometría del perfil 10 - Ferralsol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| A1 | 0-11 | 200 | 340 | 640 | 48 | A1 |
| A2 | 11-35 | 200 | 150 | 830 | 57 | A2 |
| AB | 35-50 | 100 | 140 | 850 | 100 | AB |
| BA | 50-71 | 100 | 110 | 880 | 100 | BA |
| Bw1 | 71-98 | 100 | 160 | 830 | 100 | Bw1 |
| Bw2 | 98-200 | 100 | 180 | 810 | 100 | Bw2 |

Tabla 07 - Características químicas del perfil 10 - Ferralsol

| Horizonte | Profundidad | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ |
|-----------|-------------|--------------|--------------------|----------------------------|---|--------------------------------|---|
| | (cm) | | gkg^{-1} | $cmolckg^{-1}$ | | % | |
| A1 | 0-11 | 4,6 | 3,0 | 2,42 | 17,03 | 14,2 | 13 |
| A2 | 11-35 | 4,5 | 2,2 | 1,24 | 15,84 | 7,8 | 32 |
| A1 | 0-11 | 4,6 | 3,0 | 2,42 | 17,03 | 14,2 | 13 |
| A2 | 11-35 | 4,5 | 2,2 | 1,24 | 15,84 | 7,8 | 32 |
| Bw1 | 71-98 | 5,0 | 0,7 | 0,37 | 6,17 | 6,0 | 89 |
| Bw2 | 98-200 | 5,1 | 0,4 | 0,31 | 6,11 | 5,1 | 91 |

ALISOL

En todo estudio, fue seleccionado solamente un perfil de Alisol (perfil 1)

Perfil 1

El perfil 1, se encuentra en la menor altitud entre los perfiles estudiados, a 883m. Su formación geológica es distinta de los demás. Las rocas sedimentares arcillita y lutita son su material parental. Está localizado en terreno



Figura 13 - Área donde fue estudiado el perfil 1 Alisol - .

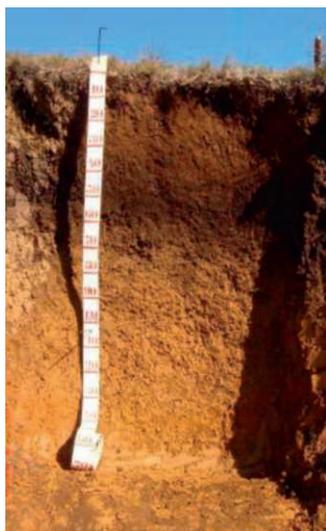


Figura 14 - Perfil 01 - Alisol.

ondulado, con

12% de declividad media (figura 13). Los Alisoles son suelos caracterizados por significativo gradiente textural entre los horizontes superficiales y subsuperficiales, lo que proporciona un drenaje interno diferenciado ocasionando, en algunos casos, condiciones que favorecen el proceso erosivo. En el perfil estudiado se encuentra un suelo bruno, profundo, con estructura en bloques subangulares y textura media en superficie y arcillosa en subsuperficie, resultado del proceso edafogenético de iluviación que consiste en el

transporte de arcilla de los horizontes superficiales para los más profundos, lo que influye en la infiltración del agua tanto verticalmente en el perfil, como lateralmente al largo del terreno (figura 14).

La figura 15 muestra una característica interesante de estos suelos y también de los Nitisoles. Cuando expuestos por algún tiempo, exhiben un aspecto semejante a panzas, resultado del fuerte gradiente textural entre los horizontes superficiales y subsuperficiales que poseen cantidades de arcilla significativamente más grandes que migran mecánicamente de la superficie para las partes más profundas del perfil.



Figura 15 - Aspecto de Alisoles y Nitisoles formando ondulaciones debido al gradiente textural. .

Es un suelo ácido, con baja suma y saturación de bases, lo que significa que su capacidad de cambio de cationes está más relacionada a los valores de H^+ y Al^{+++} , confiriendo a este suelo un carácter distrófico (tabla xx).

Cuanto a las características físicas, se destaca la granulometría, sobretodo la cantidad de arcilla, que alcanza más de 500 g/kg con alto grado de floculación en los horizontes B textural (tabla 08).

Análisis mineralógicos muestran picos de calinita y vermiculita en este perfil (apéndice). Observando las características químicas (tabla 09), se puede inferir que es un suelo con arcillas de actividad baja e, por tanto, el contenido de arcillas expansivas debe ser irrelevante frente al de las arcillas 1:1, como es la calinita.

Tabla 08 - Granulometría del perfil 1 - Alisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| A1 | 0-13 | 74 | 211 | 325 | 390 | 32 |
| A2 | 13-38 | 68 | 210 | 291 | 431 | 90 |
| AB | 38-55 | 68 | 234 | 247 | 451 | 91 |
| BA | 55-70 | 64 | 214 | 250 | 472 | 100 |
| Bt1 | 70-93 | 51 | 177 | 258 | 514 | 100 |
| Bt2 | 93-132 | 70 | 250 | 230 | 450 | 100 |

Tabla 09 - Características químicas del perfil 1 - Alisol

| Horizonte | Profundidad | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ |
|-----------|-------------|--------------|--------------------|----------------------------|---|--------------------------------|---|
| | (cm) | | | | | | |
| A1 | 0-13 | 4,4 | 30,4 | 1,5 | 20,8 | 7 | 85 |
| A2 | 13-38 | 4,5 | 17,7 | 0,6 | 17,3 | 3 | 93 |
| AB | 38-55 | 4,5 | 16,2 | 0,5 | 19,2 | 3 | 95 |
| BA | 55-70 | 4,8 | 11,5 | 0,7 | 16,3 | 3 | 93 |
| Bt1 | 70-93 | 4,7 | 8,6 | 0,5 | 14,9 | 4 | 95 |
| Bt2 | 93-132 | 4,7 | 4,3 | 0,6 | 12,0 | 3 | 93 |

NITISOL

Los Nitisols son suelos generalmente uniformes cuanto a su color, se presentando casi monocromáticos, caracterizados principalmente por la ocurrencia de horizonte subsuperficial B nítico, que es de textura arcillosa o mucho arcillosa, sin incremento significativo de arcilla en relación al horizonte superficial. Las arcillas de actividad baja lo caracterizan y son bien estructurados. Los Nitisols presentan cútanos de arcilla, también conocidos como arcillanes, resultado del proceso de iluviación que revisten las paredes de los macroporos marcando estos suelos por un aspecto brillante entre os fragmentos de la estructura y en lo agregados de estos suelos (USDA, 1975).

Entre los suelos estudiados, los Nitisols representan la mayoría. Fueran encontrados en altitudes entre 752m y 1.245m, en áreas de relieve variando entre plano y ondulado, con declividades de 3% a 15%. Cinco de ellos son derivados de rocas basálticas y dos otros de rocas efusivas ácidas y intermediarias conocidas como Dacita y Riodacita, respectivamente. Considerando tales variaciones, son descriptos un a uno buscando relacionarlos con los ambientes donde se encuentran.

Los perfiles de los Nitisols derivados de basalto y de roca efusiva ácida presentan cierta similitud. Sus composiciones granulométricas presentan grande cantidad de arcilla + limo, lo que resulta en textura mucho arcillosa al largo de todos los perfiles desde la superficie.

En los horizontes B, se observa grado de floculación de arcillas igual a 100%. La difracción de rayos-X, muestra picos de calinita y de vermiculita (apéndice). Sin

embargo, observando la caracterización química se puede inferir que predominan las arcillas tipo 1:1 del grupo de la calinita que son arcillas de baja actividad. Presentan estructura en bloques y ocurrencia de cútanos de arcilla entre los agregados e los fragmentos de las estructuras

Sus características químicas, reflejan un suelo ácido, con baja suma y saturación de bases, lo que significa que su capacidad de cambio de cationes está más relacionada a los valores de H^+ y Al^{+++} , confiriendo a esto suelo un carácter distrófico, lo que hace con que su limitación agrícola esté relacionada a baja fertilidad natural, siendo necesarias correcciones de acidez e fertilización para garantizar buenas producciones.

Perfil 2

En el municipio de Painel, 1.150m de altitud en un área de relevo ondulado con declividad media de cerca de 15% bajo una vegetación típica de la región, compuesta predominantemente por araucarias (figura 16), se encuentra el perfil 2, de Nitisol derivado de basalto (figura 17).



Figura 16 - Sitio donde fue muestreado el perfil 2 - Nitisol - .

Algunas de sus características físicas y químicas se encuentran en las tablas 10 y 11, respectivamente



Figura 17 - Perfil 2 - Nitisol.

Tabla 10 - Granulometría del perfil 2 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| A | 0-17 | 50 | 31 | 256 | 663 | 38 |
| AB | 17-43 | 64 | 43 | 211 | 682 | 97 |
| BA | 43-63 | 54 | 35 | 189 | 722 | 100 |
| Bt1 | 63-94 | 39 | 37 | 201 | 723 | 100 |
| Bt2 | 94-127 | 43 | 43 | 212 | 702 | 100 |
| Bt3 | 127-146 | 45 | 39 | 214 | 702 | 100 |

Tabla 11 - Características químicas del perfil 2 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ |
|-----------|------------------|-----------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|
| | | | gkg ⁻¹ | cmol _c kg ⁻¹ | | % | |
| A | 0-17 | 5,0 | 31,9 | 2,8 | 15,5 | 18 | 47 |
| AB | 17-43 | 5,1 | 21,2 | 0,9 | 11,7 | 8 | 74 |
| BA | 43-63 | 5,1 | 14,1 | 0,5 | 8,9 | 6 | 83 |
| Bt1 | 63-94 | 5,2 | 7,3 | 0,5 | 7,2 | 7 | 79 |
| Bt2 | 94-127 | 5,4 | 4,9 | 0,6 | 7,3 | 8 | 75 |
| Bt3 | 127-146 | 5,3 | 4,2 | 0,6 | 7,3 | 8 | 74 |

Perfil 3



Figura 18 - Área donde se encuentra el perfil 3, municipio Santa Cecília, Estado de Santa Catarina, Brasil.

El perfil 3 es un Nitisol Bruno profundo, derivado de basalto (figura 19), que se encuentra en el municipio de Santa Cecília, en una altitud de 1.075m, en un área de relieve suave ondulado, con declividad media de 8%, bajo una vegetación donde predominan araucarias. En la región, grandes áreas son ocupadas por el plantío de pinos (figura 18).

Algunas de sus características físicas y químicas se encuentran en las tablas 12 y 13, respectivamente.



Figura 19 - Perfil 3 - Nitisolo.

Tabla 12 - Granulometría del perfil 3 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| Ap | 0-15 | 51 | 70 | 220 | 659 | 37 |
| AB | 15-32 | 51 | 68 | 242 | 639 | 94 |
| BA | 32-64 | 54 | 76 | 231 | 639 | 100 |
| BT1 | 64-90 | 70 | 74 | 216 | 640 | 100 |
| BT2 | 90-152 | 39 | 66 | 171 | 724 | 100 |
| BT3 | 152-230 | 50 | 76 | 192 | 682 | 100 |

Tabla 13 - Características químicas del perfil 3 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ |
|-----------|------------------|-----------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|
| | | | gkg ⁻¹ | cmolckg ⁻¹ | | % | |
| Ap | 0-15 | 4,9 | 22,8 | 2,0 | 12,7 | 16 | 46 |
| AB | 15-32 | 4,8 | 16,5 | 0,9 | 10,6 | 8 | 72 |
| BA | 32-64 | 4,8 | 11,3 | 0,4 | 8,5 | 5 | 84 |
| BT1 | 64-90 | 4,8 | 9,6 | 0,3 | 8,2 | 4 | 86 |
| BT2 | 90-152 | 5,1 | 5,2 | 0,2 | 6,3 | 3 | 85 |
| BT3 | 152-230 | 5,3 | 3,4 | 0,3 | 5,1 | 6 | 67 |

Perfil 4

En un área del municipio Lesbon Regis, cultivado con de Pinos y soja, se encuentra el suelo estudiado por el perfil 4, en terreno con relieve suave ondulado con partes llanas presentando una declividad media en torno de 3% en una altitud de 1.010m (figura 20).



Figura 20 - Área donde se encuentra el perfil 4 .

Un aspecto que se destaca en este suelo es la distribución del material parental que varía entre las profundidades de 145 cm y 192 cm en el perfil (figura 21). Es interesante observar que tal variación puede ser motivada por el drenaje interno en áreas con este tipo de relieve que propicia un desarrollo diferenciado del suelo en el paisaje, como fue observado por Luz (2004).

Las tabla 14 y 15 presentan la granulometría y algunas características químicas del perfil 4.



Figura 21 - Perfil 4 - Nitisol -

Tabla 14 - Características químicas del Perfil 4 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ |
|-----------|-------------|--------------|--------------------|----------------------------|--|--------------------------------|---|
| | (cm) | | | | | | |
| A1 | 0-7 | 4,2 | 45,7 | 1,2 | 20,0 | 6 | 46 |
| A2 | 7-19 | 4,6 | 22,5 | 0,4 | 14,2 | 3 | 72 |
| AB | 19-28 | 4,8 | 17,9 | 0,4 | 11,6 | 3 | 84 |
| BA | 28-46 | 4,8 | 13,3 | 0,3 | 9,6 | 3 | 86 |
| BT1 | 46-74 | 4,8 | 5,4 | 0,2 | 8,0 | 2 | 85 |
| BT2 | 74-145 | 5,2 | 5,1 | 0,4 | 6,3 | 6 | 67 |

Tabla 15 - Granulometría del perfil 4 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|---------------------|------------------------------------|---------------|------|---------|------------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| A1 | 0-7 | 23 | 16 | 328 | 659 | 25 |
| A2 | 7-19 | 16 | 10 | 302 | 721 | 80 |
| AB | 19-28 | 21 | 14 | 253 | 742 | 94 |
| BA | 28-46 | 16 | 10 | 223 | 778 | 100 |
| BT1 | 46-74 | 12 | 12 | 196 | 799 | 100 |
| BT2 | 74-145 | 12 | 14 | 177 | 779 | 100 |

Perfil 5

En el municipio de Tangará, en un área de menor altitud (752 m), se encuentra otro Nitisol formado a partir de roca basáltica Perfil 5 (figura 22), en un terreno ondulado con declividad media de 10%. Este suelo se destaca de los demás por su coloración más roja que marrón que lo clasifica como bruno rubrico. Sin embargo, las demás características como textura (mucho arcillosa), estructura (bloques subangulares) y presencia de arcillanes son semejante a los Nitisols Brunos estudiados (figura 23).



Figura 22 - área donde se encuentra el perfil 5 - Nitisol - .

Es posible también observar grietas en la pared del perfil. El difractograma de este suelo (anexo 1) presenta arcillas expansivas lo que por cierto ocasiona tal aspecto.

Las tablas 16 y 17 presentan, respectivamente, la granulometría e algunas características químicas del perfil 5.



Figura 23 - Perfil 5 - Nitisol.

Tabla 16 - Granulometría del perfil 5 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| Ap | 0-10 | 41 | 25 | 237 | 697 | 18 |
| A | 10-23 | 37 | 14 | 251 | 698 | 12 |
| AB | 23-43 | 31 | 18 | 212 | 739 | 100 |
| BA | 43-65 | 25 | 12 | 182 | 781 | 100 |
| Bt1 | 65-95 | 27 | 14 | 159 | 800 | 100 |
| Bt2 | 95-130 | 14 | 10 | 155 | 821 | 100 |

Tabla 17 - Características químicas del Perfil 5 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ |
|-----------|------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|
| | | | gkg ⁻¹ | cmolckg-1 | | % | |
| Ap | 0-10 | 4,6 | 21,3 | 7,1 | 17,4 | 41 | 13 |
| A | 10-23 | 4,6 | 17,5 | 4,9 | 15,8 | 31 | 32 |
| AB | 23-43 | 4,5 | 14,6 | 2,3 | 14,0 | 16 | 66 |
| BA | 43-65 | 4,5 | 13,4 | 1,5 | 12,5 | 12 | 77 |
| Bt1 | 65-95 | 4,4 | 9,6 | 0,6 | 10,5 | 6 | 89 |
| Bt2 | 95-130 | 4,5 | 5,4 | 0,5 | 9,3 | 5 | 91 |

Perfil 6

En una altitud de 1.205 m, en el municipio de Água Doce, en un terreno ondulado, con declividad media de 10% (figura 24) se encuentra el perfil 6. Otro Nitisol Bruno derivado de basalto que se presenta casi monocromático y bastante uniforme al lo largo de todo perfil. Con textura mucho arcillosa, presenta estructura en bloques subangulares (figura 25). La imagen del difractograma (apéndice) muestra picos de calinita y algunos de vermiculita. El aspecto ajado que se observa en el perfil puede ser debido a presencia de este tipo de arcillas expansivas.



Figura 24 - Área donde se encuentra el perfil 6. .

Las tablas 18 y 19, presentan, respectivamente, la granulometría y algunas características químicas del perfil 6.



Figura 25 : Perfil 6 - Nitisol. .

Tabla 18 - Granulometría del perfil 6 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| A1 | 0-13 | 97 | 23 | 259 | 621 | 70 |
| A2 | 13-26 | 102 | 25 | 229 | 644 | 93 |
| BA | 26-43 | 93 | 21 | 222 | 664 | 100 |
| Bt1 | 43-84 | 71 | 33 | 232 | 664 | 100 |
| Bt2 | 84-134 | 89 | 46 | 242 | 623 | 100 |
| Bt3 | 134-158 | 65 | 98 | 441 | 396 | 100 |

Tabla 19 - Características químicas del Perfil 6 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio 100Al ³⁺ +S+Al ³⁺ |
|-----------|------------------|-----------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|---|
| | | | gkg ⁻¹ | cmolckg ⁻¹ | | % | |
| A1 | 0-13 | 5,1 | 37,2 | 4,0 | 16,6 | 24 | 38 |
| A2 | 13-26 | 5,1 | 33,1 | 2,1 | 14,6 | 14 | 56 |
| BA | 26-43 | 5,2 | 21,3 | 1,0 | 11,8 | 8 | 71 |
| Bt1 | 43-84 | 5,3 | 12,5 | 1,0 | 10,1 | 10 | 69 |
| Bt2 | 84-134 | 5,3 | 8,7 | 1,2 | 11,7 | 10 | 79 |
| Bt3 | 134-158 | 5,1 | 4,6 | 1,7 | 16,7 | 10 | 84 |

Perfil 9



Figura 26 - Área donde se encuentra el perfil 9.

El perfil 9 representa un Nitisol derivado de dacita, una roca efusiva acida. Ocurre en terreno de relieve suave ondulado, con declividad media de 5%, en una altitud de 1.046m, en el municipio de Ponte Serrada. En este suelo son conducidas culturas anuales como trigo, generalmente cultivado en invierno en rotación con soja o maíz en verano (figura 26).

Allí se desarrolló un Nitisol (figura 27) con considerable cantidad de carbón orgánico hasta más de 60 cm. de profanidad (tabla 21). De coloración bruna, presenta textura mucho arcillosa a lo largo de todo el perfil (tabla 20) y estructura en bloques subangulares donde se observa arcillanes. Como los demás, es un suelo ácido, con bajos valores de soma de bases y capacidad de cambio de cationes más relacionada a los valores de aluminio asimilable, con baja saturación

por bases y con alta saturación por aluminio (tabla 19), siendo necesarias correcciones y fertilizaciones para alcanzarse rendimientos económicos de los cultivos.



Figura 27 - Perfil de Nitisol - .

Tabla 20 - Granulometría del Perfil 9 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| A1 | 0-21 | 59 | 45 | 220 | 676 | 21 |
| A2 | 21-34 | 43 | 39 | 242 | 676 | 24 |
| BA | 34-66 | 41 | 35 | 208 | 716 | 100 |
| Bt1 | 66-86 | 18 | 23 | 242 | 717 | 100 |
| Bt2 | 86-130 | 33 | 35 | 209 | 723 | 100 |
| Bt3 | 130-159 | 33 | 37 | 227 | 703 | 100 |

Tabla 21 - Características químicas del Perfil 9 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio |
|-----------|------------------|-----------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|
| | | | gkg ⁻¹ | cmol _c kg ⁻¹ | | % | 100Al ³⁺ / S+Al ³⁺ |
| A1 | 0-21 | 5,6 | 32,8 | 11,7 | 19,0 | 62 | 1 |
| A2 | 21-34 | 5,2 | 23,7 | 7,2 | 17,8 | 40 | 10 |
| BA | 34-66 | 4,6 | 16,5 | 2,2 | 12,9 | 17 | 60 |
| Bt1 | 66-86 | 4,5 | 11,3 | 1,4 | 10,3 | 14 | 72 |
| Bt2 | 86-130 | 4,5 | 8,6 | 1,2 | 9,3 | 13 | 73 |
| Bt3 | 130-159 | 4,6 | 5,8 | 0,5 | 7,1 | 7 | 85 |

Perfil 11

Con características semejantes al perfil 9, este Nitisol es también derivado de Dacita, roca efusiva considerada intermediaria que en la región es conocida como Riodacita. Este perfil se encuentra en el municipio de Curitibanos, a 1.022m de altitud en relieve suave ondulado con declividad media de 8% (figura 28).



Figura 28 - Área donde se encuentra el perfil 11-



Figura 29 - Perfil 11 - Nitisol

Con valores de carbón orgánico considerados altos hasta más de 60 cm de profundidad (tabla 23), este suelo se presenta con textura mucho arcillosa desde la superficie (tabla 22) por todo el perfil estudiado. Su estructura es también en bloques subangulares con cútanos de arcilla en los horizontes mas profundos (figura 29). Son ácidos, con bajos valores de suma por bases mismo en los horizontes influenciados por la materia orgánica. Son suelos ricos en aluminio, presentando alta saturación de este elemento que ocupa grande parte de su capacidad de cambio de cationes, lo que torna necesario el uso de caliza para correcciones y fertilizaciones para obtención de productividades económicamente viables.

Tabla 22 - Granulometría del perfil 11 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|------------------------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | cmol _c kg ⁻¹ | | | | |
| A1 | 0-16 | 12 | 17 | 289 | 682 | 33 |
| A2 | 16-32 | 12 | 10 | 237 | 741 | 58 |
| A3 | 32-43 | 10 | 8 | 220 | 762 | 97 |
| AB | 43-62 | 10 | 8 | 200 | 782 | 100 |
| BA | 62-87 | 12 | 8 | 173 | 807 | 100 |
| Bt1 | 87-106 | 10 | 8 | 182 | 800 | 100 |

Tabla 23 - Características químicas del Perfil 11 - Nitisol

| Horizonte | Profundidad | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $100Al^{3+}$ $S+Al^{3+}$ |
|-----------|-------------|--------------|--------------------|----------------------------|---|--------------------------------|--|
| | (cm) | | gkg^{-1} | $cmol_c kg^{-1}$ | | | % |
| A1 | 0-16 | 4,8 | 37,0 | 4,4 | 18,9 | 23 | 37 |
| A2 | 16-32 | 4,5 | 35,7 | 1,2 | 16,6 | 7 | 77 |
| A3 | 32-43 | 4,6 | 24,0 | 0,7 | 14,6 | 5 | 84 |
| AB | 43-62 | 4,7 | 19,2 | 0,6 | 11,8 | 5 | 85 |
| BA | 62-87 | 4,7 | 15,0 | 0,3 | 10,2 | 3 | 92 |
| Bt1 | 87-106 | 4,6 | 10,1 | 0,3 | 7,9 | 4 | 89 |

CAMBISOL

Cambisol es un suelo poco desarrollado que presenta horizonte B incipiente (Bi), que se caracteriza por tener pequeña espesura y alta relación limo/arcilla. En este estudio, fue seleccionado solamente un perfil de Cambisol (Perfil 7).

Perfil 7

El perfil 7 representa el único Cambisol estudiado. Fue descrito, muestreado y clasificado en área de relieve entre plano y suave ondulado, con declividad media de 3%, en el municipio de Água Doce a 1.245 m de altitud, bajo cultivo de gramíneas para pastaje (figura 30). El perfil analizado



presenta horizonte Bi con 14 cm. de espesura y alta relación limo/arcilla bajo

Figura 30 - Área donde se encuentra el perfil 7 - Cambisol.

horizonte A espeso, rico en materia orgánica y contacto lítico a 60 cm. de profundidad, con alguna diferenciación, como puede ser percibido en la figura 30. A lo largo de todo perfil se observa textura arcillo limosa hasta más de 50 cm, cuando se observa mezcla entre el horizonte Bi y el material parental y la textura pasa a franco limosa (tabla 24). Es ácido y presenta bajos valores de soma y saturación por bases. Su capacidad de cambio de cationes esta relacionada a los altos valores de hidrógeno y aluminio

cambiables (tabla 25). En la figura que representa el difractograma de la fracción arcilla (apéndice), observa-se picos de vermiculita, gibita y calinita.



Tabla 24 - Granulometría del perfil 7 - Cambisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena Gruesa | Arena Fina | Limo | Arcilla | Grado de floculación % |
|-----------|------------------|--------------------|------------|------|---------|------------------------|
| | | g kg ⁻¹ | | | | |
| A1 | 0-10 | 14 | 19 | 450 | 517 | 56 |
| A2 | 10-29 | 31 | 39 | 415 | 515 | 84 |
| ABi | 29-38 | 29 | 33 | 422 | 515 | 96 |
| Bi | 38-52 | 19 | 182 | 324 | 475 | 91 |
| BiCr | 52-60 | 161 | 115 | 415 | 309 | 87 |
| Cr | 60-115 | 33 | 45 | 658 | 264 | 100 |

Tabla 25 - Características químicas del Perfil 7 - Cambisol

| Horizonte | Profundidad (cm) | pH (agua) | Carbón Orgánico | Soma de Bases (B) | Capacidad de cambio de cationes (T) | Saturación por bases (V) | Saturación por aluminio $\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ |
|-----------|------------------|-----------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|
| | | | gkg ⁻¹ | cmol _c kg ⁻¹ | | % | |
| A1 | 0-10 | 4,8 | 52,1 | 1,7 | 20,9 | 8 | 68 |
| A2 | 10-29 | 4,9 | 24,0 | 0,5 | 15,3 | 3 | 86 |
| ABi | 29-38 | 5,0 | 19,1 | 0,4 | 12,8 | 3 | 88 |
| Bi | 38-52 | 5,1 | 17,0 | 0,3 | 10,2 | 3 | 88 |
| BiCr | 52-60 | 5,0 | 12,3 | 0,4 | 8,5 | 5 | 83 |
| Cr | 60-115 | 4,9 | 2,9 | 0,3 | 5,9 | 5 | 90 |

2.2. Superficie específica de los suelos

Agua, aire, materia orgánica y partículas minerales se encuentran interrelacionadas en estructuras conocidas como agregados. Un conjunto de agregados forman estructuras unitarias que se encuentran asociadas por fuerzas de cohesión y adhesión y unidas por la presencia de agentes cementantes o coloidales. La composición de la fase sólida influye directamente en la arquitectura del sistema poroso y, por tanto, en su superficie específica.

La estructura del suelo resulta de la agregación de sus partículas primarias (arena, limo y arcilla) con otros componentes como materia orgánica, calcáreos y sales formando agregados estables. Arcilla, materia orgánica y sesquióxidos de hierro y aluminio son considerados los principales agentes cementantes de los suelos. Por ser un cuerpo natural, la estructura del suelo no presenta formas geométricas perfectas como cubos o prismas. En un análisis de suelo, generalmente se describe morfológicamente la estructura del suelo por su tamaño, su grado de desarrollo y su formato, calificación que se da de manera empírica, pero difícilmente mide sus dimensiones (Kiehl, 1979).

El suelo es un medio que presenta estructura natural a diferentes escalas como se puede entender por la descomposición de terrones en agregados y también en la ordenación geométrica de las unidades estructurales elementales en microagregados. Agregado es un aglomerado de partículas cuya cohesión interna es asegurada por la presencia de coloides minerales y orgánicos. Es el resultado de la organización natural de sus componentes (Miranda, 2006).

Morfológicamente la estructura es entendida como la disposición espacial y la ordenación, ensamblaje o arreglo de sus constituyentes. De esta manera se puede entender que la estructura indica como están situados los sólidos y los poros así como sus relaciones. El espacio poroso depende por tanto de la estructura. El espacio poroso determina el potencial de agua y aire que el suelo puede contener, así como su movilidad (Ingelmo y Cuadrado Sanches, 1986).

En un análisis de suelo en el de campo, cuando se observa la estructura del suelo, se debe observar la presencia de agregados, su ordenación, su forma y su tamaño.

También se hace referencias a la consistencia y cohesión describiendo la compacidad, la friabilidad y la dureza de la muestra analizada (FAO, 1977).

La observación de la estructura revela los niveles de organización con cierta connotación de escala como entre los agregados y las unidades estructurales.

Técnicas avanzadas han motivado el estudio de la estructuración del suelo. Como el espacio poroso es consecuencia del desarrollo de la estructura, el estudio de la porosidad ha sido utilizado para el análisis indirecto de la estabilidad estructural (Dexter, 1988).

La superficie específica es la relación entre el área superficial total y la masa del sólido (m^2g^{-1}) o su volumen (m^2m^{-3}). En el suelo, varía con la granulometría, con el tipo de mineral de arcilla, con el contenido de materia orgánica y con algunos cationes (Curi et al., 1993). La influencia de la materia orgánica es controversial y depende del método adoptado para la determinación de la superficie específica (Bertoli et al., 2007).

La superficie específica del suelo influencia procesos importantes incluyendo reacciones químicas, cambios gaseosos, retención de humedad y drenaje interno. Es directamente relacionada a la granulometría de los suelos, sobre todo a los contenidos de arcilla, su composición mineralógica (Brantley, Mellott, 2000) y a los sesquióxidos de hierro y aluminio (Paz-Ferrero et al., 2013).

Su importancia también está en la correlación con importantes fenómenos como el intercambio catiónico, la retención y liberación de productos químicos (nutrientes o contaminantes), en la retención del agua y en su drenaje. Suelos que presentan grande superficie específica poden se efectuadas fertilizaciones pesadas con menor riesgo de perder nutrientes por percolación o lixiviación, factor asociado a la mayor capacidad que estos suelos tienen de retener agua (Montero, 2003).

Dos factores influyen sobremanera la superficie específica del suelo: la morfología y el tamaño de las partículas. Siendo inversamente proporcional a la isotropía, es mínima en la esfera y máxima en morfologías fibrosas y laminares y aumenta al disminuir el tamaño de partícula. Así las arenas y gravas presentan una superficie específica muy

baja y las arcillas, por su tamaño relativamente menor y por su morfología laminar presentan superficie específica bastante elevada (Santiago, 2012).

La superficie específica influencia la grande mayoría de los procesos que ocurren en el suelo tanto en el sentido físico, principalmente no que refiere a infiltración, retención, redistribución y drenaje del agua, implicando directamente en la aeración del suelo y en el contenido del agua disponible para las plantas, como en el sentido químico con relaciones directas en la disponibilidad de nutrientes. Tales procesos, además de su influencia directa en la productividad de las culturas, presentan implicaciones importantes en relación al ambiente cuanto a susceptibilidad a erosión y a contaminación ambiental por fertilizantes y defensivos agrícolas (Vidal-Vázquez, Paz-Ferreiro, 2012).

Por ser un complejo dinámico, cualquier estudio sobre suelos debe considerar las interrelaciones entre sus componentes sólidos, líquido e gaseoso (Miranda, 2000). Partículas minerales, materia orgánica, agua e aire se encuentran interligados en estructuras conocidas como agregados. Un conjunto de agregados forma unidades estructurales que se encuentran unidas por fuerzas de cohesión e adsorción influenciadas por la existencia de agentes cementantes e coloidales. La composición de la fase sólida influencia directamente en la arquitectura del sistema poroso e, por tanto, en la densidad y en la superficie específica del solo que varía con la profundidad (Grohmann, 1972).

Procesos edafogénicos originan suelos diferenciados cuanto a transición entre los horizontes superficiales y subsuperficiales lo que genera variaciones al largo de los perfiles resultando en distintos valores de superficie específica en algunos centímetros de profundidad y, por tanto, comportamiento variable del suelo cuanto a los procesos que ocurren en su matriz, influenciando no solamente el área donde se encuentra el perfil bien como su entorno (Luz, 2004).

Así, la determinación de la superficie específica es de capital importancia para el entendimiento de los suelos tanto en su capacidad productiva como en sus limitaciones agrícolas (Hepper et al., 2006).

2.2.1. Determinación de la superficie específica

La superficie específica puede ser obtenida por distintos métodos. Entre ellos se encuentran el análisis de imágenes, la dispersión de la luz y la adsorción de gases. Actualmente, el método más común es basado en la determinación de isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno combinada con la ecuación de Brunauer- Emmet -Teller (BET) (Brunauer et al., 1938; Pennell, 2005)

La determinación de la superficie específica de suelos a partir de isothermas de sorción de nitrógeno es la forma más conocida, validada e aceptada. Además, en función de la naturaleza físico-química del material esta técnica permite evaluar la morfología, conectividad y distribución de tamaños poros dentro del rango de validez del método (Santiago,2012).

La ecuación de BET implica en una relación lineal entre presión y volumen del adsorbato (N_2) en cierto límite de escala, generando isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno a partir de las cuales se puede determinar la superficie específica en muestras de agregados de los suelos.

La adsorción de nitrógeno en muestras de suelo se comporta de manera muy distinta en superficies abiertas y expuestas (superficie externa) cuando comparadas a superficies que presentan huecos y aberturas estrechas (superficie interna). La superficie externa incluye todas las prominencias y grietas que son más anchas que profundas. La superficie interna comprende las paredes de todas las grietas, poros y cavidades que son más profundas que anchas (Howard y Midgley, 1981). .

Fenómeno de superficie, la adsorción de nitrógeno es un proceso por el cual moléculas del gas, por presión, son retenidas en la superficie de un material resultando en la formación de una película gaseosa o líquida. La desorción es el proceso inverso. Por reducción de la presión, las moléculas se desprenden y vuelven al seno del fluido. En muestras de suelos, generalmente las condiciones de equilibrio de presión son distintas entre los procesos de adsorción y desorción de nitrógeno, lo que genera histéresis entre las dos curvas (Santiago, 2012).

La adsorción se produce en multicapas. La primera capa es determinada por fuerzas entre absorbente y adsorbato (suelo y nitrógeno). Las capas siguientes dependen de las interacciones adsorbato-adsorbato (nitrógeno-nitrógeno). La figura 31 ilustra este proceso. A baja presiones algunas moléculas de de gas quedan adsorbidas en sitios aislados de la superficie (paso 1). A medida que aumenta la presión, el número de moléculas de gas adsorbidas aumenta hasta formar una monocapa sobre la superficie de las partículas (paso 2). Con el aumento de la presión, se forma la segunda capa (paso 3) y, se los poros no se encuentran completamente rellenos, con el aumento de la presión otra capa se forma (paso 4).

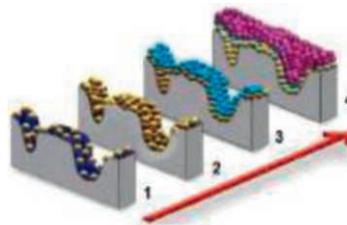


Figura 31. Fases de la adsorción de nitrógeno en multicapas

La cantidad de gas adsorbido (n_a) por unidad de masa (m_s) de sólido depende de la presión de equilibrio (P) de la temperatura (t) y de la naturaleza del sistema gas-sólido. Si la presión de equilibrio se expresa como presión relativa a la presión de saturación, del gas (p/p_0), se obtiene la siguiente expresión de la adsorción de un gas dado en la superficie de un sólido en condiciones de temperatura constante.

$$\frac{n_a}{m_s} = f\left(\frac{P}{P_0}\right) \cdot t \quad (1)$$

Las isotermas se presentan como curvas en diagramas XY donde en el eje de las ordenadas representa la cantidad de gas adsorbido y en el eje de las abscisas, la presión de equilibrio (p/p_0), que varía entre 0 y 1, donde P_0 es la presión de saturación a la cual el gas se transforma en líquido a la temperatura de la isoterma.

Las isotermas formadas en los análisis de muestras de agregados del suelo generalmente son del tipo IV, que es la isoterma de los sólidos mesoporosos donde se produce adsorción en multicapas. Presenta una zona ascendente a medida que se absorben las capas a la superficie del sólido. Este tipo de isoterma presenta un ciclo de histéresis donde las curvas de adsorción y de desorción no coinciden en algunos puntos debido a la diferencia entre la presión en los procesos de adsorción y de desorción (Brunauer, 1940).

La teoría BET tiene como base el un modelo cinético del proceso de adsorción propuesto por Langmuir en 1916, que consideraba una distribución equivalente en los sitios de adsorción como una monocapa. Brunauer, Emmett y Teller (1938) elaboraran la ecuación BET introduciendo una serie de premisas y admitiendo la posibilidad de formación de multicapas en un proceso creciente hasta producirse la condensación del gas. La principal condición del modelo BET es que las fuerzas participantes en la condensación de gases son también responsables de la energía de enlace en la adsorción multimolecular. Esta condición se traduce en tres premisas: 1) Se $P = P_0$ el gas adsorbato se condensa en un líquido sobre la superficie del sólido, es decir, el número de capas se hace infinito ($P_0 =$ presión de saturación del vapor); 2) Se todos los centros de adsorción de la superficie son equivalentes, la capacidad de adsorción de un centro no depende del grado de ocupación de los centros vecinos y 3) Sobre cada centro pueden adsorberse varias capas de moléculas, siendo el calor de adsorción para todas ellas equivalentes, excepto para la primera porque en todas las capas excepto en la primera las condiciones de evaporación y condensación son idénticas (Santiago, 2012).

Para desarrollar el modelo BET se postuló una situación de equilibrio en la cual la velocidad a la que las moléculas que llegan de la fase gaseosa y se condensan en los sitios disponibles es igual a la velocidad a la que las moléculas se evaporan de los sitios ocupados. En el momento en que se obtiene un equilibrio entre la velocidad de condensación de moléculas de gas en una capa ya adsorbida y la velocidad de evaporación de esta capa, y considerando un número infinito de capas, se obtiene la siguiente expresión, conocida como la ecuación BET:

$$\frac{P/P_0}{n(1-P/P_0)} = \frac{1}{n_m C} + \frac{C-1}{n_m C} (P/P_0) \quad (2)$$

Donde:

p/p_0 es la presión relativa de equilibrio

n es el volumen específico del gas adsorbido en la presión de equilibrio (p/p_0).

n_m es la capacidad de monocapa, o sea, el gas adsorbido para formar una capa monomolecular, o sea la cantidad de adsorbato necesaria para cubrir la superficie de una monocapa completa.

C es una constante adimensional asumida por ser exponencialmente relacionada al calor de adsorción en la primera capa y en las capas subsecuentes.

La ecuación BET permite la representación en grafica relacionando $P/Va \cdot (P_0 - P)$ y p/p_0 al volumen de gas adsorbido donde V_m es la capacidad de monocapa expresada en términos de volumen, que debe asemejarse a una recta $y = a + bx$ dentro del rango de presión relativa comprendido entre 0,05 - 0,30 (figura 32).

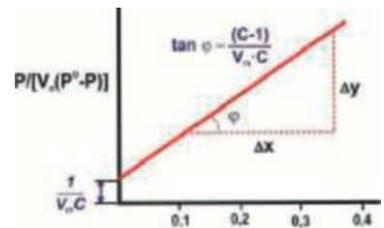


Figura 32. Grafica esquemática de la relación $P/Va \cdot (P_0 - P)$ y P/P_0 .

El valor de intersección de la línea BET en el eje de ordenadas ($a = 1/V_m C$) debe tener un valor positivo. Tanto el punto de intersección (a) como la pendiente pueden ser determinados gráficamente por regresión lineal. A partir de esta gráfica se puede determinar los valores de la capacidad de monocapa (V_m) y el parámetro C del modelo BET, por las siguientes ecuaciones (Santiago, 2012).

$$V_m = \frac{1}{a+b} = \frac{1}{(V_m C) + \left(\frac{C-1}{V_m C}\right)} \quad (3a)$$

$$C = \frac{b}{a} + 1 = \frac{\left(\frac{C-1}{V_m C}\right)}{\left(\frac{1}{V_m C}\right)} + 1 \quad (3b)$$

La superficie específica total de la muestra (St) es entonces calculada por relación

$$St = \frac{n_m}{M} NA_m \quad (4)$$

Donde:

St es la superficie específica total expresada en m^2

M es el peso molecular de lo adsorbato (28,01 para N_2)

N es el número de Avogadro

A_m es el área transversal de una molécula de gas en capa monomolecular ($16,2 \times 10^{-20}$ para N_2)

Lo que se observa en las graficas que representan la superficie específica obtenida a partir de la ecuación BET es que los datos útiles son restringidos a un rango limitado de valores de p/p_0 .

A partir de las isothermas de adsorción y de desorción de N_2 generadas se procede el análisis multifractal y también la determinación de la distribución de tamaño de poros utilizando el método desarrollado por Barret, Joyer y Halenda, conocido con BJH (Barret et al., 1951).

Diagrama-t. El diagrama-t es una isoterma estándar de referencia, utilizada tanto para fines de comparación con la isoterma de adsorción experimental como para evaluar la micro y la mesoporosidad presente en las muestras. Para que se pueda proceder a tal comparación es necesario expresar las isothermas en unidades normalizadas. Así, de acuerdo con Santiago (2012), se debe considerar:

n/A = la cantidad de nitrógeno adsorbida (n) por unidad de área (A)

n/n_m = monocapas estadísticas, o sea cantidad de nitrógeno adsorbida (n) dividido entre la capacidad de monocapa (n_m) y

t = Espesor estadístico de la capa adsorbida donde δ es el espesor de una monocapa. t es calculado por la expresión:

$$t = \left(\frac{n}{n_m} \right) \delta \quad (5)$$

Las isothermas son comparadas representándose la cantidad de gas adsorbido en función de t en el eje de las abscisas en sustitución a p/p_0 .

Para interpretar el diagrama-t es necesario que la superficie de la muestra estudiada debe presentar una topografía suavizada en la región de los mesoporos y que el llenado de microporos y la condensación capilar tengan lugar en rangos de presiones bien diferenciados.

La adsorción en multicapas genera una línea recta en el diagrama de comparación. Sin embargo, la existencia de poros crea una desviación hacia valores de Y superiores, permitiendo de esta forma evaluar el volumen de poros correspondientes a un determinado rango de tamaño de poro. Dentro de esta región lineal, el área de superficie específica (a_s) de los poros que no han sido llenados todavía puede ser calculada a partir de la pendiente, b , según la siguiente ecuación:

$$a_s = b \frac{a_{s,ref}}{b_{ref}} \quad (6)$$

Donde:

$a_{s,ref}$ es la superficie específica del material de referencia y

b_{ref} es la pendiente del material de referencia.

El modelo del diagrama-t se basa en la construcción de la curva t, que refleja la cantidad adsorbido en el sólido no poroso en función de t, el espesor estadístico de la capa adsorbida, calculado según la siguiente expresión (ISO 15901-2):

$$t = \frac{n_a \delta_a}{n_m} \quad (7)$$

Donde:

n_a es la cantidad de nitrógeno adsorbido

n_m es la cantidad de monocapa

δ_a es el espesor de la monocapa de nitrógeno, habitualmente considerado como 0,354 nm asumiendo que las moléculas se disponen en una estructura hexagonal compacta (Lippens et al., 1962).

El diagrama-t constituye una función de la variación de la cantidad de gas adsorbida en función del espesor estadístico de la capa adsorbida, t, calculada a partir de la isoterma estándar de un sólido no poroso.

$$t = \frac{V_a}{a_s} = \frac{n_a}{n_m} \delta_t \quad (8)$$

Donde:

V_a es el volumen específico adsorbido (mm^3g^{-1})

a_s es la superficie específica del sólido estándar no poroso (m^2g^{-1})

n_a es la cantidad de nitrógeno adsorbido (mol/g)

n_m es la capacidad de monocapa del sólido estándar no poroso (molg^{-1})

δ_t representa el espesor de una capa monomolecular.

En el caso del nitrógeno a 77°K, y asumiendo un empaquetado hexagonal compacto del líquido adsorbato, con una densidad de $0,807 \text{ gcm}^{-3}$, se puede asumir los siguientes valores:

Área de la sección molecular: $a_m = 0,162 \text{ nm}^2$

Espesor de monocapa: $\delta_t = 0,354 \text{ nm}$

Así, se puede sustituir el valor de δ_t en la ecuación

$$t = 0,354 \frac{V_a}{V_m} = 0,354 \frac{n_a}{n_m} \quad (9)$$

A partir de la pendiente de la zona lineal del diagrama-t, es posible calcular la superficie específica mediante la ecuación anterior. Si el volumen adsorbido se expresa en cm^3g^{-1} y el espesor de la capa, t, en nm, y la pendiente dV_g/dt , tiene la dimensión de $\text{cm}^3\text{g}^{-1}\text{nm}$.

El área de superficie específica (a_s) se calcula a mediante la ecuación:

$$a_s = 1,5468 \frac{dV_g}{dt} \quad (10)$$

Y el volumen de microporos (V_{micro}) puede deducirse a partir de la intersección en el eje de ordenadas mediante la ecuación:

$$V_{\text{micro}} = 0,0015468 V_g \quad (11)$$

Se asume que la densidad del nitrógeno en los microporos es igual a la densidad del nitrógeno líquido. El factor 0,0015468 convierte el volumen del nitrógeno en condiciones estándares en el correspondiente volumen de líquido. De esta forma, V_{micro} puede ser considerado un volumen de microporosidad efectiva, asumiendo que la densidad del nitrógeno en los microporos no debería ser igual a la densidad del líquido. Por lo tanto la superficie específica se puede calcular directamente a partir de la pendiente del diagrama-t. Este valor debería ser similar al obtenido mediante el método BET.

2.2.2. Porosidad

La Porosidad del suelo puede ser definida como el volumen de vacíos o como el espacio no ocupado por los sólidos. La geometría de las partículas del suelo determina la porosidad en lo que respecta a cantidad y a las características de los poros. Las variaciones de las partículas sólidas cuanto a su tamaño, forma, regularidad y tendencia de expansión por el agua promover las variaciones de los poros cuanto a su forma, anchura, largura y caminos que siguen a lo largo del perfil del suelo. La porosidad del suelo influencia las relaciones entre las fases sólida, líquida e gaseosa, siendo de fundamental importancia para la retención y el movimiento del agua, o sea, tanto en la retención y conductividad hidráulica como en el drenaje interno del agua en el suelo (Kiehl, 1979).

La norma ISO 15901-2: 2006: acepta la clasificación de poros propuesta por Dubinin (1955) y posteriormente adoptada por la International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC (Sing et al., 1985), en función de su anchura media del poro (tabla 26).

Tabla 26: Clasificación de poros de la IUPA (Norma ISO 15901-2)

| Clasificación | Diámetro medio | |
|---------------|----------------|------|
| | Å | nm |
| Microporo | < 20 | <2 |
| Mesoporos | 20- 500 | 2-50 |
| Macroporo | > 500 | >50 |

Esta clasificación es basada en criterios estrictamente físico-químicos relacionados con la Ley de Kelvin, utilizada en la interpretación de las isotermas de adsorción de nitrógeno (Santiago, 2012).

En los microporos la interacción potencial es significativamente superior que en poros más anchos debido a la proximidad de sus paredes y por lo tanto, la cantidad de nitrógeno adsorbida a una determinada presión es mayor. En los mesoporos tiene lugar la condensación capilar, dando lugar al bucle de histéresis característico de las isotermas obtenidas en muestras de suelos. En el rango de los macroporos es virtualmente imposible trazar una isoterma en detalle porque las presiones relativas son muy cercanas a la unidad (Santiago, 2012).

Los modelos de ajustes de distribución de tamaño de poros dependen además de sus tamaños, de la geometría y de la morfología de estos poros. Los poros pueden ocurrir en diferentes distancias. Hay poros uniformes, que son los presentan entrada semejante a parte interior, poros en forma de embudo o en forma de "v" que presentan entrada mayor que su parte interior y poros en cuello de botella en los que el tamaño de la entrada es menor que el tamaño interior. Los poros varían también cuanto a la conectividad con los otros poros que les rodean y con el exterior. En este sentido se encuentran poros cerrados o aislados que son los poros sin conexiones, poros ciegos que son los que presentan una única conexión con el exterior, poros que atraviesan por dos o más conexiones (Santiago, 2012).

Las isotermas generadas en estudios de superficie específica de suelos, genera isotermas de adsorción y de desorción de nitrógeno que presentan entre sus puntos histéresis relacionada con diferencias entre los procesos de condensación y evaporación. La histéresis varía con el formato y con la dispersión de los tamaños de los poros. Poros cónicos o en formato de "v" no generan histéresis. Ocurre en poros formados por canales entre partículas y poros con formato de cuello de botella, con una extremidad cerrada y otra abierta en un diámetro menor que el cuerpo del poro o con variación de diámetro al largo del cuerpo del poro. La histéresis es más pronunciada cuando hay mayor dispersión de los tamaño de los poros (Texeira et al., 2001).

El fenómeno de condensación en los agregados de los suelos puede ser utilizado en la determinación de la distribución de tamaño de poros con base en una función

matemática que correlacione el tamaño de los poros con la presión de condensación. La relación más utilizada para este fin es la ecuación de Kelvin (Texeira et al., 2001).

Ecuación de Kelvin

$$\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = -\left(\frac{2\gamma M_v \cos\theta}{RT r_m}\right) \quad (12)$$

Donde:

P = presión crítica de condensación

γ = tensión superficial del líquido

Mv = volumen molar del adsorbato

θ = ángulo de contacto entre el sólido y la fase condensada

r_m = radio medio de la curvatura de menisco del líquido

Método BJH

En función de la naturaleza físico-química del material y del rango de porosidad, es posible, a partir de las isothermas de adsorción de nitrógeno, evaluar la morfología, la conectividad y la distribución de tamaño de los poros por el método preconizado por Barrett, Joyner y Halanda - BJH (Barrett et al., 1951). El método utiliza la ecuación de Kelvin y asume el vaciamiento progresivo de los poros llenos de líquido por con la reducción de la presión. El BJH puede ser utilizado tanto en la rama de adsorción como en la de desorción de la isoterma, desde que la reducción de la presión se inicie en el punto donde los poros sean considerados totalmente llenos, lo que suele ocurrir para p/p_0 igual a 0,95, o sea, en una presión igual a 95% de la presión de saturación. La cantidad de adsorbato evaporada a cada reducción de la presión después de la conversión del volumen de gas para volumen de líquido, representa el volumen de poros sin considerar la película absorbente de las paredes del sólido (Santiago, 2012). La espesura t de la película puede ser calculada por la ecuación de Harkins y Jura (Harkins, Jura, 1944).

$$t = \left[\frac{13,90}{0,034 - \log(p_0 / p)} \right]^{1/2} \quad (13)$$

Donde los valores numéricos son valores estadísticos que pueden variar de acuerdo con el absorbente utilizado.

Se $r_m = r_k - t$ para poros cilíndricos, conociéndose el valor de t y r_m se puede obtener el valor del radio del poro r_k a través de la ecuación de Kelvin. Para cada reducción de presión se puede relacionar el volumen del poro con su diámetro e , con varios puntos se obtiene un diagrama de volumen de poros (cm^3g^{-1}) versus diámetro de poro (nm).

2.3. Fractales

Para se entender el análisis multifractal, es necesario conocer los fractales y su utilización.

Galileu Galilei afirmó, en el siglo XVII que se podría entender el universo por un lenguaje matemática formada por caracteres geométricos como triángulos y círculos. Lo que viene a demostrar la fuerza de la geometría euclidiana a lo largo de los siglos sin modificaciones significativas por cerca de dos mil años (Boyer, 1996). La geometría euclidiana sin duda fue esencial para el desarrollo del pensamiento matemático, pero sus limitaciones hacían con que todo que no se encajara en los conceptos clásicos fuera considerado aberraciones sin darles cualquier solución. La geometría fractal abrió el abanico de las construcciones geométricas y demostró que lo que parecía demasiado específico y fuera de los patrones era de verdad figuras que tienen algo extremadamente simple, intuitivo y concreto (Carvalho, 2005).

Considerado el Padre de los Fractales, Benoit Mandelbrot afirmó que la geometría clásica se ocupó de las formas suaves y perfectas, pero la naturaleza presenta rugosidades y fragmentaciones que se repiten en patrones que se puede analizar. Para el, los fractales en muchos aspectos son más naturales y por lo tanto mejor comprendidos intuitivamente que los objetos que, basados en la geometría euclidiana, se han suavizado artificialmente (Mandelbrot, 1989).

Mandelbrot reunió sus trabajos en un libro y buscó un término que fuera la expresión de sus estudios. En un diccionario de Latín se deparó con "fractum" que significa fragmento y comprendió que este término podría reflejar las irregularidades y la idea de partición ordenada de las figuras por él estudiadas. Su libro, publicado en 1973, se llama "Los Objetos Fractales" y a partir de entonces, el término Fractal y la Geometría Fractal se estableció para desvendar cuestiones relacionadas a distintas áreas del conocimiento.

Fractales son objetos que pueden ser obtenidos geoméricamente, como los modelos clásicos o de manera aleatoria.

La comprensión de los fractales permite entender la geometría de los objetos que no se puede relacionar a la geometría clásica y establecer modelos matemáticos para auxiliar los estudios de los fenómenos naturales. Permite describir a niveles cada vez más detallados la naturaleza en sus mas distintas formas. Un fractal es un modelo en que una parte se asemeja al todo, obtenida por un proceso iterativo que puede tener una dimensión no entera. Así, los fractales pueden ser definidos por tres conceptos básicos: auto-similaridad, iteración y dimensión (Carvalho, 2005).

Autosemejanza - mantenimiento de la forma que independe de la escala de ampliación, o sea, parte de la figura se asemeja al todo. Hay dos tipos de autosemejanza: la exacta y la estadística. Una figura es considerada auto-semejante cuando presenta siempre el mismo aspecto visual en cualquier escala ampliada o reducida, siendo que una parte de la figura se asemeja a su todo. Hay dos tipos de auto-semejanza, la exacta que solamente es posible en figuras generadas por procesos matemáticos en que el conjunto total es formado por pequeñas replicas perfectas de las mismas por la interacción de la misma regla de construcción, indefinidamente y la estadística, que es aproximada.

Existen formas en la naturaleza que presentan estructuras de auto-semejanza e que, a pesar de no ser posible observar muchas escalas de ampliación, son entendidas del punto de vista fractal. En estos casos, la noción de auto-semejanza debe ser entendida como aproximada (estadística) porque partes presentan la misma estructura, pero no son réplicas exactas. En el caso de la figura 33 hay ramos pequeños que salen de un principal y es como su réplica y en otra dimensión la semejanza se repite en otra

escala. Pero no se puede repetir indefinidamente, como se puede hacer en fractales generados por procesos matemáticos. Por lo tanto, fractales pueden ser utilizados como modelos para representar formas de la naturaleza, pero debemos siempre tener en cuenta tales limitaciones.

Iteración - Consiste en la repetición de la misma acción o principio infinitamente en una especie de feedback (Peitgen et al., 1992). Las iteraciones en geometría fractal pueden ser algébricas o geométrica.



Figura 33. Ejemplo de fractal de la naturaleza

Iteración algébrica una ecuación funciona como unidad procesadora. Se atribuye un valor inicial para x_n y se encuentra x_{n+1} . El valor x_{n+1} es reemplazado donde antes estaba x_n y se estaba x_{n+2} , a partir de entonces, el procedimiento sigue igual y se encuentra x_{n+3} , x_{n+4} ...en sucesión.

Iteración Geométrica - El procesador es una regla aplicada a una figura geométrica o en una parte específica de ella. Generalmente la regla es hacer una fractura en la figura, siendo que en los estadios de fragmentación la regla será aplicada indefinidamente. Un ejemplo de este tipo de iteración es el copo de nieve de Koch (figura 34) en que cada

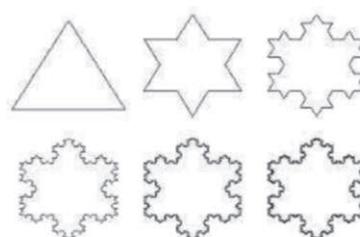


Figura 34. Copo de Kock

lado de un triángulo equilátero se divide en tres y da origen a tres triángulos equiláteros menores que parten del seguimiento central de cada un de los lados del triángulo original y se procede a la misma secuencia indefinidamente.

Dimensión - En la geometría euclidiana dimensión es definida como o número de parámetros independientes necesarios para una descripción de sus puntos. Así, un punto tiene dimensión cero, una reta, dimensión 1, un área, 2 y un volumen, 3 (Peitgen et al, 1992).

Con el surgimiento de la topología, ramo de las matemáticas que estudia las formas de los objetos e propiedades que quedan constantes cuando tales objetos son curvados,

extendidos o presionados, los conceptos clásicos de dimensión no fueran suficientes para sus conceptualizaciones (Carvalho, 2005).

Mandelbrot (1989) afirmó que adoptó un método basado en una característica abierta y intuitiva, donde los avances se efectúan por retoques sucesivos.

La definición de Hausdorff-Besicovitch para la dimensión fractal fue escogida por Mandelbrot para los fractales y es una generalización del concepto de dimensión en un espacio topológico que permitió definir dimensiones fraccionarias. Para los fractales, el concepto de dimensión alcanza un sentido más cualitativo que no se restringe a los números 0, 1, 2, 3 y admite números no enteros y hasta los irracionales (Gleick, 1987). En geometría fractal, la dimensión es conocida como dimensión de Hausdorff y se representa por D_H .

La geometría fractal fue desarrollada para describir la jerarquía a niveles cada vez más detallados del mundo real. Las medidas de diversas variables de un sistema, como el suelo, por ejemplo, dependen de la escala de observación. Los parámetros obtenidos por modelización fractal contienen información que permite relacionar las características observadas a diferentes escalas y con los procesos que intervienen en cada caso. El suelo no es un fractal perfecto y al aplicarse la teoría fractal a su estudio lo que se pretende es que los modelos derivados permitan una descripción más precisa de los procesos que ocurren en el suelo que los métodos de la geometría clásica (Miranda, 2006).

2.3.1. Fractales clásicos

En fines del siglo XIX y inicio del siglo XX, algunos matemáticos investigaron objetos que pedían ser comprendidos por los conceptos de álgebra y de geometría de aquella época. Sus conjuntos de imágenes fueran generados por un proceso de remoción de alguna parte de la figura original o a través de alteración de la figura original.

Georg Cantor, en 1877, cuestionó la validez del concepto de dimensión, iniciando una revolución en el campo de la geometría (Mandelbrot, 1978). En 1883, creó el conjunto que hoy se denomina conjunto de Cantor (Cantor, 1883), que se construye mediante secuencias de exclusiones repetitivas de puntos en intervalos unitarios de longitud,

denominado indicador (lo) en un intervalo $[0,1]$. Consistiendo en retirar los puntos que estén entre $1/3$ y $2/3$ ($1/3 < x < 2/3$), o sea, el tercio mediano de un seguimiento de recta. Con la n -ésima iteración, el conjunto constará de 2^n intervalos con longitud 3^{-n} . (figura 35)

Las características más importantes del conjunto de Cantor son: contiene copias exactas de sí mismo a diferentes escalas, aspecto conocido como autosemejanza (Falconer, 1990); la cantidad de detalles es directamente proporcional a la escala que presenta; su definición es extremadamente simple; se obtiene por procedimientos repetitivos.

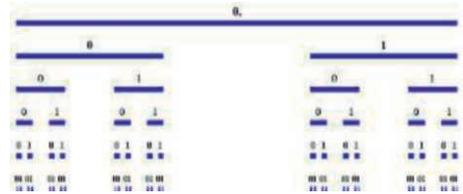


Figura 35. Conjunto de Cantor



Figura 36. Triángulo de Sierpinski

El Triángulo de Sierpinski

Se trata de una figura geométrica obtenida por un proceso recursivo en lo cual es retirado el triángulo central de cada triángulo que se origina de la retirada del central (figura 36). Fue descrito por el Matemático Waclaw Sierpinski (1882 1969).

La esponja de Menger

La esponja de Menger (figura 37), idealizada por el matemático americano Karl Menger y descrita por este en 1926, mientras elaboraba el concepto de dimensión topológica, parece ser el fractal clásico que pueda ser mejor correlacionado a la estructura del suelo, sobre todo a los que tienen su estructura clasificada como en bloques angulares y/o subangulares, por ser tridimensional y presentar huecos que pueden ser relacionados a los macroporos y a los microporos del suelo como se encuentra en la naturaleza.

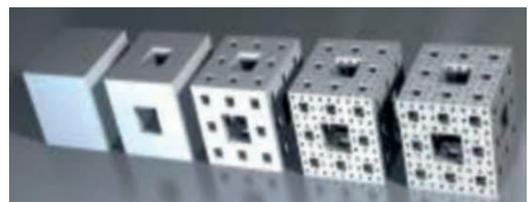


Figura 37. Esponja de Menger

La esponja de Menger es obtenida partiendo de un cubo que se divide en 27 cubos iguales y se sacan el cubo central y seis cubos del centro de cada cara. El proceso se repite en la próxima fase y en secuencia indefinidamente, resultando en una figura con área infinita y volumen cero. Su dimensión fractal igual a $d_H = \log 20/\log 3 \cong 2,7268$.

La construcción iterativa de la esponja de Menger puede ser caracterizada mediante propiedades como densidad y porosidad. Para obtener su dimensión fractal se considera el cubo iniciador de lado L_0 , densidad σ_0 y porosidad = volumen de huecos/volumen total.

En el primer estadio el volumen total es considerado $x^3 = 27$ y el volumen de huecos = 7. Entonces, la densidad es de $7/27$

2.3.2. Aplicaciones de la Geometría Fractal

La geometría fractal ha sido empleada en diversos campos de las ciencias. Hay publicaciones en el área de la medicina, biología, química, física, llegando hasta las artes plásticas. Por conseguir explicar fenómenos les añadiendo formas y ecuación, su uso esta se extendiendo cada día más.

Algunos de los estudios de áreas distintas como la circulación de la sangre, el agua en una bacía hidrográfica y la distribución de nutrientes en un árbol a partir de sus vasos parecen convergir para un modelo muy semejante, exponiendo la autosemejanza, esencial para el entendimiento de la teoría fractal. Stewart (1991) observando las relaciones entre los fenómenos naturales citados dijo que es como se la naturaleza hubiera encontrado una solución única para ellos, la solución fractal. Los sistemas dinámicos que presentan evolución temporal pueden ser entendidos por la geometría fractal que permite describir mejor los fenómenos naturales por utilizar su carácter cualitativo, analizar las cuestiones de manera más global y con contemplar las interrelaciones subyacentes (Mandelbrot, 1989).

Actualmente, las aplicaciones de la geometría fractal estan presentes en distintos campos del conocimiento como de las ciencias ambientales, de la astronomía, de la medicina, de la cinematografía y de la economía (Sardela et al., 2011).

2.3.3. Otras percepciones de los fractales



Figura 38. La Grande Ola de Kanagawa. de Katsushika Hurasai

En una entrevista a Eduardo Punset, en 2007, Mandelbrot afirmó algunos artistas como el pintor japonés Katsushika Hurasai, que vivió entre 1760 y 1849, tenía una fuerte sensibilidad hacia lo rugoso y lo fragmentado. En sus obras, siempre aparece alguna forma clásica de la geometría fractal, mucho antes del desarrollo de esta ciencia (figura 38). También segundo él, Delacroix, famoso pintor francés, que vivió entre 1798 y

1863, tenía una grande conciencia fractal mismo que no tenga expresado esto en sus cuadros porque una vez aconsejando un joven pintor que le había preguntado cómo se dibujaba un árbol, dijo que un árbol se compone de árboles pequeños"

Maurits Cornelis Escher, artista gráfico holandés, conocido por sus obras de arte que llenan de forma regular el plano dando una ilusión del infinito a partir de padrones geométricos cruzados que se transforman en formas completamente diferentes. En "más o menos pequeño" (Figura 39) un motivo con forma de lagarto es sometido a un proceso de reducción hasta hacerse infinitamente pequeño en el centro de la imagen.

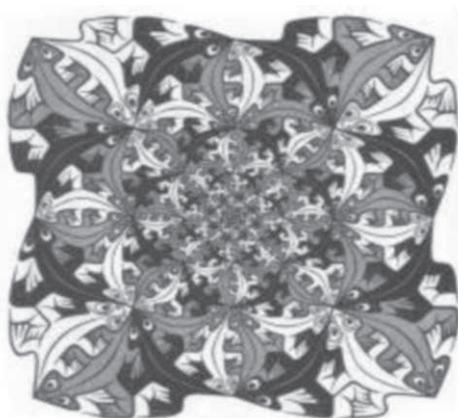


Figura 39. Más o Menos de Maurits Escher, 1956.

No podemos encontrar, naturalmente, fractales que tengan exactamente la estructura imaginada por Escher o por cualquier otra persona. Pero, es interesante empezar la definición de fractales por sus figuras porque estas representan lo que se podría se llamar de fractales perfecto y así hacer más fácil la comprensión de los fractales naturales.

2.3.4. Aplicaciones de fractales en Ciencia del Suelo

Un complejo dinámico con tres fases relacionadas y que se influyen mutuamente. Así Miranda (2000) definió el suelo, en su Tesis Doctoral sobre análisis fractal del microrelieve del suelo afirmando que lo hizo así para subrayar que cualquier estudio en separado del agua, del aire o de las partículas sólidas que componen el suelo debe proceder considerando sus interacciones.

En la geometría fractal, las medidas de diferentes variables de sistemas como de los suelos dependen de la escala de medición. Los parámetros obtenidos por modelización fractal contienen informaciones que permiten relacionar las características observadas a diferentes escalas con los procesos que intervienen en cada caso (Miranda, 2000).

Por ser un cuerpo natural, el suelo no puede ser entendido como un fractal perfecto. Hay cierta repetición de patrones en sus agregados, en su estructura, en la superficie específica que remiten a la autosemejanza dentro de sus horizontes. El uso de la teoría fractal pretende modelar el suelo de la manera más precisa posible, considerando este con un fractal natural, buscando así entender mejor los procesos que interfieren en su dinámica.

Además de la superficie específica, estructura, porosidad, distribución de tamaño de partículas, agregados, retención del agua, conductividad hidráulica y materia orgánica son características de los suelos que pueden ser estudiadas con base en la geometría fractal (Baveye y Boast, 1997). Actualmente los conceptos del análisis multifractal han sido empleados por investigadores, objetivando entender mejor la naturaleza de las propiedades edáficas (Vidal-Vázquez et al, 2008, Paz-Ferreiro et al, 2013).

2.4. Multifractales

Multifractal es un fractal no uniforme. La utilización de conceptos de la Geometría Fractal y los modelos multifractales permiten la simulación y la caracterización de la estructura de los suelos y algunas de sus propiedades físicas (Paz Ferreiro et al, 2009).

Un multifractal típico es un conjunto de infinitos fractales puros interligados y formados por un conjunto de puntos con el mismo valor α que tiene dimensión fractal $f(\alpha)$.

2.4.1. Análisis Multifractal

Estudios que generan muchos datos muestrales exhiben irregularidades y ocultan informaciones útiles, siendo necesario utilizar métodos capaces de interpretarlos (Hansen y Seoane, 2013).

El análisis multifractal es una herramienta matemática a través de la cual es posible caracterizar objetos o sistemas complejos. Descomponiendo estructuras, traduce las relaciones entre sus componentes (Ibañez, 2015). El Análisis multifractal considera los cambios de una distribución normalizada de probabilidad de una variable en cierta escala.

Para entender medidas autosimilares, el concepto usual de densidad de medida carece de sentido para caracterizar su irregularidad. Entonces, es necesario recurrir al concepto de concentración o exponente de Hölder, representado por α . Para un proceso realizado hasta un paso k muy grande, se tiene M^k sub-intervalos. El espectro multifractal es una función de los exponentes de Hölder del sistema que caracterizan los grados de irregularidad de la señal. Para $K > 1$, la concentración α de la medida p del sub-intervalo I_j^K es el valor:

$$\alpha = \alpha(I_j^k) = \frac{\log p(I_j^k)}{\log(m^{-k})} \quad 1 < J < m^K \quad (14)$$

Para medidas multifractales se verifica que los valores están siempre dentro de un rango ($\alpha_{\text{mínimo}}$, $\alpha_{\text{máximo}}$). Así: $0 < \alpha_{\text{mínimo}} < \alpha_{\text{máximo}} < \infty$

La amplitud del rango $\Delta\alpha = \alpha_{\text{mínimo}} - \alpha_{\text{máximo}}$ se llama potencia de medida multifractal. Para calcular la distribución de la frecuencia de valores α , se realiza un histograma y se divide $\Delta\alpha$ en M intervalos de longitud $\delta = \frac{\Delta\alpha}{M}$ y se cuenta el número N_{α_i} de sub-intervalos I_j^K que tiene la misma concentración α_i .

Existen dos enfoques dentro del análisis multifractal: medidas y conjunto. En las medidas, el carácter multifractal no se asocia a ningún conjunto concreto sino al comportamiento de una medida finita definida sobre un todo. Se considera un conjunto

multifractal que presenta una dimensión uniparamétrica de dimensiones fractales diferentes. Las diferentes dimensiones fractales del conjunto forman una función continua llamada espectro multifractal. Así, en un conjunto multifractal, la dimensión de Hausdorff-Besicovitch, o dimensión de similitud ($D_H = D_0$), excede a su dimensión topológica, difere de la dimensión de información D_1 y de la dimensión de correlación D_2 (Falcone, 1997).

En un intervalo $I = [a, b]$ de un plano, el análisis multifractal requiere un conjunto de diferentes subintervalos de I con igual longitud ε . Generalmente se considera el escala diática hacia abajo (Evertsz y Mandelbrot, 1992). Lo que significa repartir en intervalos sucesivos con valores lineares característicos.

$$\varepsilon = 2^{-k} L \quad (15)$$

Donde:

$K = 0, 1, 2, \dots$

L es la longitud del soporte.

Así, para cada isoterma de adsorción, la distribución diferencial normalizada del adsorbato N_2 (Δn_i) fue seleccionado como medida $\mu_{i\varepsilon}$ y la presión relativa p/p_0 fue tomada como la escala. Por lo tanto, los datos que definen la curva de adsorción de N_2 se transforma en distribuciones diferencial.

$$\overline{\Delta n_i} = \frac{(\Delta n_i - \Delta n_{\min})}{\sum_{i=1}^N (\Delta n_i - \Delta n_{\min})} \quad (16)$$

Donde:

Δn es el cambio de N_2 fijado por adsorción entre dos punto sucesivos de la curva de adsorción

Δn_i es el volumen mínimo de N_2 adsorbido

N es el número de puntos de los datos experimentales

Considerando intervalos de cajas longitud ε sobre un patrón heterogéneo de adsorción de N_2 , densidad de cajas puede ser expresadas como una proporción, teniendo en cuenta la probabilidad de adsorción diferencial p_i , en cada caja. Para cada intervalo i de tamaño ε esta probabilidad tendrá diferentes exponentes.

$$p_i(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-\alpha_i} \quad (17)$$

Donde

α_i Depende de la caja

α_i es el exponente de Hölder o exponente de singularidad. En teoría, esto representa singularidad de los sistemas que tienden al infinito en el límite con $\varepsilon \rightarrow 0$

Un multifractal ocurre cuando diferentes cajas o segmentos de escala con diferentes exponentes α corresponden a diferentes intensidades de medidas. Para definir medidas de distribución multifractal, el valor de $N_\alpha(\varepsilon)$ de intervalos de tamaño ε tiene un exponente de Hölder igual a α aumenta para disminuir obedeciendo la ley

$$N_\alpha(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-f(\alpha)} \quad (18)$$

Donde:

$f(\alpha)$ Representa el espectro de dimensiones fractales que caracterizan la abundancia del conjunto de puntos con singularidad α

Para la caracterización topológica completa de un multifractal es necesario definir dos curvas: el espectro de dimensiones generalizadas ($D(q)$) y el espectro de singularidades $F(\alpha)$ (Yamaguti, 1997)

2.4.2. Espectro de dimensiones generalizadas $D(q)$

Los fractales se caracterizan por una dimensión fractal D que indica como el objeto llena el espacio. La dimensión fractal o dimensión de Hausdorff-Besicovitch (D_H) puede ser entendida como el tamaño de un objeto medido por pequeños objetos de dimensiones D (Yamaguti, 1997).

La dimensión fractal o dimensión de Hausdorff-Besicovitch (D_H) puede ser entendida como el tamaño de un objeto medido por pequeños objetos de dimensiones D (Yamaguti, 1997).

Los multifractales necesitan de un espectro D_q para su caracterización. Este espectro es conocido como de dimensiones generalizadas, también conocido como dimensiones de Renyi, que las definió mediante la expresión:

$$D(q) = -\frac{1}{1-q} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln \sum_i p_i^q}{\ln \varepsilon} \quad (19)$$

La gráfica del espectro de dimensiones generalizadas es una curva sigmoideal continua y monotonicamente decreciente.

La curva definida por $D(q)$ x q es difícil de interpretar, pero a partir de sus propiedades se puede hacer interpretaciones importantes especialmente cuando analizada en conjunto con el espectro de singularidades.

D_q indica la multifinidad. D_q para valores q positivos describe las regiones más densas, para q negativo, las menos densas.

Se para $q_1 \neq q_2$ se verifica $D_{q_1} = D_{q_2} \rightarrow$ Fractal homogéneo o monofractal \rightarrow las probabilidades son proporcionales a las razones de fraccionamiento del conjunto de soporte de los datos.

p_i = probabilidad de se encontrar un punto n en una determinada caja

$q = 0 \rightarrow$ dimensión del número de cajas

$q = 1 \rightarrow$ dimensión de información

$q = 2 \rightarrow$ dimensión de correlación

q puede variar de $-\infty$ hasta ∞ continuamente.

$q \rightarrow \infty$ se considera solamente el conjunto de las mayores probabilidades y D_q tiende al valor mínimo α_{min}

$q \rightarrow -\infty$ se considera solamente el conjunto de las menores probabilidades y Dq tiende al valor máximo α_{max}

2.4.3. Espectro de singularidad

Un objeto fractal de dimension constante puede ser completamente descrito por su dimension fractal o exponente fractal, pero la caracterización de un objeto multifractal requiere especificar un espectro. El espectro de singularidades (Falcone, 1997).

La dimension fractal o dimension de Hausdorff-Besicovitch (D_H) puede ser entendida como el tamaño de un objeto medido por pequeños objetos de dimensiones D (Yamaguti, 1997).

Un multifractal es un conjunto de infinitos fractales puros interligados, cada uno de ellos formado por un conjunto de puntos con mismo α (grandeza relacionada a singularidad de la medida), cuya dimension fractal es $f(\alpha)$, que es una función continua de α . Relacionando $f(\alpha)$ e α para el mismo q se obtiene la grafica del espectro de singularidades.

La curva del espectro de singularidad tiene formato de campana con concavidad bien definida. Tiene su máximo en $f(\alpha) = D_H$; los extremos de la curva son $\alpha_{min} = D_\infty$ y $\alpha_{max} = D_{-\infty}$; la rama correspondiente a $q > 0$ es el lado izquierdo de la curva y la rama correspondiente a $q < 0$ es el lado derecho de la curva (figura 40).

Las propiedades de la curva $f(\alpha)$ pueden ser analizadas en relación a datos del espectro de dimensiones generalizadas por una transformación propuesta por Legendre (Xiong et al, 2010).

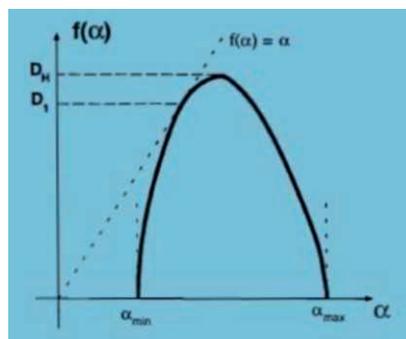


Figura 40. Gráfica esquemática del espectro de singularidades

Así:

$$Dq = \frac{1}{q-1} [q\alpha(q) - f(\alpha(q))] \quad (20)$$

$$f(\alpha) = \alpha q(\alpha) - (q(\alpha) - 1) Dq(\alpha) \quad (21)$$

$$\alpha(q) = \frac{\delta}{\delta q} [(q - 1) Dq] \quad (22)$$

$$q(\alpha) = \frac{\delta f(\alpha)}{\delta \alpha} \quad (23)$$

La curva del espectro de singularidades se localiza siempre abajo de la bisectriz que la toca cuando $q = 1$.

El máximo valor de la curva del espectro de singularidad se alcanza cuando $q = 0$ y entonces se observa

$\alpha(1) = f\alpha(1) = D1$ (dimensión información o de entropía de Shannon)

$f(\alpha(0)) = D0$ (dimensión de capacidad) y $f(\alpha(2)) = D2$ (dimensión de correlación)

$\alpha_{\text{mínimo}} = D^{\infty}$ y $\alpha_{\text{máximo}} = D^{-\infty}$

El espectro de singularidad $\alpha(q)$ y el espectro multifractal $f(\alpha)$ pueden ser calculados por el método de Chhabra y Jensen (1989) que es basado en el uso directo de los datos obtenidos empíricamente. Los valores de $f(\alpha)$ e α pueden ser obtenidos a través del parámetro "q" que funciona como un filtro para seleccionar regiones más o menos "densas" con relación a la distribución de datos. Para valores de $q > 1$, las medidas con magnitud más grandes son ampliadas. Para $q < 1$, son ampliadas las grandezas de menor tamaño. Así:

$$\alpha(q) \propto \frac{\sum_{i=1}^{N_{\varepsilon}} \mu_i(q, \varepsilon) \log \mu_i(\varepsilon)}{\log \varepsilon} \quad (24)$$

$$f(\alpha(q)) \propto \frac{\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} \mu_i(q, \varepsilon) \cdot \log \mu_i(q, \varepsilon)}{\log \varepsilon} \quad (25)$$

$$\mu_i(q, \varepsilon) = \frac{\mu_i(\varepsilon)^q}{\sum_{i=1}^N \mu_i(\varepsilon)^q} \quad (26)$$

Donde:

Lo que representa la posibilidad de que una cierta medida μ en escala ε para determinado parámetro q ocurra en un conjunto de N posiciones.

Para $q < 0$, $\mu(q)$ amplifica las regiones en la distribución donde μ tiene un pequeño grado de concentración.

$q > 0$, reflecta regiones donde μ tiene alto grado de concentración

3. MATERIAL y MÉTODOS

3.1. Suelos seleccionados y propiedades generales

3.1.1. Muestreo, descripción y clasificación

Se muestrearon 11 perfiles de suelos clasificados por el Sistema Brasileño de Ciencia de Suelos - SiBCS (Embrapa, 2006) como Latossolos, Argissolos, Nitossolos y Cambissolos, que corresponden a Ferralsol, Alisol, Nitisol y Cambisol en la Clasificación de World Reference Base for Soil Resources (WRB, 2006), en la región serrana del Estado de Santa Catarina en el sur de Brasil, durante una excursión que tiene como objetivo principal reconocer características de determinados suelos y correlacionarlos a aspectos ambientales con el propósito de desarrollar el SiBCS. Antes de que ocurra tal excursión, un grupo de expertos selecciona los suelos, los muestrean y los analizan para que cuando ocurra la excursión, otros expertos, de instituciones de investigación científica y de enseñanza superior, que participen del recorrido puedan opinar sobre su clasificación, aportar sus conocimientos y sobre ellos desarrollar futuras investigaciones que sean importantes para su manejo y conservación, además de contribuir con informaciones importantes para el Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos.

Durante tal excursión, para los procedimientos analíticos referentes a determinación de la superficie específica, fueron muestreados seis horizontes de los 11 perfiles totalizando 66 muestras de agregados que fueron acondicionados en botecitos de acrílico con tapas con capacidad de 50 ml (Figura 41).



Figura 41: Muestras agregados de suelos para determinación de la superficie específica.

Entre las características importantes para la discusión referente a este trabajo, hacía falta resultados de densidad de suelo y de las partículas, datos importantes para el cálculo de la porosidad total.

También se obtuvieron 66 muestras de aproximadamente 100g de suelos de los mismos horizontes para análisis de densidad de partículas y cinco muestras en terrones

de cada horizonte para determinación de la densidad global del suelo. Estas muestras fueron acondicionados a fin de mantener su estructura preservada.

La descripción de los perfiles se encuentran en el apéndice. La abundancia de datos disponibles sobre ellos y su ubicación referenciada geográficamente permiten que resultado de otras investigaciones como el análisis multifractal de la superficie específica sean relacionados a sus características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas. Permiten también que los resultados puedan ser replicados, validados y extrapolados para regiones que presenten suelos y condiciones ambientales semejantes. De manera resumida, algunas características de estos perfiles se encuentran entabladas en el ítem Estado del Arte. La descripción morfológica, los resultados de los análisis de características físicas y químicas, así como los difractogramas que presentan su composición mineralógica se encuentran en el apéndice I.

3.1.2. Densidad aparente

La densidad de las muestras retiradas de los horizontes de los perfiles fue analizada por el método del terrón parafinado (Embrapa, 2011). En este método se utiliza parafina fundida para impermeabilizar el terrón que es previamente enlazado por líneas y pesado cuando seco al aire. Entonces, el terrón es inmerso en parafina fundida con temperatura en torno de 60° C y otra vez pesado para se obtener por diferencia el valor de la masa de la parafina que involucra el terrón. Con este valor, considerando que la parafina tiene 0,9 g cm⁻³ de densidad, se determina la densidad de la parafina. Estando así impermeabilizado, el terrón puede ser inmerso en agua para determinación de su volumen por el desplazamiento del agua que provoca. El volumen del terrón es igual al volumen de agua desplazado menos el volumen de la parafina. Para la determinación de la masa del terrón, es necesario secarlo en estufa. Así, se abre el terrón y se coge una muestra y se coloca en estufa entre 6 y 12 horas a 105° C hasta que se obtenga masa constante. Sabiendo-se la humedad de la muestra, se obtiene el valor de la masa del terrón seco y la relaciona con su volumen, determinando la densidad en g cm⁻³.

3.1.3. Densidad real

La densidad real de las partículas del suelo fue analizada con base en la metodología preconizada por Embrapa (Embrapa 2011). Las muestras fueran secas al aire, tamizadas y después secas en estufa a 105° C, entre 6 y 12 horas, hasta que se

determine masa constante, se pesó una alícuota de 20 g de suelo y que fue llevada a un balón volumétrico de 50ml. Al balón se adicionó alcohol etílico, agitándose lentamente para la eliminación de bolsas de aire que se forman en el proceso. El volumen de alcohol necesario para completar los 50ml del balón, menos su capacidad volumétrica, representa el volumen ocupado por las partículas del suelo. Así, la densidad de partículas es calculada relacionando los 20 gramos con el valor del volumen ocupado por las partículas del suelo en g cm^{-3} .

3.1.4. Porosidad total

Mediante la relación entre la densidad del suelo (que considera los poros ocupados por agua y aire) y la densidad de las partículas, se obtiene la porosidad de la muestra. La porosidad en porcentaje es calculada por la fórmula:

$$P=100 (\text{densidad aparente} - \text{densidad real})/\text{densidad real}$$

3.2. Superficie específica

La determinación de la superficie específica de las muestras se realizó en agregados de 2 – 3 mm (Figura 42), utilizando un analizador de sorpción de gas Thermo Finnigan Sorptomatic 1990, que se encuentra uno de los laboratorios de la Universidad de La Coruña. El nitrógeno fue el gas utilizado como el adsorbente. Las isothermas de adsorción e de desorción fueran medidas en dos muestras por horizontes, totalizando 132 análisis. Los datos de adsorción de gases fueran analizados por un programa de reducción de datos provisto por el fabricante del equipamiento, que está basado en la teoría de adsorción de gas de Brunauer, Emmett y Teller - B.E.T. (Brunauer et al., 1938).



Figura 42: Muestra de agregados utilizados para la determinación de la superficie específica.

El equipo permite controlar las condiciones de análisis, adquirir datos e interpretarlos según diferentes teorías matemáticas así como acumular archivos relativos a muestras, condiciones de análisis.

Además, el aparato se encuentra equipado con dos sistemas de vacío independientes: uno para la preparación de muestras y otro para el análisis de las mismas. De esta forma es posible realizar a la vez las dos operaciones, analizar una muestra mientras se está preparando la siguiente. El hecho de que sean completamente independientes elimina la posibilidad de contaminación cruzada entre los sistemas.

El equipo usado cuenta con un panel frontal que permite programar la desgasificación de la muestra, tanto de forma automática como manual, así como la rampa de calentamiento de las mantas calefactoras, el nivel de vacío que se desea obtener durante la preparación de muestras y el nivel de vacío deseado durante el análisis.

Además, el panel dispone de unas pantallas de visualización de las condiciones reales de presión y temperatura existentes en el interior del equipo en todo momento, tanto en la fase de desgasificación como de la presión en el puerto de análisis.

El equipo tiene dos recipientes de nitrógeno (dewars) de 1,9 L de capacidad cada uno. El dewar izquierdo refrigera unas trampas de aceite y tiene un soporte que lo mantiene en su posición fija durante todo el análisis y un tapón para evitar pérdidas por evaporación. El de la derecha refrigera el sistema o puerto de análisis y se sitúa sobre una plataforma elevadora que se pondrá en movimiento a lo largo del análisis; no debe taparse porque el movimiento de la plataforma hace que el portamuestras, que está justo encima, se introduzca dentro del dewar. Sin embargo, mientras se ajusta el portamuestras al puerto de análisis, debe ponerse el tapón temporalmente para evitar que baje el nivel de N₂ y que alguna pieza pueda caer dentro.

El portamuestras es de vidrio y tiene forma de un tubo largo con un bulbo en la parte inferior donde se pondrá la muestra. Dentro del portamuestras hay una varilla de vidrio. Su principal finalidad es reducir el espacio conocido como espacio libre o espacio muerto del tubo portamuestras.

Los tubos portamuestras tienen unos tapones que sellan herméticamente de forma que evitan la contaminación de la muestra por contacto con el aire ambiente durante su manipulación, preparación y análisis. Al lado del tubo portamuestras se instala un tubo denominado de presión de saturación P^0 cuya finalidad es medir este parámetro en las mismas condiciones criogénicas en las que se encuentra la muestra.

Por último, a lo largo del análisis de una muestra, que puede llevar varias horas, el nitrógeno se va evaporando y, como consecuencia de ello, el nivel del nitrógeno líquido

desciende en el interior del dewar que envuelve al tubo portamuestras y el tubo de presión de saturación P_0 . Para evitar la heterogeneidad térmica que ello podría producir, se coloca en torno al tubo portamuestras una camisa isoterma de teflón poroso que permite mantener una temperatura constante a lo largo de toda la longitud del tubo portamuestras durante el tiempo que dure el análisis.

Procedimiento experimental

Los fundamentos básicos de la técnica analítica son simples: Una muestra previamente sometida a vacío con o sin calentamiento para limpiar la superficie de sus partículas sólidas, es enfriada a temperatura criogénica y posteriormente expuesta a una rampa de presiones controladas en presencia de un gas de análisis. Cada vez que se incrementa la presión, el número de moléculas de gas adsorbidas en la superficie aumenta. La presión a la cual la adsorción se equilibra queda registrada y, aplicando las leyes universales de los gases es posible determinar la cantidad de gas adsorbido.

A medida que la adsorción avanza, el espesor de la capa adsorbida aumenta. Los posibles microporos existentes en la superficie se llenan rápidamente quedando entonces la superficie libre totalmente cubierta. Finalmente los poros de mayor tamaño se llenan. El proceso puede continuar hasta llegar al punto de condensación del gas de análisis. A partir de este punto, comienza el proceso de desorción en el que a medida que se reduce la presión se produce la liberación de las moléculas adsorbidas. De igual manera que en la fase de adsorción, la cantidad de gas adsorbida en superficie es cuantificada mediante técnicas gravimétricas o volumétricas, según las características del equipo.

Datos primarios

La cantidad de gas adsorbido puede expresarse en cualquier unidad conveniente. Se han usado moles, gramos y centímetros en condiciones de temperatura y presión normales. Para la representación de datos se recomienda expresar la cantidad adsorbida en moles por gramo de adsorbente desgasificado (moles/g) y presentar la isoterma frente a la presión relativa de equilibrio (P/P_0), donde P_0 es la presión de saturación del adsorbible puro a la temperatura de medida.

Esta presión de saturación (P_0) puede ser:

- Introducida como dato si el usuario lo conoce con exactitud.
- Medida durante el análisis, mediante el tubo de medida de P_0

- Calculada a partir de la temperatura de análisis, por interpolación, a partir de la tabla de valores de P_0 frente a variaciones de temperatura.

Al final del análisis se han registrado dos conjuntos de datos que describen el fenómeno de adsorción y el de desorción mediante sendas isotermas. El análisis de estas isotermas ofrece una gran información sobre las características superficiales del material.

Inicialmente, los agregados fueron secados al aire y después mantenidos en desecador con sílice gel para reducción de la humedad residual. En seguida, las muestras fueran desgasificadas a 170°C hasta que el sistema alcanzó la presión de 10^{-4} Pa. El rango de presión relativa P/P_0 aplicada para obtener las isotermas de adsorción de N_2 fue de 0,00001 sobre 0,990 (Paz-Ferrero et al., 2013). Dependiendo del horizonte del suelo, el número de puntos experimentales obtenidos en la fase de adsorción fue de 58 hasta 66, en cuanto durante la fase de desorción fueran tomados entre 54 y 60 puntos. El procedimiento de adsorción fue testado en muestras de vidrio de superficie específica conocida.

A partir de las isotermas de adsorción y de desorción de nitrógeno fueran determinadas la superficie específica y la porosidad detallada de las muestras de agregados de los suelos con base en las teorías preconizada por Brunauer, Emmett y Teller - BET. (Brunauer et al., 1938) y por Barrett, Joyner y Halanda - BJH (Barrett et al., 1951), respectivamente.

3.2.1. Método BET

El método BET fue desarrollado por Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett y Edward Teller en 1938 y tiene las iniciales de sus apellidos. Es conocido también como teoría de la adsorción multimolecular que tiene como objetivo describir la adsorción física de moléculas de un gas sobre una superficie sólida estableciendo que la superficie es recubierta por infinitas capas moleculares superpuestas y sirve como base para técnicas de análisis de área superficial específica de materiales diversos.

El equipamiento utilizado para los análisis de área de superficie específica realiza las medidas a partir de la determinación del volumen del gas adsorbido en la superficie de la muestra. Como la adsorción es relacionada a fuerzas de interacción molecular flojas entre el adsorbato (moléculas de gas) y el adsorbente (sólido), se proceden a las medidas de nitrógeno líquido adicionando cantidades conocidas de nitrógeno a una

presión relativa conocida en sucesivas etapas. Así, se para presiones crecientes el sistema va alcanzando sucesivas condiciones de equilibrio. Durante toda la experiencia se monitorean las variaciones de presión (P). Cuando se alcanza la presión de saturación, ya no se aprecia aumento de adsorción relacionada a la presión. Sucesivas capas de adsorción se irán formando hasta que P_0 se iguala a la presión de saturación. Entonces, la muestra se retira de la atmósfera de nitrógeno y se prepara para que tenga lugar la desorción, siendo cuantificadas las moléculas de nitrógeno adsorbidas. Los datos se representan como isothermas relacionando el volumen de gas adsorbido (v) frente a la presión relativa P/P_0 .

Por tanto, las isothermas de adsorción y desorción son curvas en diagramas XY donde en el eje de las ordenadas representa la cantidad en volumen de gas adsorbido (cm^3g^{-1}) y en el eje de las abscisas, la presión de equilibrio (p/p_0), que varía entre 0 y 1, siendo P_0 es la presión de saturación a la cual el gas se transforma en líquido a la temperatura de la isoterma .

Para desarrollar el modelo BET se postuló una situación de equilibrio en la cual la velocidad a la que las moléculas que llegan de la fase gaseosa y se condensan en los sitios disponibles es igual a la velocidad a la que las moléculas se evaporan de los sitios ocupados. El método se basa en evaluar el momento en que se obtiene un equilibrio entre la velocidad de condensación de moléculas de gas en una capa ya adsorbida y la velocidad de evaporación de esta capa, y considerando un número infinito de capas.

Fue determinada la superficie específica para cada una de las 132 muestras, pero, para la presentación de isothermas, estudio de porosidad y análisis multifractal fueron seleccionadas cuatro perfiles, un para cada clase de suelo encontrada en la región serrana de Santa Catarina. En estos perfiles fueron escogidos su horizonte superficial, A y su horizonte subsuperficial y diagnóstico de la clase (Bw para el ferralsol, Bt para el Alisol y para el Nitisol y Bi para el Cambisol).

A partir da la ecuación BET fueran generadas, para cada horizonte seleccionado, graficas relacionando $P/V_a \cdot (P_0 - P)$ y P/P_0 al volumen de gas adsorbido y V_m la capacidad de monocapa expresada en términos de volumen, que es semejante a una recta del tipo $y = a + bx$ dentro del rango de presión relativa comprendido entre 0,05 - 0,3. A partir de estas graficas fue posible obtenerse los valores de la capacidad de monocapa (V_m) y del parámetro C de la ecuación BET por las ecuaciones 3a y 3b.

Finalmente, la superficie específica total de la muestra (SSA) fue calculada por ecuación 4.

3.2.2. Diagrama-t

A partir de cada isoterma generada para los horizontes seleccionados, fue generado un diagrama-t que es una isoterma estándar de referencia utilizada tanto para fines de comparación con la isoterma de experimental como para evaluar la micro y la mesoporosidad presente en las muestras. Para que se pueda proceder a tal comparación es necesario expresar las isotermas en unidades normalizadas. Así, de acuerdo con Santiago (2012), se debe considerar: a) n/A = la cantidad de nitrógeno adsorbida (n) por unidad de área (A), b) n/n_m = monocapas estadísticas, o sea cantidad de nitrógeno adsorbida (n) dividido entre la capacidad de monocapa (n_m) y c) $t = \delta/\delta_m$ = Espesor estadístico de la capa adsorbida donde δ es el espesor de una monocapa.

Las isotermas son comparadas representándose la cantidad de gas adsorbido en función de t en el eje de las abscisas en sustitución a P/P_0 . Por tanto, el modelo del diagrama-t se basa en la construcción de la curva t , que refleja la cantidad adsorbido en el sólido no poroso en función de t , el espesor estadístico de la capa adsorbida, calculado según la siguiente expresión (ISO 15901-2).

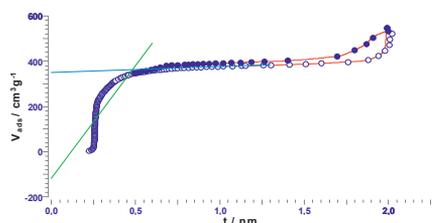


Figura 43. Ejemplo de diagrama-t

Este método permite evaluar tanto el área de superficie específica (a_s), como el volumen de microporos (V_{micro}), que puede deducirse a partir de la intersección en el eje de ordenadas (figura 43)

Se asume que la densidad del nitrógeno en los microporos es igual a la densidad del nitrógeno líquido.

Mediante el factor 0,0015468 convierte el volumen del nitrógeno en condiciones estándares en el correspondiente volumen de líquido. De esta forma, V_{micro} puede ser considerado un volumen de microporosidad efectiva, asumiendo que la densidad del nitrógeno en los microporos no debería ser igual a la densidad del líquido. La figura 43 es un ejemplo del diagrama-t

3.2.3. Método BJH

En función de la naturaleza físico-química del material y del rango de porosidad, es posible, a partir de las isotermas de adsorción de nitrógeno, evaluar la morfología, la conectividad y la distribución de tamaño de los poros por el método preconizado por Barrett, Joyner y Halanda - BJH (Barrett et al., 1951). El método utiliza la ecuación de Kelvin y asume el vaciamiento progresivo de los poros llenos de líquido por con la reducción de la presión. El BJH puede ser utilizado tanto en la rama de adsorción como en la de desorción de la isoterma, desde que la reducción de la presión se inicie en el punto donde los poros sean considerados totalmente llenos, lo que suele ocurrir para P/P_0 igual a 0,95, o sea, en una presión igual a 95% de la presión de saturación. La cantidad de adsorbato evaporada a cada reducción de la presión después de la conversión del volumen de gas para volumen de líquido, representa el volumen de poros sin considerar la película absorbente de las paredes del sólido (Santiago, 2012).

A partir de la ecuación $r_m = r_k - t$ para poros cilíndricos, conociéndose el valor de t y r_m se puede obtener el valor del radio del poro r_k a través de la ecuación de Kelvin. Para cada reducción de presión se puede relacionar el volumen del poro con su diámetro e , con varios puntos se obtiene un diagrama de volumen de poros (cm^3g^{-1}) versus diámetro de poro (nm).

3.3. Análisis Multifractal

Para proceder al análisis multifractal fueran elegidos cuatro perfiles para representar la totalidad de los suelos estudiados: un de los Ferralsols (P8), uno de los Nitisoles (P6), el Alisol (P1) y el Cambisol (P7). De todos fueran seleccionados los horizontes superficiales y su horizonte diagnóstico para los análisis multifractales. En cada uno de ellos fueran determinadas los espectro de singularidad $f(\alpha)$ y los espectro de dimensiones generalizadas $D(q)$, de acuerdo con lo discutido en la sección anterior.

3.4. Análisis de componentes principales

Las características de los suelos fueran relacionadas con la superficie específica y evaluadas en función de su respuesta, seleccionando aquellas más significativa. Para ello fue utilizado el Análisis de Componentes Principales (ACP), siguiendo los criterios de selección utilizados por Maddoni et al. (1999), Schipper y Sparling (2000) y Govaerts et al. (2006).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Caracterización general de los suelos

Los suelos analizados fueran caracterizados en relación al ambiente donde se encuentran y también cuanto sus características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas. Estos datos, como fue explicado anteriormente, fueran obtenidos por ocasión de la Reunión Brasileña de Correlación y Clasificación de Suelos. Los resultados están organizados por perfil de suelo y se encuentran en el anexo 1. De una manera general, algunas de estas informaciones fueran discutidas en el ítem 2 - Estado del Arte, por tratarse de datos que no fueran generados para este trabajo.

Sin embargo, algunas características de los suelos estudiados son discutidas en este ítem por presentaren relaciones con la superficie específica y con la porosidad encontrada en los microporos. Los datos de densidad del suelo (global o aparente), densidad de partículas (densidad real) y el cálculo de la porosidad total fueran determinados para este estudio con muestras recolectadas durante la excursión.

Los suelos de la región serrana de Santa Catarina se encuentran clasificados como Ferralsoles, Alisoles, Nitisoles y Cambisoles. Los resultados presentados y discutidos sobre ellos seguirán esta secuencia por ser una orden decreciente de desarrollo de suelos.

4.1.1. Ferralsoles

Los Ferralsoles presentan un avanzado estadio de meteorización, están caracterizados por cierta uniformidad entre sus horizontes superficial y subsuperficial (Bw) en lo que respecta sobre todo al color y a la granulometría. Su estructura se presenta como granular, de fuerte pequeña a muy pequeña (micro estructura) o moderada en bloques subangulares con grand estabilidad de agregados, con arcilla con elevado grado de floculación. Tales característica influencian otras propiedades como densidad y porosidad, que reflectan directamente en la superficie específica de los agregados y del suelo como un todo. (Oliveira, 2008).

El suelo estudiado en el perfil 8 es un Ferralsol derivado de roca efusiva acida (Dacita). El perfil 10 representa un Ferralsol que tiene como material de partida el basalto. Entre

ellos se puede observar valores mayores de porosidad total y contenido de arcilla en el perfil derivado de basalto, mientras el perfil 8 presenta valores mayores de carbono orgánico. Los valores de porosidad se encuentran superiores a 40%, lo que garantiza a estos suelos tanto buen drenaje interno como buena retención de agua en todo su perfil (tablas 27 y 28).

Tabla 27 - Características seleccionadas los perfiles de Ferralsoles derivado de dacita

| Perfil | Horizonte | Profundidad cm | Carbono | | | Densidad del Suelo | Densidad de Partículas | Porosidad Total |
|--------|-----------|-------------------|-------------------|---------|------|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| | | | orgánico | Arcilla | Limo | | | |
| | | | gkg ⁻¹ | | | g/cm ³ | | % |
| 8 | A1 | 0-30 | 47,7 | 644 | 304 | 1,28 | 2,13 | 39,91 |
| | A2 | 30-71 | 22,4 | 682 | 266 | 1,26 | 2,17 | 41,94 |
| | AB | 71-80 | 17,7 | 722 | 230 | 1,22 | 2,23 | 45,29 |
| | BA | 80-94 | 13,5 | 715 | 232 | 1,36 | 2,42 | 43,80 |
| | Bw1 | 94-123 | 7,1 | 715 | 236 | 1,31 | 2,41 | 45,64 |
| | Bw2 | 123-174 | 4,7 | 714 | 217 | 1,39 | 2,51 | 44,62 |

Tabla 28 - Características seleccionadas los perfiles de Ferralsoles derivado de basalto

| Perfil | Horizonte | Profundidad cm | Carbono | | | Densidad del Suelo | Densidad de Partículas | Porosidad Total |
|--------|-----------|-------------------|-------------------|---------|------|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| | | | orgánico | Arcilla | Limo | | | |
| | | | gkg ⁻¹ | | | g/cm ³ | | % |
| 10 | A1 | 0-13 | 3,0 | 640 | 340 | 1,22 | 2,35 | 48,09 |
| | A2 | 13-35 | 2,2 | 830 | 150 | 1,27 | 2,50 | 49,20 |
| | AB | 35-50 | 1,4 | 850 | 140 | 1,28 | 2,64 | 51,52 |
| | BA | 50-71 | 1,3 | 880 | 110 | 1,30 | 2,59 | 49,81 |
| | Bw1 | 71-98 | 0,7 | 830 | 160 | 1,41 | 2,62 | 46,18 |
| | Bw2 | 98-220 | 0,4 | 810 | 180 | 1,41 | 2,65 | 46,79 |

4.1.2. Alisoles

Este tipo de suelo presenta como principal característica fuerte gradiente textural entre el horizonte superficial y el horizonte subsuperficial B rico en arcilla iluvial conocido como horizonte B textural (Bt). Tal gradiente promueve diferentes condiciones de

drenaje y de retención de agua lo que resulta en condiciones de lluvias fuertes a drenaje lateral intenso sometiendo suelos de este tipo a erosión (Luz, 2004).

La tabla 29 presenta las características del perfil de Alisol derivado de rocas sedimentarias (arcillita y lutita) descripto, muestreado y analizado en el perfil 1. Este suelo presenta cantidades de arcilla creciente en profundidad y cantidades de limo bien más altas que los Ferralsoles, lo que marca su menor desarrollo. Su horizonte superficial presenta textura media, mientras el horizonte Bt presenta textura arcillosa. En el horizonte de transición BA, subyacente al horizonte de acumulación Bt, la densidad del suelo presenta un aumento significativo en γ , por lo tanto, ocurre una reducción apreciable en la porosidad, lo que puede ser entendido como un resultado de la diferencia textural entre los dos horizontes lo que conlleva a infiltración del agua diferenciada, originando cierta compactación.

Tabla 29 - Características seleccionadas del perfil de Alisol.

| Perfil | Horizonte | Profundidad cm | Carbono | | | Densidad | Densidad | Porosidad |
|--------|-----------|-------------------|--------------------|---------|------|-----------------------|------------------|-----------|
| | | | orgánico g/kg-1 | Arcilla | Limo | del Suelo g/cm3 | de Partículas | Total |
| 1 | A1 | 0-13 | 30,4 | 390 | 325 | 1,26 | 2,02 | 37,62 |
| | A2 | 13-31 | 17,7 | 431 | 291 | 1,18 | 2,15 | 45,12 |
| | AB | 31-55 | 16,2 | 451 | 247 | 1,24 | 2,39 | 48,12 |
| | BA | 55-70 | 11,5 | 472 | 250 | 1,41 | 2,30 | 38,70 |
| | Bt1 | 70-93 | 8,5 | 514 | 258 | 1,37 | 2,44 | 43,85 |
| | Bt2 | 93-132 | 4,3 | 450 | 230 | 1,57 | 2,47 | 36,44 |

4.1.3. Nitisoles

Los Nitisoles son suelos caracterizados principalmente por la ocurrencia de horizonte subsuperficial B nítico de textura arcillosa o mucho arcillosa, sin incremento significativo de arcilla en relación al horizonte superficial. Los Nitisoles se presentan bien estructurados con cútanos de arcilla, también conocidos como arcillanes, resultado del proceso de iluviación que revisten las paredes de los macroporos marcando estos suelos por un aspecto brillante entre los fragmentos de la estructura y en los agregados

de estos suelos. Sus características garantizan buenas condiciones de permeabilidad interna (Oliveira, 2008).

Siete perfiles de Nitisol fueran estudiados, cinco de ellos derivados de basalto y dos otros de rocas efusivas acidas (dacita y riódacita). Los contenidos de arcilla y limo así como los valores de porosidad se presentan poco diferenciados cuando comparados los suelos derivados de material de partida distintos, alcanzando valores superiores a 50%.

En todos los perfiles se observa aumento de arcilla con bajo gradiente textural en profundidad y porosidad total elevada. Se puede destacar el contenido de carbono orgánico elevado tanto superficialmente como en profundidad en el Perfil 9 , suelo derivado de roca efusiva ácida (tabla 30) y valores de arcilla superiores a 800 gkg-1 y porosidad total superior a 55% en el perfil 5, derivado de basalto (tabla 31).

Tabla 30 - Características de los perfiles de Nitisol derivados de rocas efusivas acidas (dacita y riódacita).

| Perfil | Horizonte | Profundidad cm | Carbono | Arcilla | Limo | Densidad | Densidad | Porosidad |
|--------|-----------|-------------------|-------------------|---------|------|--------------------------------|---------------|------------|
| | | | orgánico gkg-1 | | | del Suelo gcm ⁻³ | de Partículas | Total % |
| 9 | A1 | 0-21 | 32,80 | 676 | 220 | 1,27 | 2,16 | 41,20 |
| | A2 | 21-34 | 23,70 | 676 | 242 | 1,23 | 1,91 | 35,60 |
| | AB | 34-66 | 16,35 | 716 | 208 | 1,32 | 2,75 | 52,00 |
| | BA | 66-86 | 11,30 | 717 | 242 | 1,34 | 2,47 | 45,75 |
| | Bt1 | 86-130 | 8,60 | 723 | 209 | 1,37 | 2,78 | 50,72 |
| | Bt2 | 130-159 | 5,80 | 703 | 227 | 1,47 | 2,52 | 41,67 |
| 11 | A1 | 0-16 | 37,0 | 682 | 289 | 1,16 | 2,37 | 51,05 |
| | A2 | 16-32 | 35,7 | 741 | 237 | 1,18 | 2,48 | 52,42 |
| | AB | 32-43 | 24,0 | 762 | 220 | 1,26 | 2,58 | 51,16 |
| | BA | 43-62 | 19,2 | 782 | 200 | 1,37 | 2,54 | 46,06 |
| | Bt1 | 62-87 | 15,0 | 807 | 173 | 1,37 | 2,59 | 47,10 |
| | Bt2 | 87-106 | 10,2 | 800 | 182 | 1,33 | 2,56 | 48,05 |

Tabla 31 - Características de los perfiles de Nitisol derivados de basalto

| Perfil | Horizonte | Profundidad cm | Carbono | | | Densidad del Suelo | Densidad de Partículas gcm ⁻³ | Porosidad Total % |
|--------|-----------|-------------------|----------|---------|------|-----------------------|--|-------------------------|
| | | | orgánico | Arcilla | Limo | | | |
| 2 | A | 0-17 | 31,9 | 663 | 256 | 1,26 | 2,57 | 50,97 |
| | AB | 17-43 | 21,2 | 682 | 211 | 1,25 | 2,59 | 51,74 |
| | BA | 43-63 | 14,1 | 722 | 189 | 1,36 | 2,62 | 48,09 |
| | Bt1 | 63-94 | 7,3 | 723 | 201 | 1,37 | 2,66 | 48,50 |
| | Bt2 | 94-127 | 4,9 | 702 | 212 | 1,44 | 2,60 | 44,62 |
| | Bt3 | 127-146 | 4,2 | 702 | 214 | 1,4 | 2,61 | 46,36 |
| 3 | A | 0-15 | 22,8 | 659 | 220 | 1,22 | 2,36 | 48,31 |
| | AB | 15-32 | 16,5 | 639 | 242 | 1,25 | 2,57 | 51,36 |
| | BA | 32-64 | 11,3 | 639 | 231 | 1,33 | 2,53 | 47,43 |
| | Bt1 | 64-90 | 9,6 | 640 | 216 | 1,34 | 2,52 | 46,83 |
| | Bt2 | 90-152 | 5,2 | 724 | 171 | 1,34 | 2,52 | 46,83 |
| | Bt3 | 152-230 | 3,4 | 682 | 192 | 1,35 | 2,52 | 46,43 |
| 4 | A1 | 0-7 | 110,4 | 609 | 328 | 0,84 | 2,28 | 63,16 |
| | A2 | 13-19 | 45,7 | 659 | 302 | 1,24 | 2,53 | 50,99 |
| | AB | 19-28 | 22,5 | 721 | 253 | 1,34 | 2,50 | 46,40 |
| | BA | 28-46 | 17,9 | 742 | 223 | 1,36 | 2,49 | 45,38 |
| | Bt1 | 46-74 | 13,3 | 778 | 196 | 1,43 | 2,53 | 43,48 |
| | Bt2 | 74-145 | 5,4 | 799 | 177 | 1,43 | 2,64 | 45,83 |
| 5 | A1 | 0-10 | 21,3 | 697 | 237 | 1,24 | 2,46 | 49,59 |
| | A2 | 13-23 | 17,5 | 698 | 251 | 1,04 | 2,38 | 56,30 |
| | AB | 23-43 | 14,6 | 739 | 212 | 1,29 | 2,68 | 51,87 |
| | BA | 43-65 | 13,4 | 781 | 182 | 1,21 | 2,72 | 55,51 |
| | Bt1 | 65-95 | 9,6 | 800 | 159 | 1,31 | 2,70 | 51,48 |
| | Bt2 | 95-130 | 5,4 | 821 | 155 | 1,33 | 2,72 | 51,10 |
| 6 | A | 0-13 | 37,2 | 621 | 259 | 1,29 | 2,27 | 43,17 |
| | AB | 13-26 | 33,1 | 644 | 229 | 1,29 | 2,47 | 47,77 |
| | BA | 26-43 | 21,3 | 664 | 222 | 1,38 | 2,45 | 43,67 |
| | Bt1 | 43-84 | 12,5 | 664 | 232 | 1,44 | 2,68 | 46,27 |
| | Bt2 | 84-134 | 8,7 | 623 | 242 | 1,46 | 2,68 | 45,52 |
| | Bt3 | 134-158 | 4,6 | 392 | 441 | 1,42 | 2,48 | 42,74 |

4.1.4. Cambisoles

Los Cambisoles son caracterizados por la presencia de horizonte B incipiente (Bi), que sufrió alteraciones físicas y químicas en grado no muy avanzado, pero suficiente para garantizar el desarrollo de características como color y estructura. Presentan bajo gradiente textural y presentan baja relación limo/arcilla (Oliveira, 2008).

El perfil de Cambisol que fue seleccionado para este estudio, presenta, como es de la naturaleza de esta clase de suelo, los contenidos de limo altos, por veces superando los de arcilla. Su porosidad es elevada, alcanzando valores superiores a 50% en los horizontes superficiales ricos en materia orgánica y superiores a 40% en los horizontes subsuperficiales (tabla 32). Su difractograma (anexo 1) muestra picos de vermiculita, arcilla expansiva, común en los Cambisoles.

Tabla 32 - Características del Cambisol relacionadas a la superficie específica.

| Perfil | Horizonte | Profundidad cm | Carbón | | | Densidad del Suelo | Densidad de Partículas | Porosidad total |
|--------|-----------|-------------------|----------|-------------------|------|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| | | | orgánico | Arcilla | Limo | | | |
| | | | | gkg ⁻¹ | | g/cm ³ | % | |
| 7 | A1 | 0-13 | 52,1 | 517 | 450 | 1,03 | 2,08 | 50,48 |
| | A2 | 13-29 | 24,0 | 515 | 415 | 1,07 | 2,24 | 52,23 |
| | AB | 29-38 | 19,1 | 515 | 423 | 1,29 | 2,42 | 46,69 |
| | Bi | 38-52 | 17,0 | 475 | 324 | 1,36 | 2,41 | 43,57 |
| | BCr | 52-60 | 12,3 | 309 | 415 | 1,37 | 2,42 | 43,39 |
| | Cr | 60-115 | 2,9 | 264 | 658 | 1,30 | 2,21 | 41,18 |

4.2. Superficie específica

Se determinó la superficie específica por duplicado en agregados de todos los horizontes muestreados en los sucesivos perfiles estudiados. Los resultados encontrados, considerando la media entre las repeticiones se presentan en la tabla 33 separados cuanto a su clasificación y su material parental, analizados por el método BET y por el método comparativo del diagrama-t. Así es posible apreciar toda la variación entre los suelos y entre perfiles de los suelos de misma clasificación. También se puede observar la variación que ocurre en profundidad y entre los dos métodos. La superficie total del suelo en sus horizontes tendría que considerar la superficie específica entre los agregados.

Debido al grande número de imágenes para presentar los resultados de estas análisis, fueran elegidos cuatro perfiles, representando la totalidad de los suelos: Ferralsol (Perfil 8), Alisol (Perfil 1), Nitisol (Perfil 6) y Cambisol (Perfil 7). De todos ellos fueran seleccionados los horizontes superficiales (A) y un horizonte diagnóstico, (Bw - Ferralsol, Bt - Alisol y Nitisol, Bi - Cambisol). De cada uno, están presentadas las isotermas de adsorción y de desorción de nitrógeno, las líneas BET y el diagrama-t. Los análisis multifractales de superficie específica determinada por el método BET (Brunauer et al., 1938) y la determinación de porosidad detallada de los agregados determinada por el método BJH (Barrett et al., 1951) basada también en las isotermas están discutidas sobre estos perfiles en sus horizontes en secuencia.

Los datos que determinaran las isotermas de adsorción y de desorción de nitrógeno correspondiente a estos horizontes se encuentran en tablas del anexo 2.

Las curvas encontradas en los análisis de la superficie específica por el método BET son todas del tipo IV, presentando histéresis entre las curvas de adsorción y desorción, característica de este tipo de curva, común en análisis de agregados de suelos y materiales semejantes. A pesar de ser del mismo tipo, las curvas presentaran diferencias significativas entre los suelos y, dentro de estos, entre sus horizontes superficial y subsuperficial, lo que se puede apreciar por la magnitud del volumen de nitrógeno adsorbido, representado en el eje de las abscisas que tuvieron sus valores variando en los horizontes superficiales entre $40 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ (Alisol) y $100 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ (Ferralsol) y en los horizontes subsuperficiales entre de $80 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ en el los horizontes Bt del Alisol y Bi del Cambisol hasta $140 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ en el horizonte Bt del Nitisol, valores directamente relacionados al cálculo de la superficie específica e de la porosidad.

Las líneas BET son presentadas en secuencia a las isotermas de los horizontes seleccionados. Estas gráficas relacionan $P/V_{\text{ads}}(p_0-p) \times p/p_0$, resultando en una recta que del tipo "y = a + bx" en el rango de presión relativa 0,05-0,30, cuyo valor de la inserción en el eje de las ordenadas (a) debe ser positivo e igual a $1/V_m C$, que es el inverso del volumen de la monocapa multiplicado pelo parámetro C del modelo BET. Tal gráfica es necesaria para la determinación de la capacidad de monocapa (V_m) y del parámetro C, datos fundamentales para el cálculo del área de superficie específica.

El diagrama-t, que es presentado en secuencia a las líneas BET, es una isoterma estándar de referencia utilizada tanto para fines de comparación con la isotermas

experimentales como para evaluar la micro y la mesoporosidad presente en las muestras (Santiago, 2012). La isoterma BET y el diagrama-t son comparadas representándose la cantidad de gas adsorbido en función de t en el eje de las abscisas en sustitución a p/p0, siendo t el espesor estadístico de la capa adsorbida donde δ es el espesor de una monocapa t es calculado por la expresión:

$$t = \left(\frac{n}{n_m} \right) \delta$$

Donde n/n_m son monocapas estadísticas, o sea cantidad de nitrógeno adsorbida (n) dividido entre la capacidad de monocapa (n_m).

Considerando el nitrógeno a 77°K y asumiendo un empaquetado hexagonal compacto del líquido adsorbato, con una densidad aproximada de 0,807 gcm⁻³, área de la sección molecular, $a_m=0,162$ nm² y espesor de monocapa, $\delta t = 0,354$ nm, para todos los horizontes seleccionados se obtuvo una regresión lineal $R > 0,99$. Entre los dos métodos, se observa que las menores diferencias fueron encontradas en los horizontes que presentan menores valores de arcilla y también los menores valores de superficie específica y los mayores fueron encontrados en los perfiles con mayores contenidos de arcilla y con arcillas expansivas que, por lo tanto, presentarían mayores valores de superficie específica.

Los menores valores de superficie específica de los agregados fueron encontrados Alisol (20,1 m²g⁻¹), sobretodo en el horizonte superficial (Perfil 1). Este es el perfil que presenta los menores valores de arcilla entre los suelos estudiados, sobretodo en su horizonte superficial. En profundidad se observa aumento de los valores de superficie específica en el horizonte Bt, que alcanza 48,3 m²g⁻¹, o sea, más del doble del horizonte A, relacionado al fuerte gradiente textural, característico de este suelo.

Analizando los perfiles de Ferralsol se observa que el perfil derivado de basalto presenta mayores valores de superficie específica cuando comparado al derivado de roca efusiva ácida. El aumento de arcilla en profundidad marca el aumento de la superficie específica que es más gradual en este suelo que en el Alisol debido al bajo gradiente textural de los Ferralsoles.

Entre los Nitisoles se observa que algunos perfiles derivados de basalto presentan valores semejantes a los perfiles derivados de roca efusiva ácida. Otros presentan

valores superiores que aumentan en profundidad con el aumento de los contenidos de arcilla también de manera gradual. Destaque especial para el perfil 6 que presenta los mayores valores encontrados en este estudio, llegando a alcanzar más de $100 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ en los horizontes Bt, facto que debe estar relacionado a presencia de arcillas expansivas, observadas en este perfil a partir de análisis mineralógicas, como muestra el difractograma que puede ser encontrado en el anexo 1.

El Cambisol, presentó valores crecientes en profundidad, acompañado los aumentos de arcilla en su perfil entre los horizontes superficiales y el horizonte Bi que decrecieran donde la matriz del suelo se mezcla con el material parental en los horizontes BCr y casi fue reducida a mitad donde se alcanzó el material de partida mezclado con la roca el horizonte Cr.

Los datos de superficie específica observados en los perfiles cuando relacionado sus horizontes superficial y subsuperficial, aportan informaciones importantes en lo que respecta a la dinámica suelo-agua en estos suelos, relacionados a características como retención, infiltración y drenaje. Estos datos, relacionados a los del análisis detallada de la porosidad de los agregados, amplían el entendimiento tanto en la capacidad de almacenamiento de agua en la matriz de estos suelos, como en las condiciones de drenaje interno y lateral de ellos, informaciones de capital importancia para la agricultura y para la preservación ambiental.

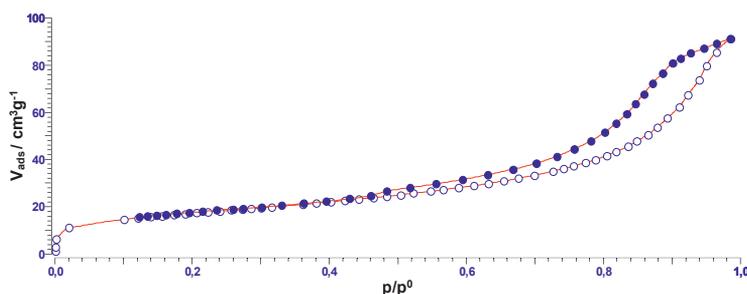


Figura 44 - Isotermas de adsorción y desorción de nitrógeno en muestras de agregados del horizonte A1 del perfil 8 - Ferralsol.

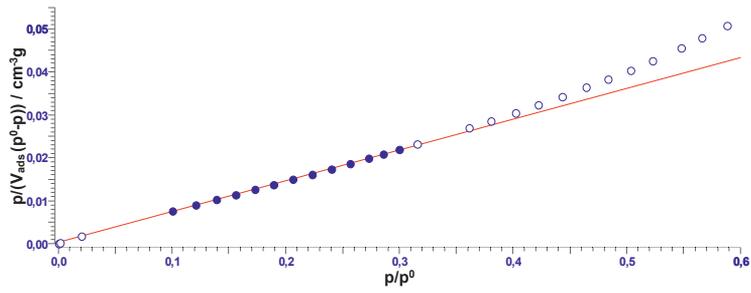


Figura 45 - Línea BET del horizonte A del perfil 8 - Ferralsol

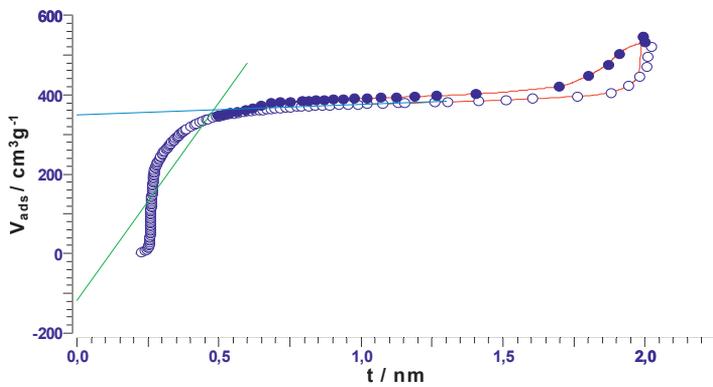


Figura 46 - Diagrama-t del horizonte A del perfil 8 - Ferralsol

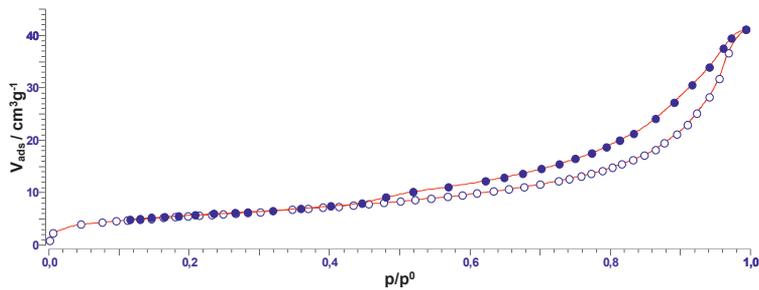


Figura 47 - Isothermas de adsorción y desorción de nitrógeno en muestras de agregados del horizonte Bw1 del perfil 8 - Ferralsol.

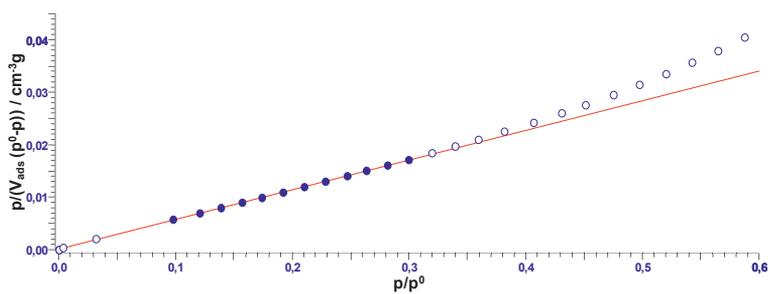


Figura 48 - Línea BET del horizonte Bw del Perfil 8 - Ferralsol

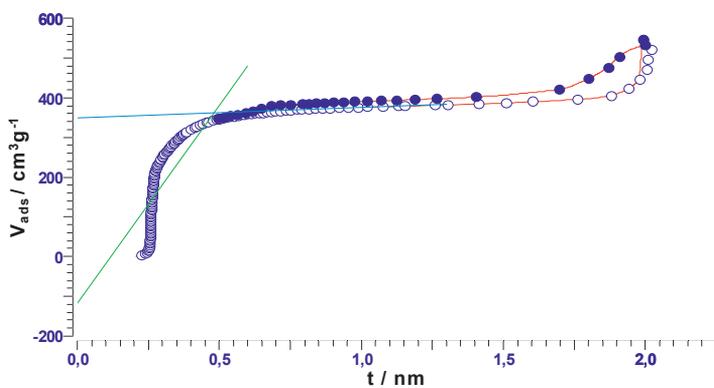


Figura 49 - Diagrama-t del horizonte Bw del Perfil 8 - Ferralsol

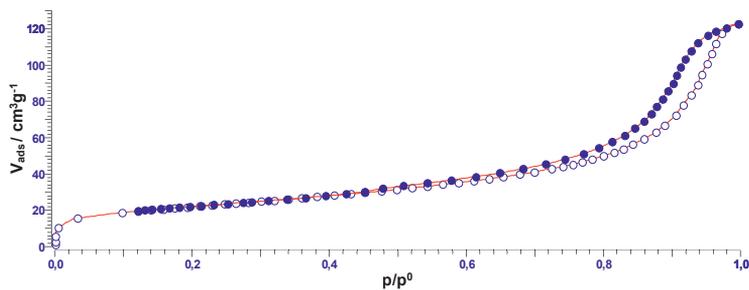


Figura 50 - Isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno de las muestras de agregados del horizonte A del Perfil 1 – Alisol

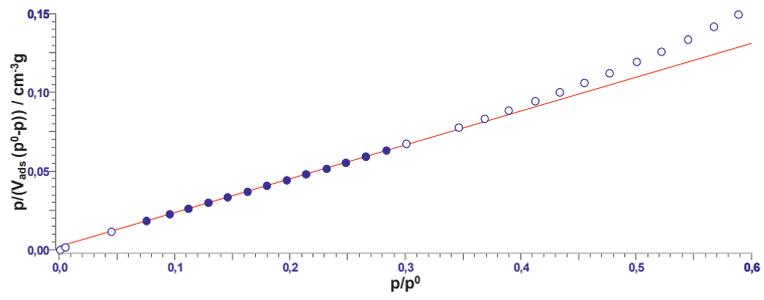


Figura 51 - Línea BET del horizonte A del Perfil 1 - Alisol

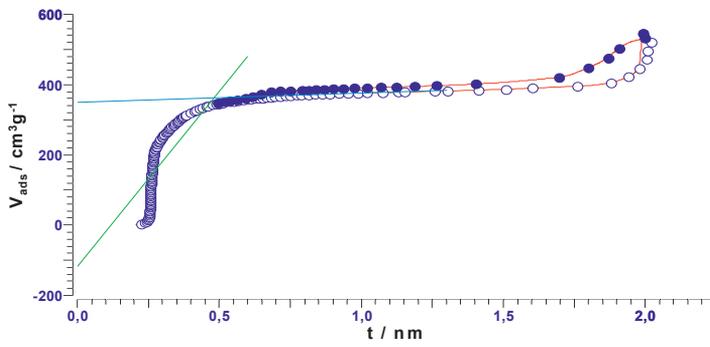


Figura 52 - Diagrama-t del horizonte A del Perfil 1 - Alisol.

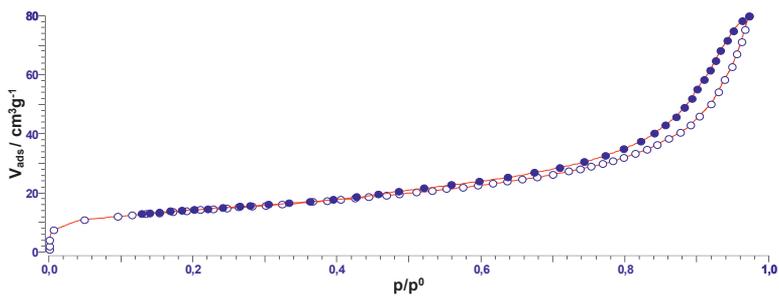


Figura 53 - Isotermas de adsorción y de desorción de nitrógeno del horizonte Bt del perfil 1 - Alisol.

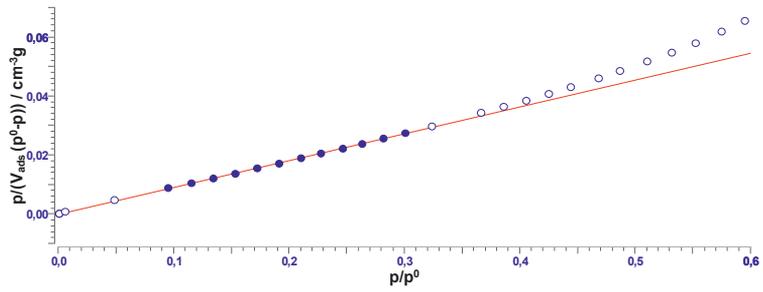


Figura 54 - Línea BET del horizonte Bt del Perfil 1 - Alisol.

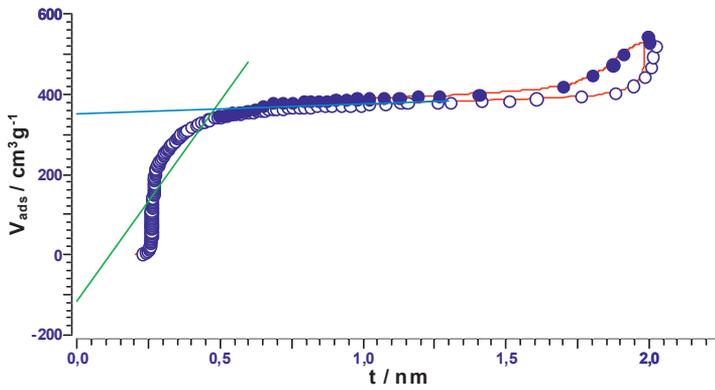


Figura 55 - Diagrama-t del horizonte Bt del Perfil 1 - Alisol.

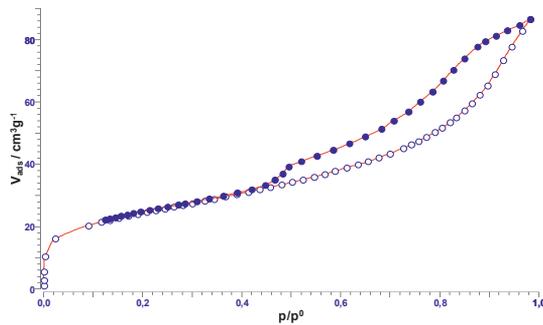


Figura 56 - Isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno del horizonte A del perfil 6- Nitisol.

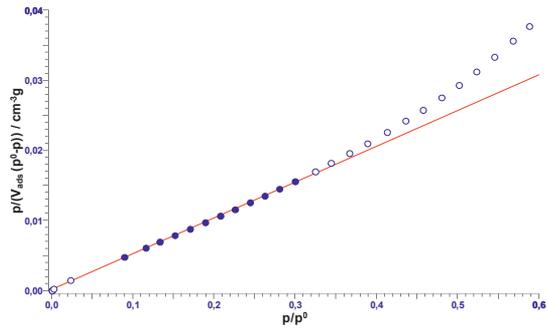


Figura 57 - Línea BET del horizonte A del perfil 6- Nitol.

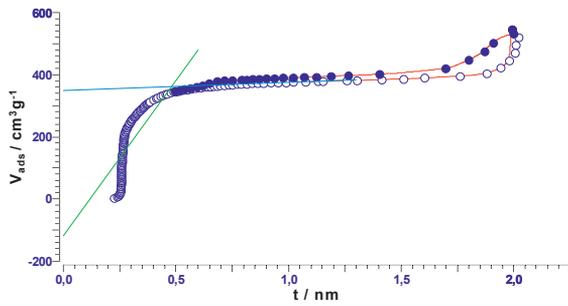


Figura 58 - Diagrama-t del horizonte A del perfil 6- Nitol.

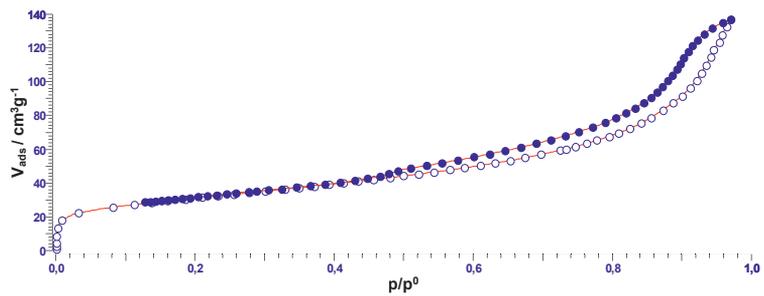


Figura 59 - Isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno del horizonte Bt del perfil 6- Nitol.

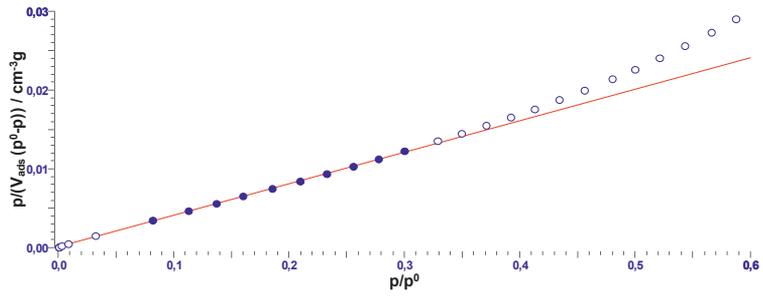


Figura 60 - Línea BET del horizonte A del perfil 6- Nitisol.

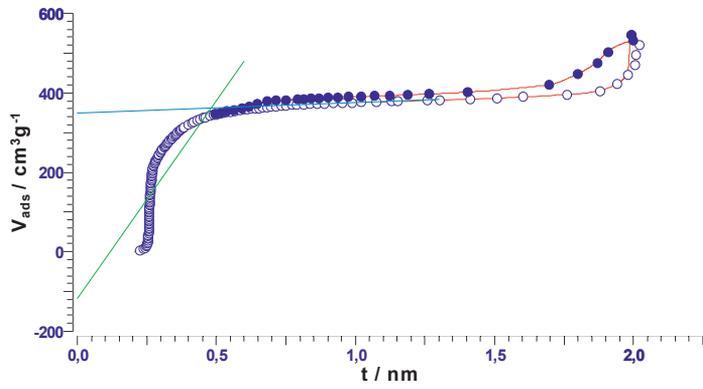


Figura 61 - Diagrama-t del horizonte Bt del perfil 6- Nitisol.

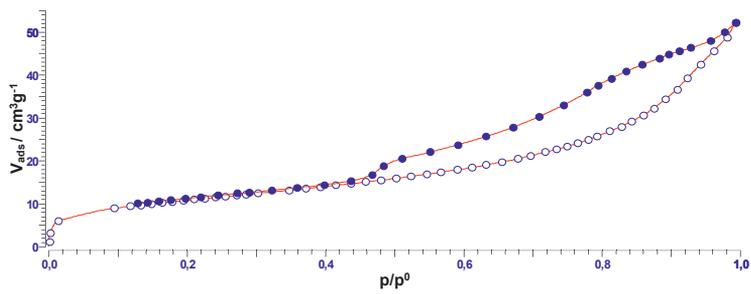


Figura 62 - Isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno del horizonte A del perfil 7- Cambisol.

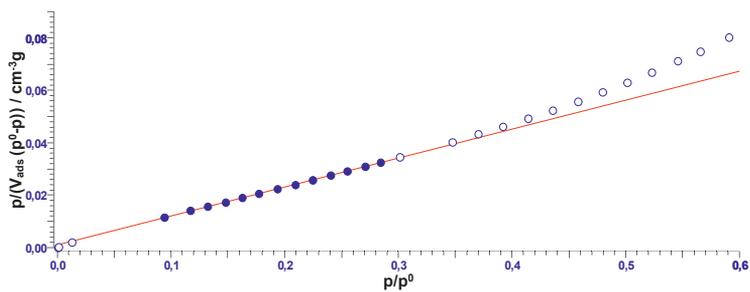


Figura 63 - Línea BET del horizonte A del perfil 7 -Cambisol.

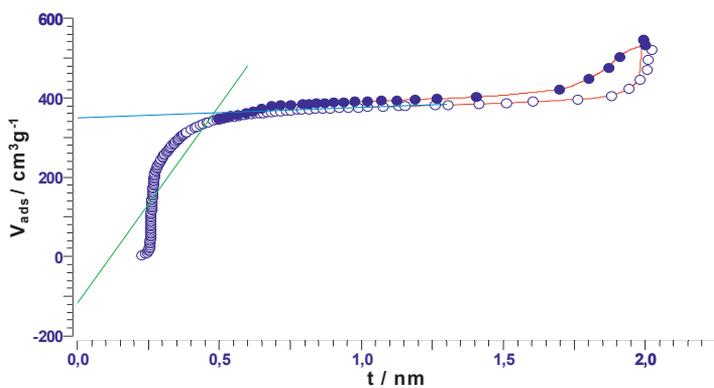


Figura 64 - Diagrama-t del horizonte A del perfil 7 - Cambisol.

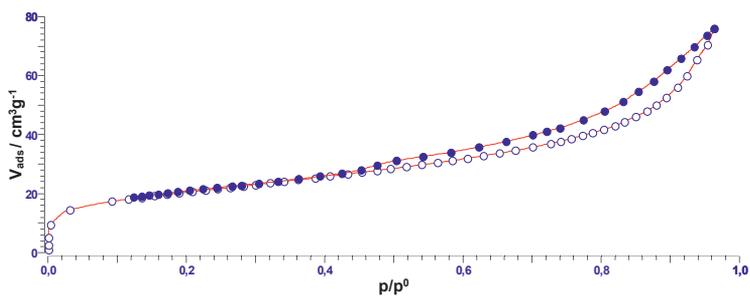


Figura 65 - Isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno del horizonte Bi del perfil 7 - Cambisol.

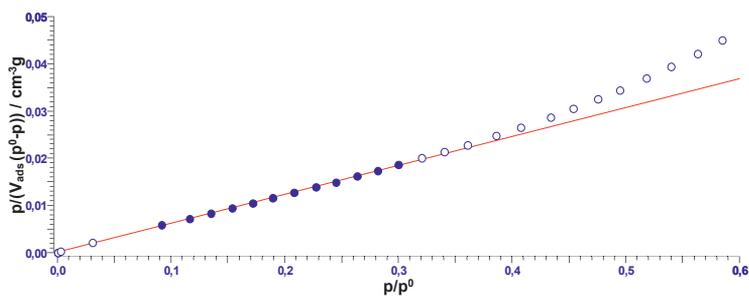


Figura 66 - Línea BET del horizonte Bi del perfil 7 - Cambisol.

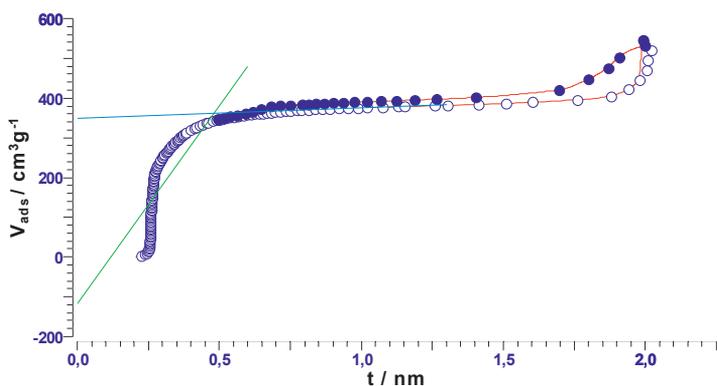


Figura 67 - Diagrama-t del horizonte Bi del perfil 7 - Cambisol.

Tabla 33 - Superficie específica de los agregados de los suelos analizados por el método BET (SE_{BET}) y por el método del diagrama-t (SE_{part-t}).

| Suelo | Material de Partida | Perfil | Horizonte | Profundidad cm | SE_{BET} m^2g^{-1} | SE_{part-t} m^2g^{-1} |
|-----------|---------------------|--------|-----------|----------------|---------------------------|------------------------------|
| Ferralsol | Dacita | 8 | A1 | 0-30 | 60,6 | 54,6 |
| | | | A2 | 30-71 | 71,5 | 64,2 |
| | | | AB | 71-80 | 74,1 | 67,3 |
| | | | BA | 80-94 | 75,2 | 68,4 |
| | | | Bw1 | 94-123 | 76,9 | 69,5 |
| | | | Bw2 | 123-174 | 69,1 | 62,6 |

| | | | | | | |
|-----------|--------------------|----|-----|---------|------|------|
| Ferralsol | Basalto | 10 | A1 | 0-13 | 64,7 | 58,6 |
| | | | A2 | 13-35 | 68,1 | 62,0 |
| | | | AB | 35-50 | 72,8 | 67,8 |
| | | | BA | 50-71 | 81,3 | 74,2 |
| | | | Bw1 | 71-98 | 85,5 | 78,3 |
| | | | Bw2 | 98-220 | 85,2 | 77,4 |
| Alisol | Arcillita y Lutita | 1 | A1 | 0-13 | 20,1 | 19,2 |
| | | | A2 | 13-31 | 32,1 | 28,3 |
| | | | AB | 31-55 | 38,2 | 34,1 |
| | | | BA | 55-70 | 45,7 | 39,5 |
| | | | Bt1 | 70-93 | 48,3 | 43,2 |
| | | | Bt2 | 93-132 | 47,3 | 43,0 |
| Nitisol | Dacita y Riodacita | 9 | A1 | 0-21 | 55,1 | 49,3 |
| | | | A2 | 21-34 | 63,8 | 58,1 |
| | | | AB | 34-66 | 76,0 | 69,5 |
| | | | BA | 66-86 | 71,0 | 64,6 |
| | | | Bt1 | 86-130 | 76,0 | 70,0 |
| | | | Bt2 | 130-159 | 78,2 | 72,1 |
| Nitisol | Dacita y Riodacita | 11 | A1 | 0-16 | 52,9 | 48,9 |
| | | | A2 | 16-32 | 57,4 | 53,1 |
| | | | AB | 32-43 | 60,3 | 55,2 |
| | | | BA | 43-62 | 64,0 | 58,2 |
| | | | Bt1 | 62-87 | 66,1 | 60,7 |
| | | | Bt2 | 87-106 | 69,8 | 64,1 |
| Nitisol | Basalto | 2 | A | 0-17 | 61,8 | 56,2 |
| | | | AB | 17-43 | 65,5 | 60,1 |
| | | | BA | 43-63 | 74,0 | 67,4 |
| | | | Bt1 | 63-94 | 77,9 | 70,8 |
| | | | Bt2 | 94-127 | 77,9 | 69,9 |
| | | | Bt3 | 127-146 | 77,6 | 70,3 |
| Nitisol | Basalto | 3 | A | 0-15 | 49,0 | 46,5 |
| | | | AB | 15-32 | 56,3 | 53,5 |
| | | | BA | 32-64 | 57,3 | 54,4 |
| | | | Bt1 | 64-90 | 60,3 | 57,1 |
| | | | Bt2 | 90-152 | 67,6 | 63,9 |
| | | | Bt3 | 152-230 | 63,3 | 59,6 |

Tabla 33 - Superficie específica de los agregados de los suelos analizados (continuación).

| Suelo | Material de Partida | Perfil | Horizonte | Profundidad cm | SE _{BET} m ² g ⁻¹ | SE _{Dact} m ² g ⁻¹ |
|----------|---------------------|--------|-----------|-------------------|---|--|
| Nitisol | Basalto | 4 | A1 | 0-7 | 59,2 | 56,1 |
| | | | A2 | 13-19 | 59,5 | 56,6 |
| | | | AB | 19-28 | 62,8 | 57,6 |
| | | | BA | 28-46 | 66,7 | 61,3 |
| | | | Bt1 | 46-74 | 71,7 | 66,0 |
| | | | Bt2 | 74-145 | 73,3 | 67,3 |
| Nitisol | Basalto | 5 | A1 | 0-10 | 50,7 | 46,9 |
| | | | A2 | 13-23 | 58,4 | 53,4 |
| | | | AB | 23-43 | 65,4 | 57,4 |
| | | | BA | 43-65 | 65,3 | 59,5 |
| | | | Bt1 | 65-95 | 69,2 | 63,7 |
| | | | Bt2 | 95-130 | 67,0 | 61,5 |
| Nitisol | Basalto | 6 | A | 0-13 | 84,9 | 76,3 |
| | | | AB | 13-26 | 90,3 | 80,3 |
| | | | BA | 26-43 | 99,8 | 88,2 |
| | | | Bt1 | 43-84 | 103,0 | 92,1 |
| | | | Bt2 | 84-134 | 108,2 | 98,3 |
| | | | Bt3 | 134-158 | 99,9 | 87,3 |
| Cambisol | Dacita | 7 | A1 | 0-13 | 38,5 | 34,3 |
| | | | A2 | 13-29 | 48,0 | 45,0 |
| | | | AB | 29-38 | 63,2 | 56,9 |
| | | | Bi | 38-52 | 70,7 | 62,9 |
| | | | BiCr | 52-60 | 70,1 | 60,5 |
| | | | Cr | 60-115 | 36,3 | 30,9 |

4.3. Porosidad

La porosidad total se presenta en las tablas en las que también se consignan las características generales de los suelos. Su valor incluye la macroporosidad, que ocurre entre los agregados de los suelos y la microporosidad, la que se encuentra en los agregados.

En el presente trabajo, los agregados fueran la unidad de estudio. A partir de ellos fueran definidas las isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno que generaran las líneas BET, los diagrama-t y la determinación de la superficie específica, así como los espectros de similaridades y de dimensiones generalizadas para su análisis multifractal.

La porosidad de los agregados, o sea, la microporosidad del suelo fue determinada por el método BJH (Barrett et al., 1951). Los poros fueran separados en clases con diámetros que variaran entre 0-3nm, 3-4nm, 4-5nm, 5-20nm, 20-100nm; 100-400nm; 400-600nm y 600-2000nm. Las gráficas que exponen la distribución de esta porosidad y los datos entablados están también expuestos para los perfiles seleccionados.

Es posible observar grande diversidad de la porosidad, tanto en lo que refiere al volumen como en términos del área que ocupan, entre los suelos y dentro de ellos entre sus horizontes superficial y subsuperficial.

Las figuras 68 y 69 muestran las curvas curvas de sorción de nitrógeno estudiadas en el rango p/p_0 entre 0,3 y 1,0 del los horizontes superficial A y del horizonte subsuperficial Bw del Ferralsol, las figuras siguientes, figuras 70 y 71, presentan las curvas de los horizontes A y Bt del Alisol, las figuras 72 y 73 muestran las curvas de los horizontes A y Bt del Nitisol y las figuras 74 y 75, presentan las curvas del los horizontes A y Bi del Cambisol. Las tablas 34 a 37 presentan la porosidad resultante de estas curvas. La tabla 38 reúne todos los datos, con el objetivo de comparar las variaciones dentro de los perfiles y entre ellos.

La porosidad detallada en rangos de poros de distintos diámetros, refleja una variedad interesante entre los perfiles y dentro de ellos cuando comparados los horizontes superficiales y subsuperficiales. Es posible observar el efecto de la materia orgánica, del contenido de arcilla y de la presencia de arcillas expansivas.

De una manera general, predominan los poros de los rangos de 5 - 20 nm y 20-100. En términos de volumen, juntos, responden por 77 a 86% de la porosidad de los horizontes superficiales y 81 a 88% de los horizontes superficiales. En área, la predominancia no es tan fuerte, debido a relación inversa entre diámetro y área. Así, la suma de la porosidad en los dos rangos varían entre 51% y 65% en los horizontes superficiales y entre 56% y 62% en los horizontes subsuperficiales, mientras la suma de los poros en los rangos de diámetro 0-3 nm, 3-4 nm y 4-5 nm, representan 35% a 48% en los horizontes superficiales y entre 37% y 48% en los horizontes superficiales, siendo que los mayores valores fueran observados en el Nitisol y en el Cambisol, suelos que presentan arcillas expansivas.

En estos suelos, el área de los poros en rango 3-4 nm presentó valores de cerca de 21% a 24%, destacando-se entre los valores de área, los poros de menor diámetro. Fue también observada cierta uniformidad en la distribución de la porosidad en los rangos de menores diámetros en el perfil del Ferralsol.

En los horizontes superficiales (A), cuanto al volumen de los poros, el Cambisol fue el suelo que presentó mayores valores, reflectando por cierto el contenido de materia orgánica en este horizonte bien como la presencia de arcillas expansivas, mientras el Alisol presentó los menores valores (cerca de $0,06 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$), lo que puede ser atribuido tanto pelo menor contenido de materia orgánica, como a textura de su horizonte A que presenta menores contenidos de arcilla que los demás suelos estudiados.

Tal resultado está de acuerdo con lo que fue observado por Vidal-Vázquez et al., 2009, que encontraran mayores volúmenes de poros en muestras más ricas en materia orgánica. En términos de área ocupada por los poros, se observa que los mayores valores fueren encontrados en el perfil del Ferralsol (cerca de $60 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$), efecto posiblemente debido a la micro estructuración característica de este suelo. De manera semejante al volumen, al Alisol presentó el área menor (cerca de $20 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$), resultado por cierto debido a los menores valores de materia orgánica y arcilla en relación a los demás suelos.

Entre los horizontes subsuperficiales, B, se observa que los mayores valores en términos de volumen fueran encontrados en el perfil Bi del Cambisol (cerca de $0,48\text{cm}^3\text{g}^{-1}$), mientras los menores fueran encontrados en el perfil Bt del Alisol (cerca de $0,12\text{cm}^3\text{g}^{-1}$). Las diferencias entre estos horizontes están en sus contenidos de arcillas y

en la presencia de arcillas expansivas en el perfil del Cambisol. Cuanto a los valores encontrados en términos de área, el horizonte Bt del Nitisol presentó el valores más altos (cerca de $70\text{cm}^2\text{g}^{-1}$) y el perfil Bt del Alisol presentó los más bajos (cerca de $37\text{cm}^2\text{g}^{-1}$), marcando también el efectos tanto del contenido de arcilla, como la presencia de arcillas expansivas en el perfil del Nitisol.

La importancia del estudio detallado de la porosidad está en entender las relaciones entre los horizontes referentes a la dinámica suelo-agua. Diferencias entre los horizontes implican en distintas condiciones de infiltración y retención de agua, que afectan directamente los cultivos y la preservación ambiental.

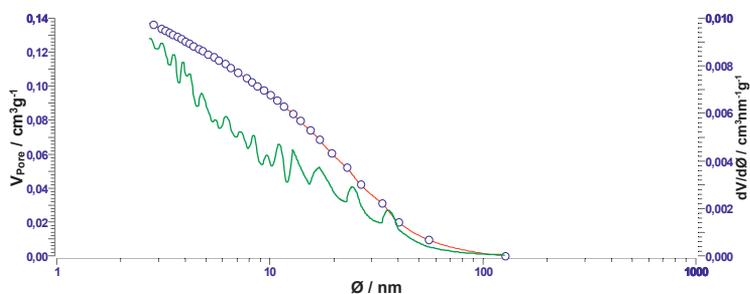


Figura 68 - Distribución de poros en el horizonte superficial, A, del perfil P8 - Ferralsol, determinado pelo método BJH

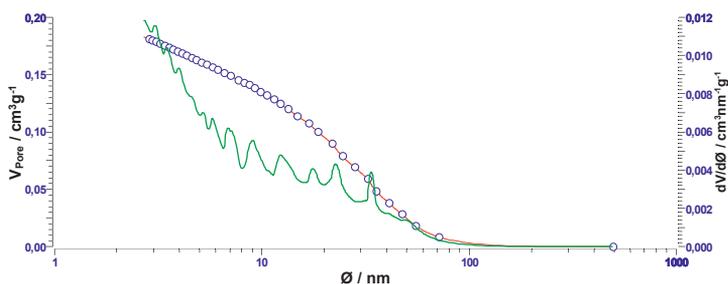


Figura 69 - Distribución no horizonte subsuperficial, B, del perfil P8- Ferralsol, determinado pelo método BJH.

Tabla 34 - Porosidad de los horizontes A y Bt del Perfil P8 - Ferralsol

| Diámetro nm | Volumen | | Área | |
|----------------|--------------------|-------|-------------------|-------|
| | cm ³ /g | % | m ² /g | % |
| Horizonte A1 | | | | |
| 0-3 | 0,0026 | 1,89 | 3,634 | 7,20 |
| 3-4 | 0,0082 | 5,98 | 9,467 | 18,75 |
| 4-5 | 0,0069 | 5,05 | 6,202 | 12,28 |
| 5-20 | 0,0605 | 44,10 | 24,160 | 47,85 |
| 20-100 | 0,0574 | 41,87 | 6,978 | 13,82 |
| 100-400 | 0,0015 | 1,11 | 0,055 | 0,11 |
| Horizonte Bt | | | | |
| 0-3 | 0,0035 | 1,89 | 4,873 | 7,99 |
| 3-4 | 0,0101 | 5,54 | 11,739 | 19,25 |
| 4-5 | 0,0079 | 4,34 | 7,120 | 11,68 |
| 5-20 | 0,0660 | 36,08 | 26,406 | 43,31 |
| 20-100 | 0,0923 | 50,46 | 10,742 | 17,62 |
| 100-400 | 0,0031 | 1,69 | 0,095 | 0,16 |

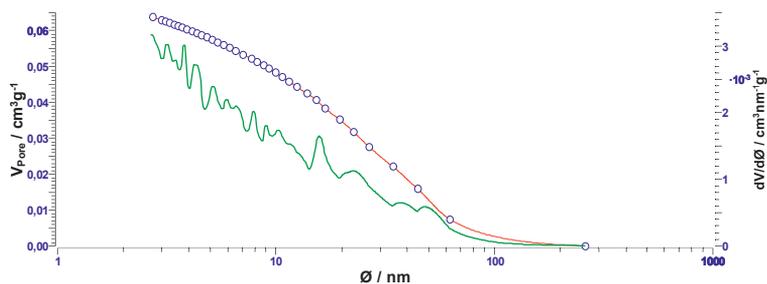


Figura 70 - Distribución de poros en el horizonte A, del perfil P1 - Alisol, determinado pelo método BJH.

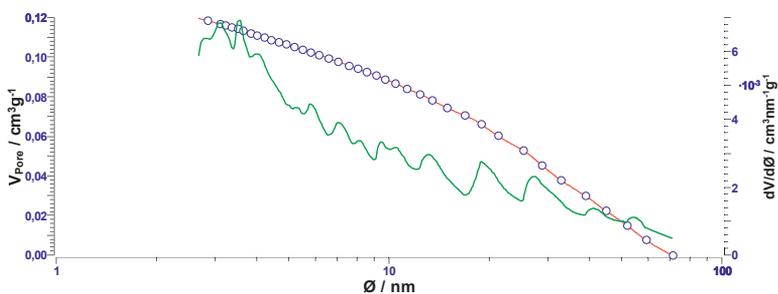


Figura 71 - Distribución de poros en el horizonte B, del perfil P1 - Alisol, determinado pelo método BJH.

Tabla 35 - Porosidad de los horizontes A y Bt del Perfil P1 - Alisol

| Diámetro nm | Volumen | | Área | |
|----------------|--------------------|-------|-------------------|-------|
| | cm ³ /g | % | m ² /g | % |
| Horizonte A | | | | |
| 0-3 | 0,0010 | 1,55 | 1,404 | 7,17 |
| 3-4 | 0,0028 | 4,38 | 3,231 | 16,49 |
| 4-5 | 0,0024 | 3,75 | 2,150 | 10,97 |
| 5-20 | 0,0230 | 36,04 | 9,233 | 47,11 |
| 20-100 | 0,0321 | 50,15 | 3,503 | 17,87 |
| 100-400 | 0,0026 | 4,13 | 0,077 | 0,39 |
| Horizonte Bt | | | | |
| 0-3 | 0,0020 | 1,68 | 2,831 | 7,22 |
| 3-4 | 0,0064 | 5,33 | 7,359 | 18,77 |
| 4-5 | 0,0051 | 4,29 | 4,609 | 11,76 |
| 5-20 | 0,0428 | 35,80 | 17,226 | 43,94 |
| 20-100 | 0,0632 | 52,90 | 7,178 | 18,31 |
| 100-400 | 0,0000 | 0,00 | 0,000 | 0,00 |

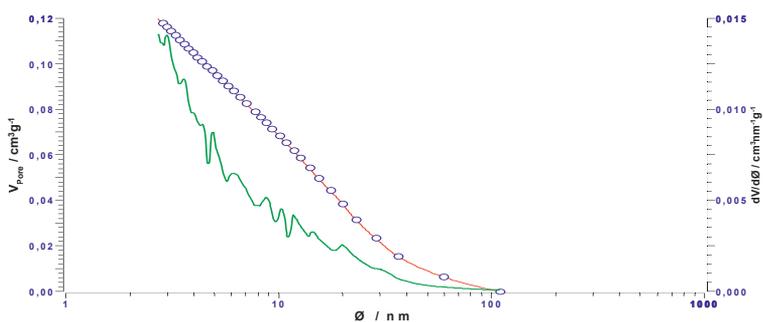


Figura 72 - Distribución de poros en le horizonte A, do perfil P6 - Nitisol, determinado pelo método BJH

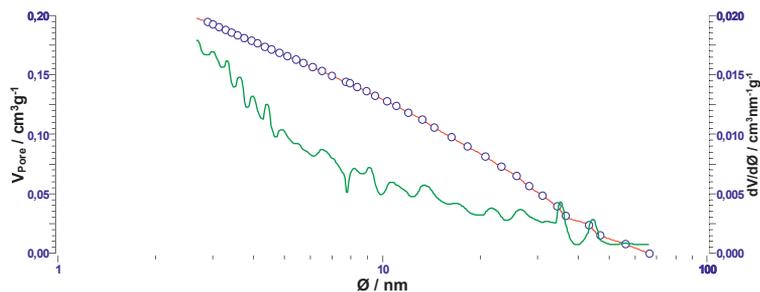


Figura 73 - Distribuição de poros en el horizonte Bt, do perfil P6- Nitisol, determinado pelo método BJH

Tabla 36 - Porosidad de los horizontes A y Bt del Perfil P 6 - Nitisol

| Diámetro nm | Volumen | | Área | |
|----------------|---------|-------|--------|-------|
| | cm³/g | % | m²/g | % |
| Horizonte A1 | | | | |
| 0-3 | 0,0041 | 3,39 | 5,698 | 10,21 |
| 3-4 | 0,0115 | 9,63 | 13,374 | 23,97 |
| 4-5 | 0,0087 | 7,24 | 7,770 | 13,93 |
| 5-20 | 0,0574 | 47,92 | 24,300 | 43,55 |
| 20-100 | 0,0374 | 31,26 | 4,632 | 8,30 |
| 100-400 | 0,0007 | 0,57 | 0,026 | 0,05 |
| Horizonte Bt | | | | |
| 0-3 | 0,0055 | 2,76 | 7,719 | 9,73 |
| 3-4 | 0,0146 | 7,38 | 16,935 | 21,35 |
| 4-5 | 0,0112 | 5,65 | 10,025 | 12,64 |
| 5-20 | 0,0828 | 41,85 | 34,328 | 43,27 |
| 20-100 | 0,0838 | 42,35 | 10,320 | 13,01 |
| 100-400 | 0,0000 | 0,00 | 0,000 | 0,00 |

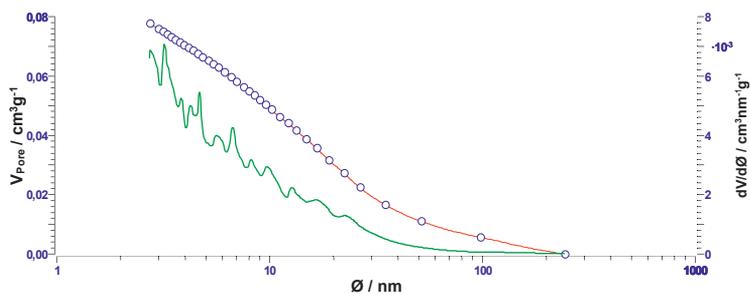


Figura 74 - Distribución de poros en el horizonte A, del perfil P7 - Cambisol

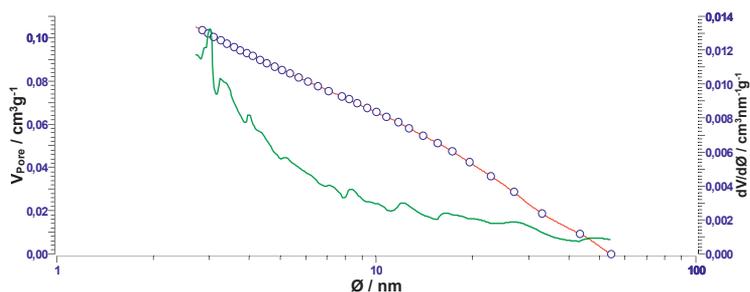


Figura 75 - Distribución de poros en el horizonte, B, del perfil P7 - Cambisol, determinado pelo método BJH

Tabla 37 - Porosidad de los horizontes A y Bi del Perfil 7 - Cambisol'

| Diámetro nm | Volumen | | Área | |
|----------------|---------|-------|--------|-------|
| | cm³/g | % | m²/g | % |
| Horizonte A1 | | | | |
| 0-3 | 0,0019 | 2,42 | 2,643 | 8,46 |
| 3-4 | 0,0057 | 7,27 | 6,556 | 20,98 |
| 4-5 | 0,0047 | 5,99 | 4,158 | 13,31 |
| 5-20 | 0,0354 | 45,49 | 14,753 | 47,21 |
| 20-100 | 0,0247 | 31,74 | 2,989 | 9,56 |
| 100-400 | 0,0055 | 7,09 | 0,150 | 0,48 |
| Horizonte Bt | | | | |
| 0-3 | 0,0033 | 3,18 | 4,663 | 10,31 |
| 3-4 | 0,0094 | 8,92 | 10,871 | 24,02 |
| 4-5 | 0,0068 | 6,44 | 6,071 | 13,42 |
| 5-20 | 0,0441 | 42,00 | 18,328 | 40,50 |
| 20-100 | 0,0414 | 39,46 | 5,320 | 11,76 |
| 100-400 | 0,0000 | 0,00 | 0,000 | 0,00 |

Tabla 38 - resumen de la porosidad en volumen y en área de los horizontes superficial y subsuperficial de los perfiles

| Poros | Ferralsol | | | | Nitisol | | | | Alisol | | | | Cambisol | | | | |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|--------|---------------------------------|---------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|----------|---------------------------------|--------|--------------------------------|---|
| | A | Bw | A | Bt | A | Bt | A | Bt | A | Bt | A | Bt | A | Bt | | | |
| nm | cm ³ g ⁻¹ | cm ³ g ⁻¹ | % | cm ³ g ⁻¹ | % | cm ³ g ⁻¹ | % | cm ³ g ⁻¹ | % | cm ³ g ⁻¹ | % | cm ³ g ⁻¹ | % | cm ³ g ⁻¹ | % | | |
| 0-3 | 0,0026 | 1,89 | 0,0035 | 1,89 | 0,0026 | 3,39 | 0,0036 | 2,76 | 0,0010 | 1,55 | 0,0020 | 1,68 | 0,0019 | 2,42 | 0,0033 | 3,18 | |
| 3-4 | 0,0082 | 5,98 | 0,0101 | 5,54 | 0,0073 | 9,63 | 0,0106 | 7,38 | 0,0028 | 4,38 | 0,0064 | 5,33 | 0,0057 | 7,27 | 0,0094 | 8,92 | |
| 4-5 | 0,0069 | 5,05 | 0,0079 | 4,34 | 0,0062 | 7,24 | 0,0087 | 5,65 | 0,0024 | 3,75 | 0,0051 | 4,29 | 0,0047 | 5,99 | 0,0068 | 6,44 | |
| 5-20 | 0,0605 | 44,10 | 0,0660 | 36,08 | 0,0553 | 47,91 | 0,0783 | 41,85 | 0,0230 | 36,04 | 0,0428 | 35,80 | 0,3540 | 45,49 | 0,0441 | 42,00 | |
| 20-100 | 0,0574 | 41,87 | 0,0923 | 50,46 | 0,0520 | 31,26 | 0,1117 | 42,36 | 0,0321 | 50,15 | 0,0632 | 52,90 | 0,0247 | 31,74 | 0,414 | 39,46 | |
| 100-400 | 0,0015 | 1,11 | 0,0031 | 1,69 | 0,0006 | 0,57 | 0,0000 | 0,00 | 0,0026 | 4,13 | 0,0000 | 0,00 | 0,0055 | 7,09 | 0,0000 | 0,00 | |
| Total | 0,1371 | 100,00 | 0,1829 | 100,00 | 0,1240 | 100,00 | 0,2129 | 100,00 | 0,0639 | 100,00 | 0,1195 | 100,00 | 0,3965 | 100,00 | 0,4776 | 100,00 | |
| Área | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poros | A | Bw | A | Bt | A | Bt | A | Bt | A | Bt | A | Bt | A | Bt | A | Bt | |
| nm | m ² g ⁻¹ | m ² g ⁻¹ | % | m ² g ⁻¹ | % | m ² g ⁻¹ | % | m ² g ⁻¹ | % | m ² g ⁻¹ | % | m ² g ⁻¹ | % | m ² g ⁻¹ | % | m ² g ⁻¹ | % |
| 0-3 | 3,63 | 4,87 | 7,20 | 7,99 | 3,62 | 10,21 | 5,13 | 9,73 | 1,40 | 7,17 | 2,83 | 7,22 | 2,64 | 8,46 | 4,66 | 10,31 | |
| 3-4 | 9,47 | 11,74 | 18,75 | 19,25 | 8,45 | 23,97 | 12,20 | 21,35 | 3,23 | 16,49 | 7,36 | 18,77 | 6,56 | 20,98 | 10,87 | 24,02 | |
| 4-5 | 6,20 | 7,12 | 12,28 | 11,68 | 5,57 | 13,93 | 7,78 | 12,64 | 2,15 | 10,97 | 4,61 | 11,76 | 4,15 | 13,31 | 6,07 | 13,42 | |
| 5-20 | 24,16 | 26,41 | 47,85 | 43,30 | 22,26 | 43,54 | 30,86 | 43,27 | 9,23 | 47,11 | 17,23 | 43,94 | 14,75 | 47,21 | 18,33 | 40,49 | |
| 20-100 | 6,98 | 10,74 | 13,82 | 17,62 | 6,23 | 8,30 | 13,90 | 13,01 | 3,50 | 17,87 | 7,18 | 18,31 | 2,99 | 9,56 | 5,32 | 11,76 | |
| 100-400 | 0,06 | 0,10 | 0,10 | 0,16 | 0,02 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,39 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,48 | 0,00 | 0,00 | |
| Total | 50,50 | 60,98 | 100,00 | 100,00 | 46,15 | 100,00 | 69,87 | 100,00 | 19,59 | 100,00 | 36,38 | 100,00 | 31,24 | 100,00 | 45,25 | 100,00 | |

4.4. Análisis multifractal

Para la caracterización topológica completa de un multifractal es necesario definir dos curvas: el espectro de singularidades, $f(\alpha)$ y el espectro de dimensiones generalizadas (D_q) (Yamaguti, 1997). Así, análisis multifractal de las isothermas de adsorción de nitrógeno de los horizontes superficiales y subsuperficiales de los suelos seleccionados se procedió con base en el espectro de singularidad $f(\alpha)$ e en el espectro de dimensiones generalizadas (D_q). Los análisis están basados en Paz-Ferreiro et al., 2013.

Los gráficos de los espectros de singularidades y de dimensiones generalizadas están presentados y discutidos para cada suelo seleccionado buscando entender las particularidades de los horizontes superficiales y subsuperficiales de los suelos.

Las tablas 39 y 40 reúnen de manera resumida, respectivamente, los valores importantes para la discusión de los espectros de singularidades y de dimensiones generalizadas de los horizontes superficial y subsuperficial de los cuatro suelos seleccionados.

Para todos los suelos, los espectros de singularidad muestran una concavidad hacia abajo de forma parabólica con más o menos asimetría y los espectros de dimensiones generalizadas presentan curvas sigmoideas con ramas desarrolladas a la izquierda y a la derecha, reflejando estructuras multifractales, indicando que el estudio de la superficie específica puede ser ajustado a modelos multifractales.

Las variaciones entre los suelos estudiados y, dentro de estos, entre sus horizontes superficiales y subsuperficiales reflejan características relacionadas a sus superficies específicas. Se puede relacionar los valores encontrados tanto en las graficas como en la cuantificación de la porosidad de los agregados con la micro agregación del Ferralsol, con el gradiente entre los horizontes del Alisol, con la presencia de arcillanes y de arcillas expansivas en el perfil del Nitisol, con el alto contenido de materia orgánica en el horizonte superficial del Cambisol y con las arcillas expansivas que ocurren en profundidad en este suelo.

Los espectros de dimensiones generalizadas fueron calculados en el rango $-5 < q < 5$. Los espectros de Rényi fueron más altos para $q = 0$ (que representa $D_2 = 1,000$, como

esperado), observándose una disminución de $q = 1$, $q = 2$ y de sucesivos momentos más altos de orden q en todos los horizontes de los perfiles estudiados.

Forma y patrones de escalado local de los espectros de singularidad aportan informaciones sobre las isotermas de adsorción de nitrógeno. El ancho del espectro $f(\alpha_q)$, es obtenido como $\alpha_{\text{máximo}} - \alpha_{\text{mínimo}}$. Cuanto más amplio es el espectro, mayor es la heterogeneidad de los índices de escala locales de la medida. La escala de patrones de la rama izquierda es $\Delta\alpha_{\text{izq}} = (\alpha_0 - \alpha_{\text{mínimo}})$, mientras la escala de patrones de la rama derecha es $\Delta\alpha_{\text{der}} = (\alpha_{\text{máximo}} - \alpha_0)$. El exponente de Hölder de orden cero, α_0 , cuantifica el grado mediano de la densidad de masa de la medida. Los valores extremadamente altos y extremadamente bajos se encuentran respectivamente a la izquierda ($q < 1$) y a la derecha ($q > 1$) en los extremos de los espectros.

Fueran analizadas diferencias de patrones de escala de las isotermas usando parámetros del diagrama definido por $f(\alpha) \times \alpha$: α_0 , α_{-5} , α_5 , $\alpha_0 - \alpha_5$, $\alpha_{-5} - \alpha_0$ y $\alpha_{-5} - \alpha_5$ (tabla 39).

Los espectros de singularidad de las isotermas de adsorción de nitrógeno se presentaron con notable diferenciación cuando comparados los suelos y también cuando se observa sus horizontes superficiales en comparación con los respectivos horizontes subsuperficiales, tanto en su anchura, como en las ramas a derecha y a izquierda (figuras de 76 a 91). La apertura ($\alpha_{\text{máximo}} - \alpha_{\text{mínimo}}$) de los espectros osciló entre los horizontes superficiales entre 1,688 (Ferralsol) y 2,221 (Cambisol), entre los horizontes subsuperficiales la variación fue de 1,392 (Nitisol) y 2,501 (Ferralsol), reflejando el nivel de heterogeneidad en escala de exponentes de la medida.

Lo que se observa en los espectros es que cada suelo presentó particularidades cuanto al desarrollo de las ramas. Considerando que cuando la rama derecha es más amplia ($\Delta\alpha_{\text{der}}$) revela una mayor variedad de los más altos exponentes de singularidad (α) asociada a bajas concentración de la medida, ocurriendo el inverso cuando se encuentra más desarrollada la rama a la izquierda ($\Delta\alpha_{\text{izq}}$), o sea, mayor variedad de exponentes de singularidad más pequeños asociada las altas concentraciones de la medida, fue observada una variación de $\Delta\alpha_{\text{der}}$ en los horizontes superficiales de 0,719 (Ferralsol) y 1,303 (Cambisol), mientras $\Delta\alpha_{\text{izq}}$ en estos horizontes varió entre 0,918

(Cambisol) y 1,124 (Alisol). Entre los horizontes subsuperficiales la variación de $\Delta\alpha_{der}$ fue 0,452 (Nitisol) a 1,219 (Ferralsol) y de 0,940 (Nitisol) a 1,282 (Ferralsol).

En los espectros de dimensiones generalizadas D_1 representa la dimensión de entropía o medida de la diversidad. Cuanto menor la dimensión de entropía, D_1 , más agrupado o menos uniformemente distribuida es la medida, más débil es su persistencia, menor su auto correlación y mayor su heterogeneidad.

En relación al estudio de las isothermas de adsorción de nitrógeno, D_1 mide el grado de concentración de la medida para un rango p/p_0 . Cuando D_1 se encuentra próximo a D_0 se considera que hay uniformidad en la distribución de la medida en toda la escala de estudio. Cuando D_1 presenta valores cercanos a cero, se asume que hay cierta concentración de valores de tamaño pequeño. Los valores de D_1 en los horizontes superficiales variaron entre 0,608 (Alisol) y 0,703 (Cambisol). En los horizontes subsuperficiales la variación fue de 0,563 (Ferralsol) a 0,677 (Nitisol).

El exponente de Hurst, D_2 , se relaciona directamente con la dimensión fractal. La relación entre la dimensión fractal (D) y el exponente de Hurst (H) es: $D=2-H$.

Este exponente puede tener cualquier valor entre 0 y 1. Valores mayores que 0,5 indican una tendencia persistente. Valores menores que 0,5 indican una antipersistencia. Valores semejantes a 0,5 indica un patrón aleatorio. Entre los suelos estudiados, sus horizontes superficiales presentaron variación entre 0,458 (Alisol) y 0,615 (Cambisol) mientras los horizontes subsuperficiales variaron de 0,409 (Ferralsol) a 0,533 (Nitisol).

Valores altos de α_0 y $(D_{-5}-D_5)$ caracterizan alta heterogeneidad de medidas. Entre los perfiles, en los horizontes superficiales los valores de α_0 variaron entre 1,380 (Ferralsol) y 1,481 (Alisol). En los horizontes subsuperficiales la variación fue de 1,356 (Nitisol) a 1,630 (Ferralsol). Los valores de $D_{-5}-D_5$ variaron en los horizontes superficiales entre 1,394 (Ferralsol) y 1,825 (Cambisol). En los horizontes subsuperficiales la variación fue de 1,195 (Nitisol) a 2,305 (Ferralsol).

Tabla 39 - Resumen de los valores de los espectros de singularidades de los horizontes de los suelos seleccionados para el análisis multifractal.

| Horizonte A | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| P8 - Ferralsol | 1,380 | 0,411 | 2,099 | 0,719 | 0,969 | 1,688 | | | |
| P1 - Alisol | 1,481 | 0,357 | 2,365 | 0,884 | 1,124 | 2,008 | | | |
| P6 - Nitisol | 1,434 | 0,439 | 2,371 | 0,937 | 0,995 | 1,932 | | | |
| P7 - Cambisol | 1,434 | 0,516 | 2,737 | 1,303 | 0,918 | 2,221 | | | |
| Horizonte B | | | | | | | | | |
| P8 - Ferralsol | 1,630 | 0,348 | 2,849 | 1,219 | 1,282 | 2,501 | | | |
| P1 - Alisol | 1,466 | 0,310 | 2,595 | 1,129 | 1,156 | 2,285 | | | |
| P6 - Nitisol | 1,356 | 0,416 | 1,808 | 0,452 | 0,940 | 1,392 | | | |
| P7 - Cambisol | 1,454 | 0,313 | 2,277 | 0,823 | 1,141 | 1,964 | | | |

Tabla 40 - Resumen de los valores de los espectros de dimensiones generalizadas de los horizontes de los suelos seleccionados para el análisis multifractal.

| Suelos | D_5 | D_5 | $D_5 - D_5$ | D_0 | D_1 | D_2 | $D_0 - D_2$ |
|----------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|
| Horizonte A | | | | | | | |
| P8 - Ferralsol | 1,815 | 0,421 | 1,394 | 1,000 | 0,677 | 0,542 | 0,458 |
| P1 - Alisol | 2,109 | 0,334 | 1,775 | 1,000 | 0,608 | 0,458 | 0,542 |
| P6 - Nitisol | 2,115 | 0,480 | 1,635 | 1,000 | 0,673 | 0,560 | 0,440 |
| P7 - Cambisol | 2,344 | 0,519 | 1,825 | 1,000 | 0,703 | 0,615 | 0,385 |
| Horizonte B | | | | | | | |
| P8 - Ferralsol | 2,602 | 0,297 | 2,305 | 1,000 | 0,563 | 0,409 | 0,591 |
| P1 - Alisol | 2,177 | 0,341 | 1,836 | 1,000 | 0,628 | 0,468 | 0,532 |
| P6 - Nitisol | 1,621 | 0,426 | 1,195 | 1,000 | 0,677 | 0,533 | 0,467 |
| P7 - Cambisol | 1,980 | 0,372 | 1,608 | 1,000 | 0,626 | 0,481 | 0,519 |

4.4.1. Ferralsoles

Comparando los horizontes superficial (A) y subsuperficial (Bw) del Ferralsol, se observa fuerte diferenciación entre la amplitud de los espectros de singularidad (figuras 76 y 78) que varió entre 1,688 (A) y 2,501 (Bw). La rama derecha presentó variaciones entre 0,719 (A) y 1,219 (Bw), mientras las variaciones de la rama izquierda fueran menores, siendo 0,969 (A) y 1,282 (Bw).

En este perfil, se observa que la variación granulométrica entre sus horizontes es gradual 644 gkg^{-1} (A) y 715 gkg^{-1} (Bw). La superficie específica de sus agregados fue de $60,6 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ (A) y $76,9 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ (Bw). La variación de carbono orgánico entre los horizontes fue de $47,7 \text{ gkg}^{-1}$ (A) a $11,3 \text{ gkg}^{-1}$ (Bw).

Ferralsol es un suelo que presenta estructura en microagregados. Su horizonte A tiene su estructura granular fuertemente relacionada a materia orgánica, pero se observa textura granular también en profundidad con fuerte desarrollo, asociada a estructura en bloques subangulares. Quizás, esta composición estructural sea responsable por la mayor amplitud del espectro de singularidades del perfil Bw.

El espectro de dimensiones generalizadas traduce comportamiento similar y complementario al espectro de singularidades con valores decrecientes de D_0 , D_1 y D_2 y mayor amplitudes de valores en el horizonte Bw (figuras 76 y 79)

Tabla 41 - Resumen de los valores de $f(\alpha)$ de los espectros de singularidad y de los valores de D_q de los horizontes A y Bw del Perfil 8 - Ferralsol.

| α | $f(\alpha)$ |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Horizonte A | | | | | | | |
| 1,380 | 1,380 | 1,380 | 1,380 | 1,380 | 1,380 | 1,380 | 1,380 |
| Horizonte Bw | | | | | | | |
| 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,630 |
| D_5 | D_5 | D_5 | D_5 | D_5 | D_5 | D_5 | D_5 |
| Horizonte A | | | | | | | |
| 1,815 | 1,815 | 1,815 | 1,815 | 1,815 | 1,815 | 1,815 | 1,815 |
| Horizonte Bw | | | | | | | |
| 2,602 | 2,602 | 2,602 | 2,602 | 2,602 | 2,602 | 2,602 | 2,602 |

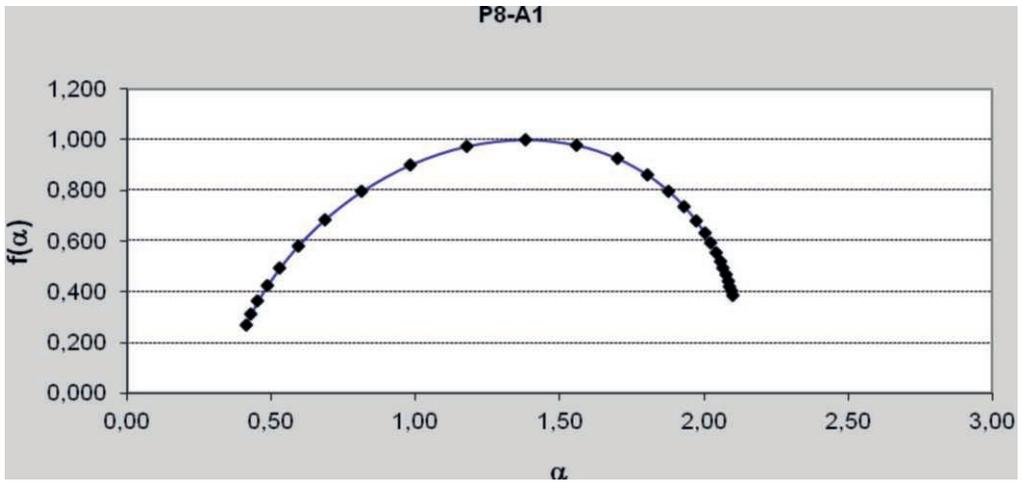


Figura 76 - Espectro de singularidades del horizonte A del Perfil 8 - Ferralsol

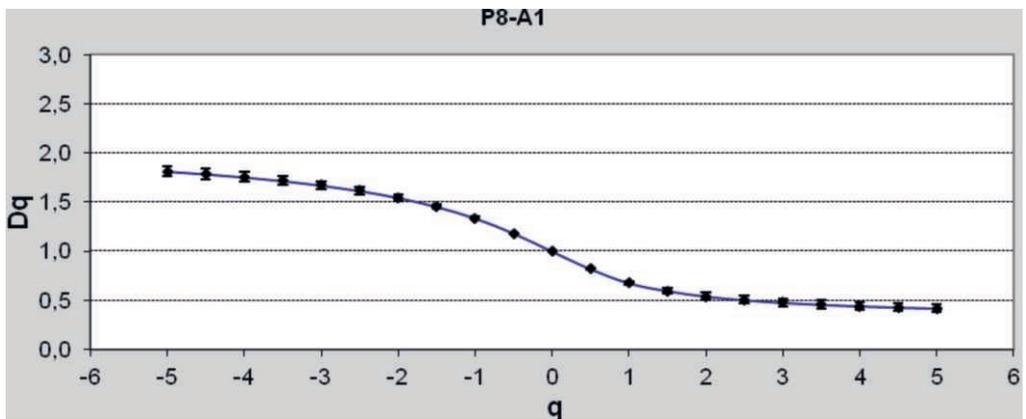


Figura 77 - Espectro de dimensiones generalizadas del horizonte A del Perfil 8 - Ferralsol

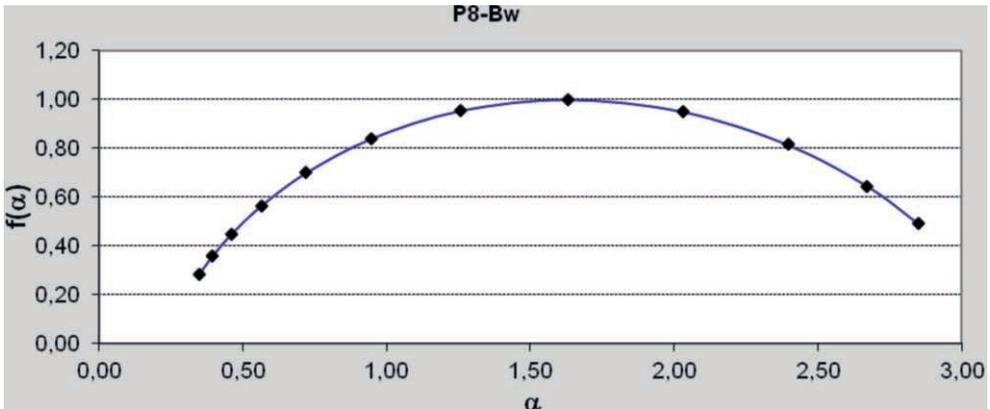


Figura 78 - Espectro de singularidades del horizonte Bw del Perfil 8 - Ferralsol

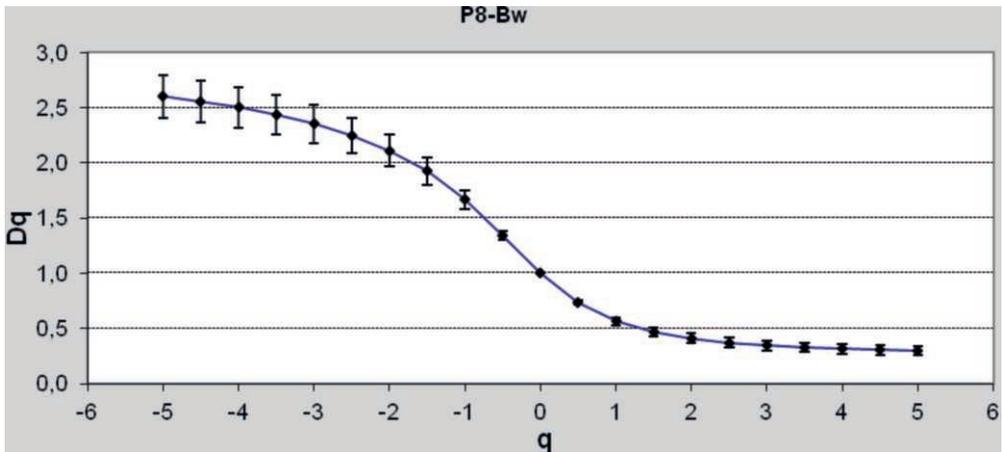


Figura 79 - Espectro de dimensiones generalizadas del horizonte Bw del Perfil 8 - Ferralsol.

4.4.2. Alisoles

Los Alisol son suelos que presenta mayor gradiente textural entre los suelos estudiados, sus valores de arcilla son de 390 gkg^{-1} (A) y 517 (Bt), con variación de superficie específica de $20,1 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ (A) y $48,3 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ (Bt). Su contenido de carbono orgánico varió entre $30,4 \text{ gkg}^{-1}$ (A) y $8,6 \text{ gkg}^{-1}$ (Bt). Este suelo presentó el menor contenido de arcilla y también el menor valor de superficie específica entre todos los suelos estudiados

Sus espectros de singularidad presentan variaciones de amplitud entre 2,008 (A) y 2,285 (Bw), El horizonte superficial presenta mayor desarrollo de la rama izquierda (1,124) que la derecha (0,884), mientras el horizonte Bt presentó desarrollo muy semejante entre sus dos ramas (1,129 en la derecha y 1,156 en la izquierda), alcanzando una amplitud de 2,285 (figuras 80 y 82)

Sus espectros de dimensiones generalizadas reflejan las observaciones del los espectros de singularidades, con las dimensiones corroborando el comportamiento multifractal de las isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno (figuras 81 y 83).

Tabla 42 - Resumen de los valores de $f(\alpha)$ de los espectros de singularidad y de los valores de D_q de los horizontes A y Bw del Perfil 1 - Alisol.

| α | $f(\alpha)$ | D_5 | D_0 | D_1 | D_2 | D_0-D_2 |
|--------------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-----------|
| Horizonte A | | | | | | |
| 1,481 | 0,357 | 2,365 | 0,884 | 1,124 | | 2,008 |
| Horizonte Bt | | | | | | |
| 1,466 | 0,310 | 2,595 | 1,129 | 1,156 | | 2,285 |
| D_5 | D_5 | D_5-D_5 | D_0 | D_1 | D_2 | D_0-D_2 |
| Horizonte A | | | | | | |
| 2,109 | 0,334 | 1,775 | 1,000 | 0,608 | 0,458 | 0,542 |
| Horizonte Bt | | | | | | |
| 2,177 | 0,341 | 1,836 | 1,000 | 0,628 | 0,468 | 0,532 |

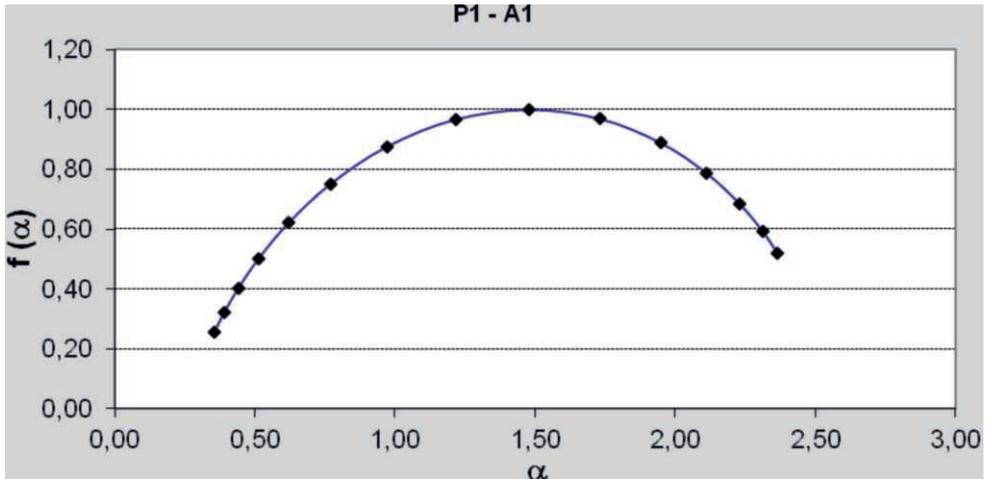


Figura 80 - Espectro de singularidades del horizonte A del Perfil 1 - Alisol

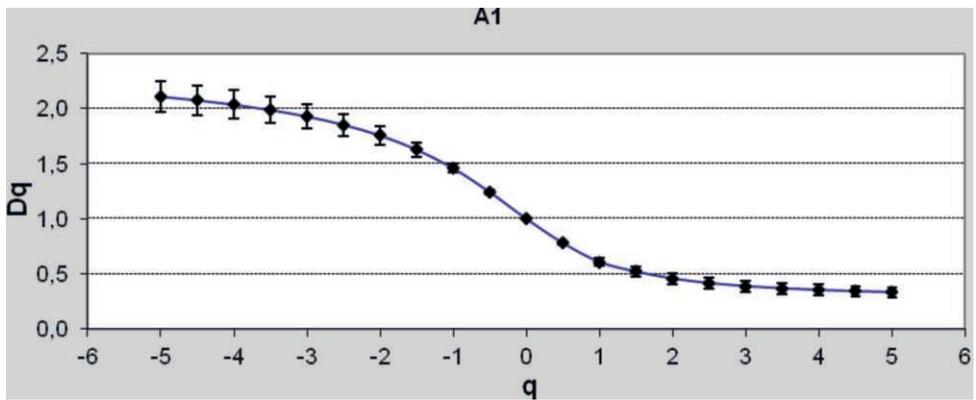


Figura 81 - Espectro de dimensiones generalizadas del horizonte A del Perfil 1 - Alisol

4.4.3. Nitisoles

El Nitisol estudiado en el perfil 6, además de las características de esta clase, como altos contenidos de arcilla, bajo gradiente textural y presencia de arcillanes en profundidad, presentó arcillas expansivas que pueden ser observadas en su difractograma (Anexo 1).

Los contenidos de arcilla fueran de 621 gkg^{-1} en el horizonte A y 623 gkg^{-1} en el horizonte Bt A pesar del bajo gradiente textural en este suelo, su horizonte B es clasificado como textural por la presencia de los arcillanes de origen iluvial. Los valores de carbono orgánico oscilaran entre 37,2 (A) y 8,7 (Bt).

Tales aspectos pueden explicar los altos valores de superficie específica de este perfil, sobre todo en el horizonte Bt, que alcanzó $108,2 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, siendo este el mayor valor de superficie específica observado entre los suelos estudiados.

Sus espectros de singularidades y de dimensiones generalizadas presentaran aspectos interesantes, con mayor amplitud en el horizonte A (1,937) con cierta uniformidad en la amplitud de las ramas 0,937 (derecha) y 0,995 (izquierda), mientras el horizonte Bt presentó 1,392 de amplitud con cierto encartamiento de la rama derecha (0,452), mientras la izquierda alcanzó 0,940, comportamiento que puede ser debido tanto a la presencia de arcillas expansivas, cuanto a los arcillanes que ocurren en profundidad (figuras de 84 a 87). Sus espectros de dimensiones generalizadas traducen el mismo, corroborando la naturaleza multifractal de las isotermas.

Tabla 43 - Resumen de los valores de $f(\alpha)$ de los espectros de singularidad y de los valores de D_q de los horizontes A y Bt del Perfil 6 - Nitisol.

| α | $f(\alpha)$ | D_q | $f(\alpha)$ | $f(\alpha)$ | $f(\alpha)$ | $f(\alpha)$ |
|--------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Horizonte A | | | | | | |
| 1,434 | 0,439 | 2,371 | 0,937 | 0,995 | | 1,932 |
| Horizonte Bt | | | | | | |
| 1,356 | 0,416 | 1,808 | 0,452 | 0,940 | | 1,392 |
| D_5 | D_5 | D_5-D_5 | D_0 | D_1 | D_2 | D_0-D_2 |
| Horizonte A | | | | | | |
| 2,115 | 0,480 | 1,635 | 1,000 | 0,673 | 0,560 | 0,440 |
| Horizonte Bt | | | | | | |
| 1,621 | 0,426 | 1,195 | 1,000 | 0,677 | 0,533 | 0,467 |

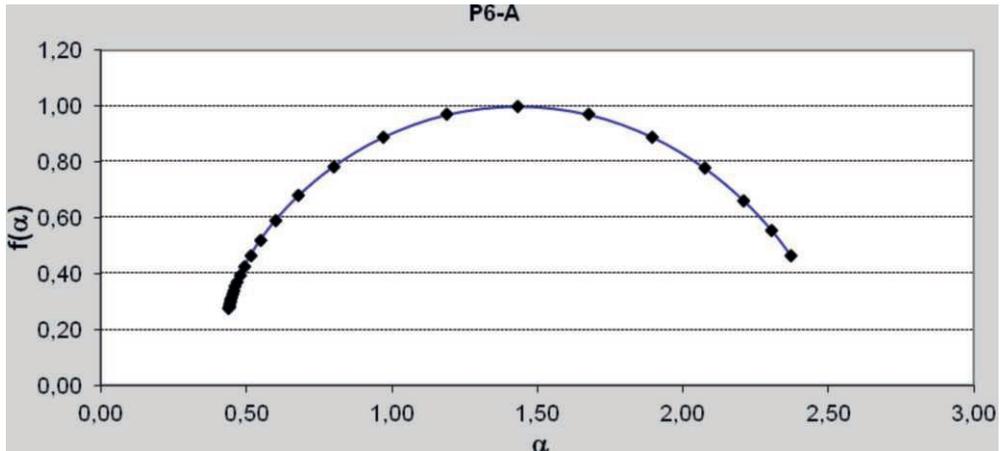


Figura 84 - Espectro de singularidades del horizonte Bt del Perfil 6 – Nitisol

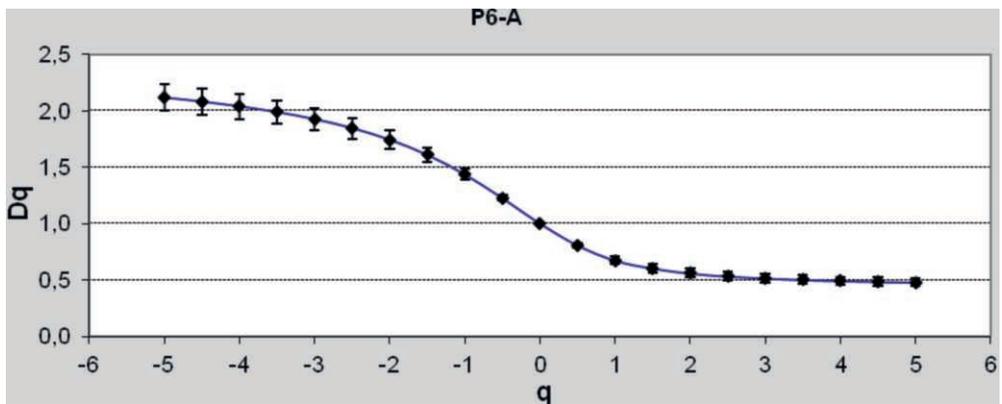


Figura 85 - Espectro de dimensiones generalizadas del horizonte A del Perfil 6 – Nitisol

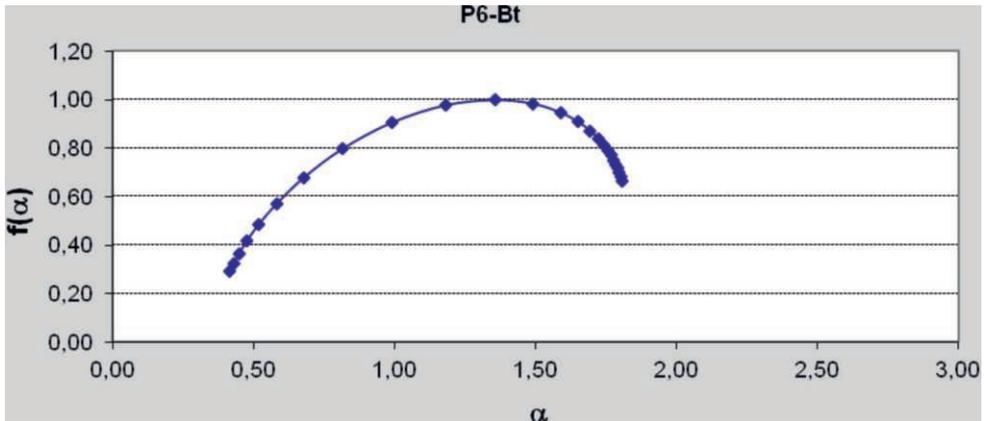


Figura 86 - Espectro de singularidades del horizonte Bt del Perfil 6 - Nitisol

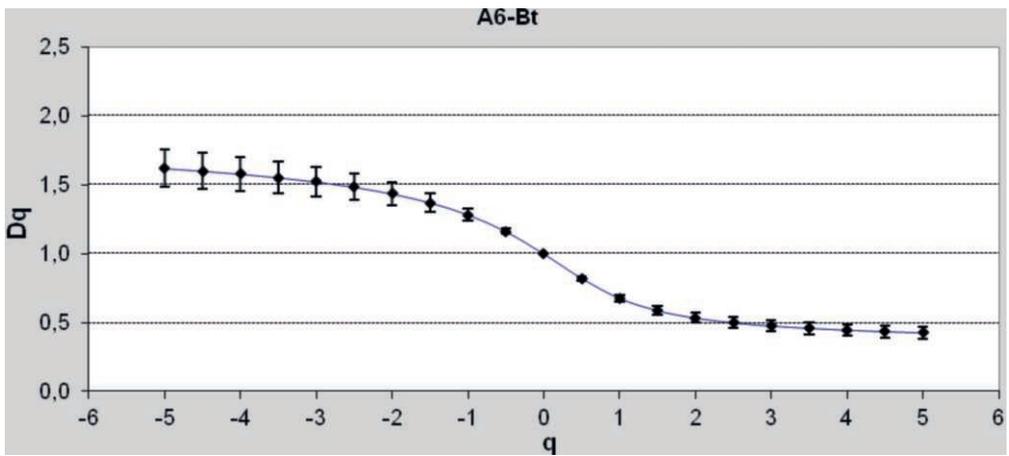


Figura 87 - Espectro de dimensiones generalizadas del horizonte Bt del perfil 6 - Nitisol

4.4.4. Cambisoles

Con reducido desarrollo, los Cambisoles presentan un horizonte B incipiente (Bi) con pequeña espesura, alta relación limo/arcilla y arcillas expansivas. El perfil muestreado presentó variación de arcilla entre los horizontes superficial A y Bi de 517 gkg^{-1} a 475 gkg^{-1} , mientras los valores de limo variaran entre 450 gkg^{-1} y 324 gkg^{-1} , respectivamente. El difractograma que refleja la presencia de arcillas expansivas se encuentra en el anexo 1. Los contenidos de carbono orgánico en el horizonte superficial fue de $52,1 \text{ gkg}^{-1}$, mientras en profundidad fue de $17,0 \text{ gkg}^{-1}$. La superficie específica en este suelo varió entre $38,5 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ en superficie hasta $70,7 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ en el horizonte Bi.

Sus espectros de singularidad presentan comportamiento casi inverso en lo que respecta las ramas. Mientras el horizonte A presenta mayor desarrollo en la rama derecha (1,303) que en la izquierda (0,918), el horizonte Bi presenta mayor desarrollo en la rama izquierda (1,141) que en la derecha (0,823), alcanzando amplitud de 2,221 en el horizonte A y 1,964 en el horizonte Bi (figuras 88 y 90).

Los espectros de dimensiones generalizadas reflejan tal comportamiento y corroboran la naturaleza multifractal de las isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno (figuras 89 y 91).

Tabla 44 - Resumen de los valores de de los espectros de singularidad y de los valores de D_q de los horizontes A y Bi del Perfil 7 – Cambisol

| α | β | γ | δ | ϵ | ζ | η |
|--------------|---------|-------------|----------|------------|---------|-------------|
| Horizonte A | | | | | | |
| 1,434 | 0,516 | 2,737 | 1,303 | 0,918 | | 2,221 |
| Horizonte Bi | | | | | | |
| 1,454 | 0,313 | 2,277 | 0,823 | 1,141 | | 1,964 |
| D_5 | D_5 | $D_5 - D_5$ | D_0 | D_1 | D_2 | $D_0 - D_2$ |
| Horizonte A | | | | | | |
| 2,344 | 0,519 | 1,825 | 1,000 | 0,703 | 0,615 | 0,385 |
| Horizonte Bi | | | | | | |
| 1,980 | 0,372 | 1,608 | 1,000 | 0,626 | 0,481 | 0,519 |

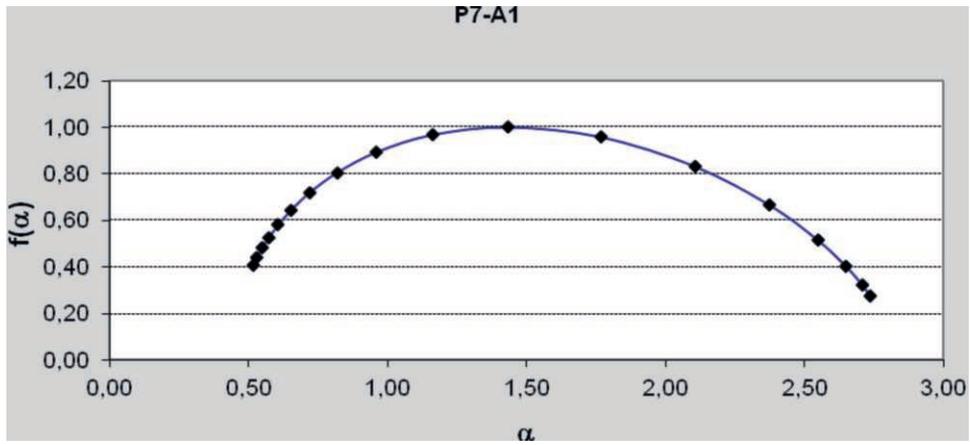


Figura 88 - Espectro de singularidades del horizonte A del Perfil 7 - Cambisol

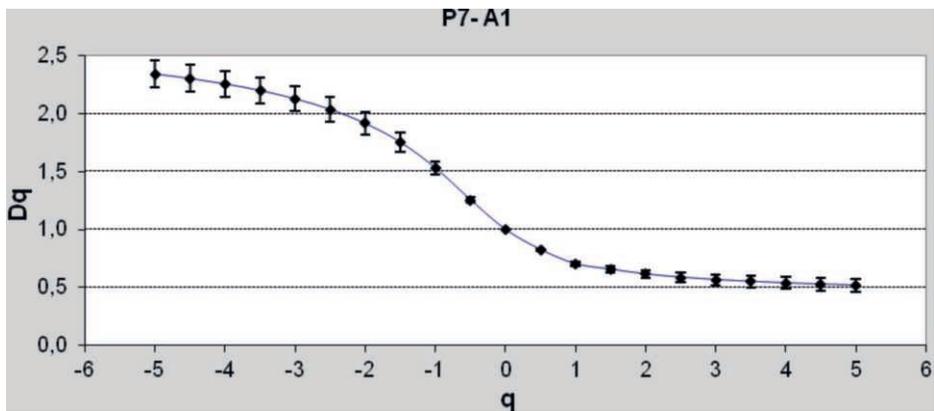


Figura 89 - Espectro de dimensiones generalizadas del horizonte A del Perfil 7 - Cambisol

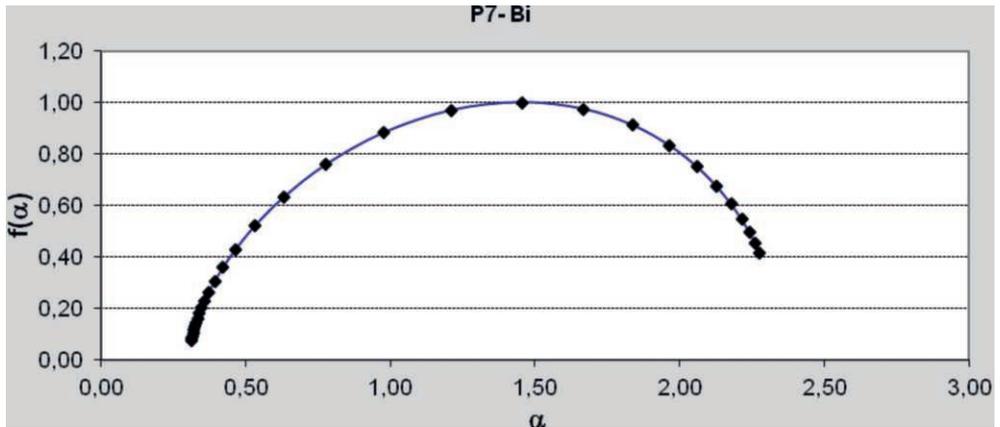


Figura 90 - Espectro de singularidades del horizonte Bi del Perfil 7 - Cambisol.

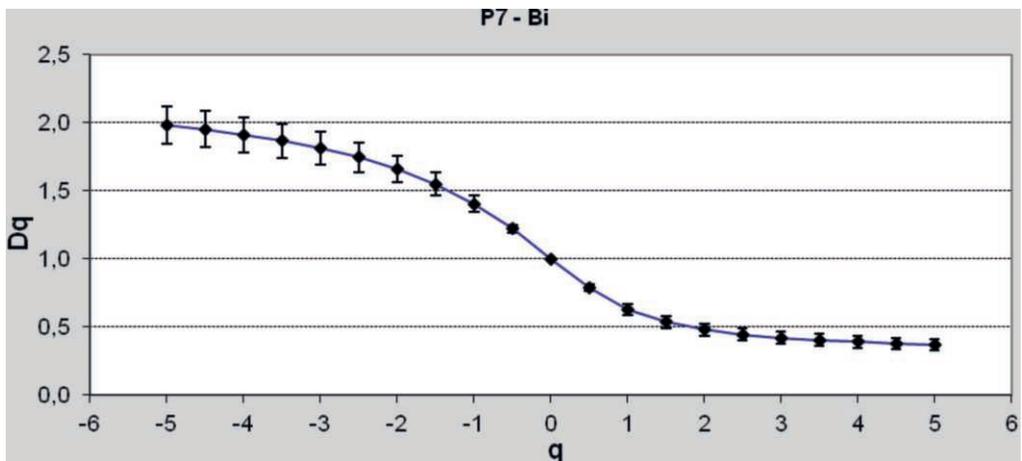


Figura 91 - Espectro de dimensiones generalizadas del horizonte Bi del Perfil 7 - Cambisol.

4.5. Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales y el análisis de regresión fueron utilizadas para evaluar relaciones entre propiedades de los suelos y los parámetros multifractales del espectro de dimensiones generalizadas: D_{-5} , D_1 , (D_0-D_2) , D_5 , $(D_{-5}-D_5)$ y de singularidades representado por el exponente de Hölder de orden cero, α_0 . De acuerdo con Paz-Ferreiro et al, 2013.

El análisis de componentes principales (PC) destaca los tres principales componentes que explican 73,2% de la variancia a partir de las isothermas de adsorción (PC1= 37,4%, PC2= 20,3% y PC3= 15,5%) y 74,8 (PC1= 42,7%, PC2= 18,7% y CP3= 13,4%) a partir de las isothermas de desorción. Tanto el lo que respecta a las isothermas de adsorción como as la de desorción, en el primer eje las mayores contribuciones fueran observadas en los parámetros multifractales D_1 , D_{-5} y H (positivamente correlacionados), bien como (D_0-D_2) y α_0 (negativamente correlacionados).

En el segundo eje, se observa que la capacidad de cambio catiónico (CCC) se destaca como correlación positiva, mientras el pH presenta correlación negativa. En el tercer eje, el contenido arcilla presenta correlación positiva y el contenido de arena presenta correlación negativa. La relación limo/arcilla, que sirve para determinar el índice de meteorización del suelo, presentó también correlación negativa (tabla 45).

Fue posible observar que el contenido de arcilla presentó correlación positiva con la amplitud del espectro de dimensión generalizada $(D_{-5}-D_5)$, (D_0-D_2) , D_5 y α_0 y negativa con los parámetros D_{-5} , D_1 y H . Lo que permite inferir que cuanto mayor el contenido de arcilla, menos persistente será la medida y menos uniformemente distribuida.

El contenido de carbono orgánico se correlacionó positivamente con los parámetros D_{-5} , D_1 y H y negativamente con (D_0-D_2) , $(D_{-5}-D_5)$ y α_0 . Lo que lleva a conclusión que cuanto mayor el contenido de materia orgánica, más uniformemente distribuida, más persistente es la medida y más baja será su heterogeneidad (tabla 46).

La tabla 47 presenta una matriz de correlación de las propiedades de los suelos con la la superficie específica analizada por el método B.E.T. y por el método do diagrama-t.

A partir de tales observaciones es posible concluir que los parámetros multifractales reflejan las propiedades de los suelos, aportando informaciones adicionales que revelan su estructura, porosidad y superficie específica.

Tabla 45. Coeficientes de correlación entre las propiedades generales del suelo y los parámetros multifractales derivados de las isothermas de adsorción y de desorción de nitrógeno con los puntajes de primero, segundo y tercer eje del análisis de componentes principales (PCA).

| | Adsorción | | | Desorción | | |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | PC1 | PC2 | PC3 | PC1 | PC2 | PC3 |
| pH(H ₂ O) | 0.197 | -0.646* ** | 0.030 | 0.212 | -0.628* ** | 0.477* ** |
| (Al ⁺⁺⁺ +H ⁺) | 0.435* ** | 0.624* ** | -0.191 | 0.525* ** | 0.503* ** | -0.362* ** |
| S | 0.566* ** | 0.417* ** | 0.244* | 0.490* ** | 0.542* ** | 0.312 |
| CCC | 0.677* ** | 0.683* ** | -0.043 | 0.680* ** | 0.675* ** | -0.137 |
| V | 0.471* ** | 0.310 | 0.313 | 0.431* ** | 0.403* * | 0.420* ** |
| C | 0.741* ** | 0.513* ** | 0.088 | 0.617* ** | 0.661* ** | 0.041 |
| N | 0.704* ** | 0.627* ** | 0.093 | 0.696* ** | 0.646* ** | 0.014 |
| Arena | 0.044 | 0.003 | -0.772* ** | 0.305* * | -0.352* * | -0.589* ** |
| Arcilla | -0.248* | -0.095 | 0.884* ** | -0.567* ** | 0.349* * | 0.664* ** |
| Limo/arcilla | 0.101 | 0.076 | -0.722* ** | 0.361* * | -0.313* | -0.581* ** |
| SE | 0.001 | -0.607* ** | 0.535* ** | -0.182 | -0.336* * | 0.715* ** |
| α ₀ | -0.751* ** | 0.477* ** | 0.240 | -0.905* ** | 0.345* * | -0.071 |
| D ₅ | 0.843* ** | -0.190 | 0.210 | 0.880* ** | -0.209 | 0.185 |
| D ₁ | 0.913* ** | -0.321* ** | 0.069 | 0.934* ** | -0.256* | 0.156 |
| (D ₀ -D ₂) | -0.904* ** | 0.201 | -0.173 | -0.916* ** | 0.205 | -0.163 |
| D ₅ | -0.549* ** | 0.566* ** | 0.346* ** | -0.535* ** | 0.293* | 0.040 |
| (D ₅ -D ₅) | -0.667* ** | 0.562* ** | 0.282* ** | -0.823* ** | 0.322* | -0.057 |
| H | 0.843* ** | -0.191 | 0.210 | 0.880* ** | -0.209 | 0.184 |

S es la suma de bases, CCC es la capacidad de cambio catiónico, V es la saturación por bases, C es el carbon orgánico, N es el nitrógeno, SE es la superficie específica, (*, ** y ***) corresponden a P < 0,05, P < 0.01 y P < 0.001, respectivamente

4.6. Relationships between multifractal parameters, parent material, weathering and soil properties

One-way ANOVA analysis was performed to evaluate the effect of parent material on multifractal parameters. We compared profiles developed over basalt and andesite with basic compositions and those over rhyodacite and dacite with acid and intermediate composition.

Tabla 46 - Matriz de correlación de las propiedades de los suelos, incluyendo la superficie específica analizada por el método B.E.T. y por el método de diagrama-t

| | pH (agua) | pH (KCl) | Al ⁺⁺⁺ | H ⁺ | S | T | V | C | N | Arena | Limo | Arcilla | SE _{BET} | SE _{tpct} |
|--------------------|-----------|----------|-------------------|----------------|---------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|-------------------|--------------------|
| pH(agua) | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| pH(KCl) | 0,656** | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Al ⁺⁺⁺ | -0,429** | -0,462** | 1 | | | | | | | | | | | |
| H ⁺ | -0,218 | -0,219 | 0,139 | 1 | | | | | | | | | | |
| S | 0,019 | 0,140 | -0,177 | 0,314* | 1 | | | | | | | | | |
| T | -0,335** | -0,277* | 0,387** | 0,797** | 0,636** | 1 | | | | | | | | |
| V | 0,145 | 0,226 | -0,306* | 0,190 | 0,935** | 0,460** | 1 | | | | | | | |
| C | -0,231 | -0,133 | 0,041 | 0,771** | 0,658** | 0,859** | 0,440** | 1 | | | | | | |
| N | -0,227 | -0,189 | 0,136 | 0,842** | 0,607** | 0,873** | 0,514** | 0,860** | 1 | | | | | |
| Arena | 0,076 | -0,017 | 0,444** | -0,140 | -0,075 | 0,075 | -0,019 | -0,122 | -0,026 | 1 | | | | |
| Limo | 0,048 | 0,055 | 0,147 | 0,245* | 0,085 | 0,279* | 0,016 | 0,251* | 0,202 | 0,217 | 1 | | | |
| Arcilla | -0,088 | -0,024 | -0,382** | -0,083 | -0,025 | -0,244* | 0,028 | -0,095 | -0,218 | -0,728** | -0,812** | 1 | | |
| SE _{BET} | 0,387** | 0,235 | -0,300* | -0,271* | -0,134 | -0,366** | -0,072 | -0,243* | -0,366** | -0,339 | -0,341** | 0,427** | 1 | |
| SE _{tpct} | 0,37** | 0,216 | -0,320** | -0,274* | -0,128 | -0,371** | -0,070 | -0,233 | -0,369** | -0,369 | -0,379** | 0,471** | 0,997** | 1 |

These two groups of volcanic rocks already have been differentiated by SSA values. Several parameters obtained from NAIs allowed discrimination between soils developed over acid and basic materials. The most sensitive were those related to the width of the singularity spectrum ($\alpha_{\max}-\alpha_{\min}$), ($F = 10.79, P < 0.002$), the width of the generalized dimension spectrum, ($D_{-5}-D_5$), ($F = 9.72, P < 0.03$), as well as the Hölder exponent of order zero, α_0 ($F = 5.78, P < 0.019$). Parameters derived from multifractal analysis of NDIs, however, were not sensitive to parent material composition. These results suggest specific effects of parent material on multifractal parameters gathered either from NAIs or from NDIs.

Nitrosols and Ferralsols are soil groups from tropical and subtropical regions distinguished to some extent by different weathering intensity (e.g. WRB, 2006). Multifractal parameters obtained from NAIs and NDIs showed no significant differences between Nitrosols and Ferralsols. In this instance, also SSA was not significantly different as above shown. This information may be relevant for the purpose of soil classification and correlation between different taxonomic systems.

Table 46 list correlation coefficients from multifractal parameters to organic matter content, clay percent and SSA_{BET} . Organic carbon content was positively correlated to parameters D_{-5} , D_1 and H , and negatively correlated to (D_0-D_2), ($D_{-5}-D_5$) and α_0 obtained from both, NAIs and NDIs. However, in general correlation coefficients were higher for multifractal parameters estimated from NAIs than for those appraised from NDIs, being the exception ($D_{-5}-D_5$). Hence, the higher the organic carbon content, the more evenly distributed and the more persistent the measure is, and this effect is more conspicuous for the adsorption than for the desorption phase. Also, the higher the organic carbon content is, the lower the heterogeneity of the measure, which again is more apparent for adsorption than for desorption isotherms.

In opposite to organic carbon content, clay content was best correlated to parameters obtained from multifractal analysis of NDIs. Significant negative correlations were found for D_{-5} , D_1 and H , whereas (D_0-D_2), ($D_{-5}-D_5$), D_5 and α_0 showed positive relationships. Therefore, for desorption isotherms, the higher the clay content is, the less evenly distributed and the less persistent the measure is. Again for desorption isotherms, higher clay contents implied higher heterogeneity of the measure. The width of the generalized dimension, ($D_{-5}-D_5$), was the only within the NAIs multifractal parameter examined that

showed significant correlation to clay content. However PCA and correlation analysis indicate a weak association within clay content and the remaining multifractal parameters estimated from NAIs.

Table 47. Correlation coefficients between multifractal parameters obtained from NAIs and NDIs with organic matter content, clay percent and SSA_{BET} .

| | D_{-5} | D_5 | $(D_{-5}-D_5)$ | D_1 | (D_0-D_2) | H | α_0 |
|------------------|----------|---------|----------------|-----------|-------------|----------|------------|
| Adsorption (NAI) | | | | | | | |
| Organic C | 0.459*** | -0.192 | -0.263* | 0.500*** | 0.512*** | 0.459*** | -0.352** |
| Clay | -0.105 | 0.241 | 0.244* | -0.106 | 0.108 | -0.105 | 0.238 |
| SSA_{BET} | 0.206 | 0.391** | 0.325** | -0.041 | -0.123 | 0.206 | 0.294* |
| Desorption (NDI) | | | | | | | |
| Organic C | 0.361** | -0.221 | -0.339** | 0.398** | -0.393** | 0.361** | -0.359** |
| Clay | 0.426*** | 0.360** | 0.476*** | -0.497*** | 0.463*** | 0.426*** | 0.553*** |
| SSA_{BET} | -0.014 | 0.264* | 0.195 | -0.055 | 0.000 | 0.014 | 0.161 |

(* , ** and *** correspond to $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$, respectively)

Multifractal parameters were obtained from adsorption and desorption N_2 isotherms using experimental data for the whole p/p_0 range, whereas SSA and fractal parameters can be only estimated from a limited segment of this range. Multifractal analysis provides additional information, which reveals the hidden structure of nitrogen adsorption and desorption isotherms. So, in this perspective, changes in multifractal parameters can reflect the effect of several soil properties and specific soil forming factors on the soil pore-surface system.

5 CONCLUSIONES/ CONCLUSIONS/ CONCLUSÕES

5. 1. CONCLUSIONES

1) La superficie específica de los agregados de los suelos estudiados varió entre 20,1 m^2g^{-1} en el horizonte A de un Alisol a 108,3 m^2g^{-1} , valor encontrado en el perfil 6, de un Nitisol. Se observaon variaciones entre los grupo de suelos; dentro del mismo grupo, entre los suelos formados por distintos materiales de partida y también entre los horizontes de cada perfil. Los valores encontrados, presentan relaciones con las propiedades generales analizadas en estos suelos, sobre todo con su composición granulométrica, y ello tanto en lo que respecta a los contenidos de arcilla como a la mineralogía de dicha fracción.

2) Se llevó a cabo el análisis multifractal de series de NAIs y NDIs que contenína entre 54 y 66 puntos. Se empleó el método directo para calcular el espectro de singularidad y se aceptaron los puntos del espectro de singularidad $[f(\alpha)-\alpha]$ con coeficientes de correlación $R^2 > 0.90$. La función exponente de masa se calculó usando el método de los momentos en el rango de momentos $-5 \leq q \leq 5$ y, en este rango, los coeficientes de correlación entre el logaritmo de la medida normalizada y el logaritmo de la escala fueron mayores que 0.975. Mediante el análisis de los espectros de singularidad y de dimensiones generalizadas fue posible comprobar que las curvas de adsorción y de desorción de nitrógeno obtenidas por adsorción y deserción de nitrógeno de los agregados de los suelos presentaran naturaleza multifractal.

3) Diversos parámetros multifractales obtenidos de las isothermas de adsorción y deserción de nitrógeno, como D_1 , $(D_{-5}-D_5)$, (D_0-D_2) o de los espectros de singularidad, como α_0 presentaron diferencias significativas ($P < 0.0001$). La menor entropía de dimensión, D_1 , obtenida par alas isothermas de adsorción pone de manifiesto que las mismas son medidas que presentan una distribución menos regular que las isothermas de deserción. Las amplitudes de la dimensión generalizada y del espectro de singularidad fueron mayores para las isothermas de adsorción que para las de deserción, lo que indica un mayor grado de multifractalidad o heterogeneidad de escala de las primeras en relación a las segundas.

4) Por otro lado, los parámetros multifractales extraídos de los espectros de singularidad y de dimensiones generalizadas reflejaran las principales características de la distribución de poros, relacionados a superficie específica. Además el conocimiento detallado de la porosidad del suelo permitió inferir conclusiones importantes para comprender el movimiento y retención del agua en los suelos estudiados.

5) La superficie específica del suelo y varios parámetros multifractales permitieron establecer diferencias significativas entre suelos desarrollados sobre materiales de partida sedimentarios y plutónicos, por un lado, y volcánicos por otro lado. Sin embargo, ni la superficie específica ni los parámetros multifractales permitieron establecer diferencias entre suelos con distinta intensidad de meteorización, como son los Nitisoles y los Ferralsoles.

6) El análisis de componentes principales, junto con el análisis de regresión puso de manifiesto una correlación positiva de la superficie específica con el contenido de arcilla y con la capacidad de cambio de cationes y negativa con el contenido de carbono orgánico. Además se comprobó que los parámetros multifractales centrales obtenidos de NAIs y NDIs estaban relacionados con el carbono orgánico y el contenido en arcilla, respectivamente.

7) Se presenta evidencia indicando que la información obtenida en este trabajo podrán ser extrapoladas y replicadas en paisajes y regiones con presencia de suelos similares, lo que amplía el alcance de la investigación llevada a cabo.

5.2. CONCLUSIONS

1) Soil specific surface area determined by the BET method ranged from $20.1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ in the A horizon of an Alisol to $108.2 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ in the soil profile of a Nitisol. Variations in soil specific surface values have been found between different soil groups, within a given soil group, between soils developed on different parent materials, and also between horizons of a given soil profiles. Soils specific surface values were correlated with different soil general properties analyzed in the studied soils, and this correlations were mainly strong to granulometric composition, both regarding particle size distributions and clay content, on the one hand and clay mineralogy on the other hand.

2) Multifractal analysis from NAIs and NDIs containing 54 to 66 data points was performed. Using the direct method, points $[f(\alpha)-\alpha]$ of the singularity spectra were accepted for regressions with $R^2 > 0.90$. The mass exponent functions calculated with the method of moments in the range $-5 \leq q \leq 5$ showed regressions between normalized measure versus measurement scale higher than 0.975. The multifractal behavior of both, nitrogen adsorption and desorption isotherms was clearly expressed notably in the increasing differences of the singularity dimension spectrum, $f(\alpha_{-q}) - f(\alpha_q)$ and generalized dimension spectrum ($D_{-q}-D_q$) as a function of the absolute value of statistical moment, q .

3) Several multifractal parameters from nitrogen adsorption and desorption isotherms, such as D_1 , ($D_{-5}-D_5$), (D_0-D_2) or α_0 , were quite significantly different, ($P < 0.0001$). The lower entropy dimensions, D_1 , of adsorption isotherms showed they were less evenly distributed measures than desorption isotherms. Widths of generalized dimension and singularity spectra for adsorption isotherms were larger than those for the respective desorption isotherms, indicating a higher degree of multifractality or scaling heterogeneity of the former. Adsorption isotherms were less persistent than desorption isotherms, as indicated by the Hurst exponent.

4) On the other hand, the multifractal parameters assessed in this study from singularity spectra and generalised dimension spectra allow to distinguish the main characteristics of the pore size distributions in the range used for assessing soil specific surface area. Moreover, detailed knowledge of soil porosity at this level has been found to be useful for inferring features about soil water movement.

5) Soil specific surface and various multifractal parameters differentiated between soils developed over either acid or basic volcanic parent materials. However, neither SSA nor multifractal parameters differentiate between soil groups with high intensity weathering, namely Nitosols and Ferralsols.

6) Regression analysis and principal component analysis clearly showed a positive correlation from soil specific surface area to clay content and cation exchange capacity, whereas a negative correlation was found between soil specific surface area and cation exchange capacity. Moreover the scaling properties of NAIs and NDIs and its central multifractal parameters were affected by organic carbon and clay.

7) This work also provides evidence, indicating that the information obtained about the studied soils could be extrapolated and replicated in other landscapes and regions, where similar soils are developed. This fact is thought to amplify the scope of the investigation carried out here.

5. 3. CONCLUSÕES

1) A superfície específica dos agregados dos solos estudados variou de $20,1\text{m}^2\text{g}^{-1}$ no horizonte A de um Alisol a $108,3\text{ m}^2\text{g}^{-1}$, valor encontrado no perfil dun Nitisol. As variações foram observadas entre as classes de solos; dentro da mesma classe entre solos formados por diferentes materiais de origem e também nos perfis quando comparados seus horizontes. Os valores encontrados foram relacionados com características analisadas nos solos, sobretudo com sua composição granulométrica tanto no que se refere ao conteúdo de argila, quanto a mineralogia desta fração.

of the singularity spectra were accepted for regressions with $R^2 > 0.90$. The mass exponent functions calculated with the method of moments in the range $-5 \leq q \leq 5$ s

2) Levou-se a cabo a análise multifractal de séries de NAIs e NDIs que continham entre 54 e 66 pontos. Empregou-se o método direto para calcular o espectro de singularidade e aceitaram-se os pontos do espectro no intervalo $[f(\alpha)-\alpha]$, com coeficientes de correlação $R^2 > 0.90$. A função expoente de massa calculou-se usando o método dos momentos na faixa de momentos $-5 < q < 5$ e, nesta faixa, os coeficientes de correlação entre o logaritmo da medida padrão e o logaritmo da escala foram maiores que 0.975. Mediante a análise dos espectros de singularidade e também de dimensões generalizadas foi possível comprovar que as curvas de adsorção e de desorção de nitrogênio dos agregados dos solos apresentassem natureza multifractal.

3) Diversos parâmetros multifractais obtidos das isotermas de adsorção e de desorção de nitrogênio, como D_1 , $(D-5-D_5)$, (D_0-D_2) ou dos espectros de singularidade, como α_0 , apresentaram diferenças significativas ($P < 0.0001$). A menor entropia da dimensão, D_1 , obtida par as isotermas de adsorção põe de manifesto que as mesmas são medidas que apresentam uma distribuição menos regular que as isotermas de desorção. As amplitudes da dimensão generalizada e do espectro de singularidade foram maiores para as isotermas de adsorção que para as de desorção, o que indica um maior grau de multifractalidade ou heterogeneidade de escala das primeiras em relação às segundas.

4) Os parâmetros multifractais extraídos dos espectros de singularidade e de dimensões generalizadas refletiram as principais características da distribuição de tamanho de poros, relacionados à superfície específica. A porosidade detalhada exibiu

variações relacionadas às características dos solos importantes para a compreensão do movimento e retenção de água.

5) A superfície específica do solo e vários parâmetros multifractais permitiram estabelecer diferenças significativas entre solos desenvolvidos sobre materiais de partida sedimentários e plutônicos, por um lado, e vulcânicos por outro lado. No entanto, nem a superfície específica nem os parâmetros multifractais permitiram estabelecer diferenças entre solos com diferente intensidade de intemperismo como são os Nitisoles e os Ferralsoles.

6) A análise de componentes principais, junto com a análise de regressão pôs de manifesto uma correlação positiva da superfície específica com o conteúdo de arcilla e com a capacidade de mudança de cationes e negativa com o conteúdo de carbono orgânico. Ademais comprovou-se que os parâmetros multifractais centrais obtidos de NAIs e NDIs estavam relacionados com o carbono orgânico e o conteúdo em arcilla, respectivamente.

7) As informações obtidas poderão ser replicadas e extrapoladas para áreas onde ocorram solos semelhantes, ampliando o alcance desta pesquisa. Isto amplia o alcance da investigação levada a cabo

6. BIBLIOGRAFÍA

ANDELBROT, B.B., Intermittent turbulence in self-similar cascades: Divergence of high moments and dimension of the carrier. *J. Fluid Mech*, 1974, vol. 62, p.331-358.

BARRETT, E.P., L.G. JOYNER, AND P.P. HALENDA. The determination of pore volume-area distribution in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms. *J. Am. Chem. Soc.*, 1951, vol. 73, p. 373–380.

BARTOLI, F., A.J. POULENARD, AND B.E. SCHOULLER. Influence of allophane and organic matter contents on surface properties of Andosols. *Eur. J. Soil Sci.*, 2007. vol. 58 p.450–464.

BRANTLEY S., MELLOTT N. Surface area and porosity of primary silicate minerals. *American Mineralogist*, 2000, vol. 85, p.1767-1783.

BRUNAUER S., L.S. DEMING, W.E. DEMING & E. TELLER. —On a theory of the vander Waals adsorption of gases. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1940, vol. 62, p. 1723-1732.

BRUNAUER, S., P.H. EMMETT, AND E. TELLER. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.*, 1938, vol 60, p. 309–319.

CANTOR, G. Grundlagen einer allgemeinen Mannichfaltigkeitslehre. *Mathematische Annalen*, 1883. vol. 21, p. 545-591.

CARVALHO, H. C. *Geometria Fractal: perspectivas e possibilidades no ensino de matemática*. Belém, Universidade Federal do Pará, Curso de Pós- Graduação em Ensino em Ciência e Matemática, 2005. 101p. Dissertação (Mestrado em Educação).

CHHABRA, A.B., JENSEN, R.V. Direct determination of the $f(\alpha)$ singularity spectrum. *Phys. Rev. Lett.*, 1989. vol. 62, p. 1327–1330.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas: SBCS, 1993. 90 p.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Research* 1988, vol.11, p.199-238.

DOKUCHAIEV, V. V. *Informe al Comité Estadístico de Transcaucasia sobre la evolución en general de los suelos, y del Cáucaso en particular*. Tiflis: Tip. Kants Glavnonach. Grajd. Chasti na Kavkaze, 1899. 19 p.

DUBININ, M. M. *Quart. Rev. Chem. Soc.*, 1955, vol. 9, p. 101.

Eduard Punset entrevista a Benoît Mandelbrot disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=npOwA6fXevE>. Consulta: 08 junio 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Manual de métodos de análises de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EPAGRI. *Reunião Nacional de Correlação e Classificação de Solos (Santa Catarina) - RCC*, 8., 2008, Florianópolis, SC. 2008. Guia de excursao

FALCONER, K. J. Some multifractal analysis. *Techniques in Fractal Geometry*. John Wiley & Sons., 1997, p. 185–206.

FALCONER, K. J. *Fractal Geometry. Mathematical Foundations and Applications*. John Wiley & Sons, Chichester, 1990.

FAO, 2006. World Reference Base of Soil resources, *A framework for international classification, correlation and communication*. Rome, 2006.: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 128p.

FROLOVA, M. *Le paysage des géographes russes: l'évolution du regard géographique entre le XIX et le XX siècle*. Cybergéo, 2000, n°143.

GERARD A. I., *Soil and landforms: an integration of geomorphology and pedology*. George Allen and Unwin, Boston, M.A. 1981.

GLEICK, J. *Chaos: making a new science*, Viking Penguin, New York. 1987.

GOVAERTS B, SAYRE K, DECKERS JA minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil Till Res.*, 2006, vol. 87, p. 163–174.

HARKINS, W.D.; JURA, G. *Journal American Chemistry Society*, 1944, 66, 1366.

HOWARD, G. J.; MISGLEY, C. A. *J. Appl. Polymer. Sci.* 1981, 26, 3845-3870.

IBAÑEZ, J.J. Taxonomía de suelos y los espectros multifractales. 2006. Consulta en 12 noviembre 2014. Disponible en www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/10/28/48377.

INGELMO SÁNCHEZ, F.; & S. CUADRADO SÁNCHEZ. *El agua y el medio físico del suelo. Temas monográficos*. Centro de Edafología y Biología Aplicada (C.S.I.C.) Salamanca, España, 1986, 101 pp.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 15901-2 Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption—Part 2: Analysis of mesopores and macropores by gas adsorption. 2006.

IUPAC Manual of symbols and Terminology. Appendix 2, Pt 1, Colloid and Surface Chemistry. *Pure Appl. Chem.*, 1972 vol. 31, 578p.

JENNY, H. *Factors of Soil Formation*. McGraw Hill, Inc., New York, 1941. 289 p.

KAY, D., Rates of changes of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Sciences*, 1990, vol 12, p. 1-41.

KIEHL, E. J. *Manual de edafología. relações solo-planta*. São Paulo, Ceres, 1979. 262p.

LANGMUIR, I. (1916): —The constitution and fundamental properties of solids and liquids. part I: solids. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1916, Vol. 38, 2221-2295.

LIPPENS, B. C.; BOER, J. H. Studies on pore system in catalysts V the t method. *Journal of Catalysis*. Department of Chemical Technological University of Delft, Netherland, 1965, 4, p.319-323.

LUZ, L. R. Q. P. *Aspectos pedológicos relacionados à irrigação em tabuleiros costeiros (Platô de Neópolis)*. Orientador: Sérgio Lázaro de Lima. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2005. 172p. il.

MANDELBROT, B. B. Les objets fractals. *La Recherche*, 1978, vol. 9 (85): p. 5-13.

MANDELBROT, B.B. *Fractality, lacunarity and the near-isotopic distribution of galaxies*. Current Topics in Astrofundamental Physics. Eds. N. Sanchez & A Zichichi. Dordrecht: Kluwer, 1998. p. 585-603.

MIRANDA, J. G. V., *Análisis fractal del microrrelieve del suelo*. Director: Antonio Paz González. Tese de Doutorado - Universidad de La Coruña, Facultad de Ciencias, 2000.

MIRANDA, J. G. V., MONTERO E., ALVES M.C., PAZ GONZÁLEZ A., VIDAL-VÁZQUEZ, E. Multifractal characterization of saporlite particle-size distributions after topsoil removal. *Geoderma*, 2006, vol.134, p. 373-385.

MUHS, D. R., Instrinsic Thresholds in soil systems. *Physical Geography*. 1984, vol. 5, p. 99-110.

OLIVEIRA, J.B. *Pedologia aplicada*. 3. ed. Piracicaba:FEALQ, 2008. 592p.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAM, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R. *Atlas climáticos digital do Estado de Santa Catarina* (CRRom). Florianópolis: Epagri, 2002.

PAZ-FERREIRO, J. LUZ, L. R. Q. P. da LADO, M. VIDAL VÁZQUEZ, E. Specific surface area and multifractal parameters of associated nitrogen adsorción and desorción isotherms in soils from Santa Catarina, Brasil. *Vadoze Zone Journal*, 2013, 14p.

PEANO, G. Sur une Courbe, qui remplit une aire plane. *Mathematische Annalen*, 1980, vol. 36, p.157-160.

PEITGEN, H. O. JÜRGENS, H., SAUPE, D. *Chaos and fractals: new frontiers of science*. Springer, Berlin, 1992.

PENNELL, K.D. Specific surface area. In G.C. Topp and J. Dane, editors, Methods of soil analysis, part 4, physical methods. *American Society of Agronomy*, Madison, WI. 2003, p. 295–315.

PORTA, J.; LOPEZ ACEVEDO, M.; ROQUERO C. *Edafología para a agricultura y el medio ambiente*. 2ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 1999. 849p.

POSADAS, A. N. D., GIMÉNEZ D., QUIROZ, R., PROTZ R., Multifractal characterization of soil pore systems. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, vol. 67, p. 1361-1369.

SANTIAGO, C. *La fisisorción de nitrógeno. Fundamentos físicos, normativa, descripción del equipo y procedimiento experimental*. Madrid, 2012. 115p. Consulta en 01 de mayo de 2014. Disponible en: <http://pt.scribd.com/doc/86917380/fisisorcion-nitrogeno#scribd>.

SCHIPPER, L.A., AND SPARLING, G.P. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, 2000, vol 64. p. 300–311.

SIX, J. et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. *Agronomie, Les Ulis*, v. 22, n. 7/8, p. 755-775, 2002.

SIX, J., R.T. CONANT, E.A. PAUL, AND K. PAUSTIAN. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, 2002, vol. 241. p.155–176.

SOKOLOWSKA, Z., M. BOÓKO, J. RESZKO_ZYGMUNT, and S. SOKOLOWSKI. 2002. Adsorption of nitrogen and water vapor by alluvial soils. *Geoderma* 107:33-54.

SOKOLOWSKA, Z., M. HAJNOS, E.A. ELIAS, and F. ALAILY. 2004. Characteristics of the specific surface area of Vertisols from the Gezira region in Sudan. *International Agrophysics* 18:83-90.

STEWART, I., ¿Juega Dios a los dados? Editorial Crítica, Barcelona, 1989, 319 pp.

TEXEIRA, V.G.; COUTINHO, F.M.B.; GOMES, A. S. Principais métodos de caracterização da porosidade em resinas à base de divinilbenzeno. *Química Nova*, 2001, vol. 24, Nº 6, p.808-818.

TURCOTTE, D.L. 1992. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, 221 pp.

UNITED STATES. United State Department of Agriculture - USDA. Soil Survey Staff. Soil taxonomy : a basis system of soil classification for making and interpreting soil survey. Washington:U.S. Government Printing Office, 1975. 754p. (Agricultural Handbook, 436).

VÁZQUEZ, E., J. PAZ FERREIRO, J.G.V. MIRANDA, Y A. PAZ GONZÁLEZ, Multifractal analysis of pore size distributions as affected by simulated rainfall. *Vadose Zone Journal* 2008. vol. 7 (2), p. 500-511.

VIDAL VÁZQUEZ, E., MESTAS, R. V. , MIRÁS AVALOS, J. M. , SIQUEIRA, G. M. , DAFONTE D. J., PAZ FERREIRO, J., J. G. V. *Caracterización Multifractal de la distribución de tamaño de poro medida por inyección de mercurio*. En: Silva, O., Carrera, J. (Eds.), Estudios en la zona no saturada del suelo, Vol. IX, Barcelona, 2009.

VIDAL VÁZQUEZ, E.; MIRANDA, J.G.V.; PAZ GONZÁLEZ, A. Describing soil surface microrelief by crossover length and fractal dimension. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 2007, vol.14, p.223-235,

Vidal-Vázquez, E., J. Paz-Ferreiro. Multifractal characteristics isotherms from tropical soils. *Soil Sci.*, 2012., vol. 177, p.120–130.

VIRTO, I.; BARRE, P.; CHENU, C. Microaggregation and organic matter storage at the silt-size scale. *Geoderma*, Amsterdam, 2008, vol. 146, p. 326-335,

WRB. A framework for international classification, correlation and communication. World Soil Resources Report. Nº 103. FAO, Rome, 2006.

XIONG, G; ZHANG, S. SHU, L. *The Legendre multifractal spectrum distribution based on WTMM*. Electronic Engineering Dept. Njust, Nanjung China. Automatics Station,

SHRAD, Shangai, China. 2010. International workshop on caos - fractal theory an its applications. Consulta en 09 julio 2014. Disponible en: ieeexplore.ieee.org/stamp.jsp?arnumber=5671256.

YAMAGUTI, M. *Caracterização multifractal*. Orientador: Carmen Pimentel Cintra do Prado. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Física - Departamento de Física Geral, São Paulo,1997. 181p.

ANEXO 1 - PERFIS DOS SOLOS ESTUDADOS

Perfil - P1

Data - 07/07/2008

Classificação Brasileira - Argissolo Bruno Alítico húmico nitossólico, textura argilosa, Tb, caulínítico, hipoférrico, fase floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo ondulado.

Classificação da FAO - Alisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Ultisol

Localização - Rodovia BR 282 - Localidade Rancho Queimado - município de Alfredo Wagner, distando 26,4 km do trevo de acesso.

Coordenadas - 27° 40' 03,5" S; 49° 11' 11,4" W.

Posição na paisagem, declividadee e cobertura vegetal sobre o perfil - Terço médio de encosta com 12% de declividadee sob pastagem

Altitudee - 833m

Litologia - Argilitos e Siltitos

Formação geológica - Formação Rio Bonito

Material de origem - Decomposição das rochas citadas acima.

Cronologia - Pérmico

Relevo regional - Forte ondulado

Relevo local - Ondulado

Erosão - Moderada

Drenagem interna do solo - moderadamente bem drenado

Vegetação Primária - Pastagem

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Descrição e amostragem do perfil e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DO PERFIL MORFOLÓGICA

- A1 0–13 cm; bruno (10YR 4/3, úmido); bruno (10YR 5/3, seco); franco argilosa: fraca a moderada média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A2 13–31 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); bruno (10YR 5/3, seco); argila; moderada a fraca média bloco subangulares e moderada a fraca pequena granular; friável; plástica e pegajosa; transição clara e ondulada (31/38).
- AB 31/38–55 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); bruno (10YR 5/3, seco); argila; moderada média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- BA 55–70 cm; bruno (10YR 4/3, úmido); cinzento brunado claro (10YR 6/2, seco); argila; moderada a fraca média e grande blocos subangulares; firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Bt1 70–93 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, úmido); cinzento brunado claro (10YR 6/2, seco); argila; moderada média e grande blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; firme; plástica e pegajosa, transição gradual e plana.
- Bt2 93–132 cm; bruno amarelado (10YR 5/5, úmido); mosqueado pouco pequeno e distinto 5YR 6/8 e mosqueado cinza comum e médio distinto (2,5YR 6/2); argila; moderada média e grande blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; firme; plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- BC 132–152 cm+; bruno amarelado (10YR 5/6, úmido); mosqueado pouco pequeno e distinto 5YR 6/8; argila; moderada grande prismática que se desfaz em moderada grande blocos subangulares; firme a muito firme; plástica e pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

- Raízes: muitas, fasciculadas e finas no A1; comuns, fasciculadas e finas no A2 e no AB; comuns e poucas no BA; poucas no Bt1; raras no Bt2 e BC
- Erosão em voçoroca no dreno da estrada ao lado do barranco
- Araucárias ao redor e pastagem no local de coleta
- Superfícies de compressão entre agregados no BC
- Intensa atividade biológica evidenciada por canais de cupins e formigas
- Cutans orgânicos até o Bt2

Análise física e química

Perfil 1

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação Silte Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|------------|---|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2-0,2mm | Areia Fina 0,02-0,05mm | Silte 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| A1 | 0-13 | 74 | 211 | 325 | 390 | 267 | 32 | 0,83 | - | - | - |
| A2 | 13-31/38 | 68 | 210 | 291 | 431 | 41 | 90 | 0,68 | - | - | - |
| AB | 31/38-55 | 68 | 234 | 247 | 451 | 41 | 91 | 0,55 | - | - | - |
| BA | 55-70 | 64 | 214 | 250 | 472 | 0 | 100 | 0,53 | - | - | - |
| Bt1 | 70-93 | 51 | 177 | 258 | 514 | 0 | 100 | 0,50 | - | - | - |
| Bt2 | 93-132 | 70 | 250 | 230 | 450 | 0 | 100 | 0,51 | - | - | - |
| BC | 132-152 | 67 | 245 | 259 | 429 | 0 | 100 | 0,60 | - | - | - |

| Horizonte | pH água | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | Al ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por bases (V) | $\frac{100 \cdot Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ % | P Assimilável mg/kg | $\frac{100Na^+}{T}$ % |
|-----------|-----------------------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|-----|-------------------------|--|------------------------|--------------------------|
| | cmol _c /kg | | | | | | | | | | | | | |
| A1 | 4,4 | 3,9 | 1,2 | 0,23 | 0,04 | 1,5 | 8,7 | 10,6 | 20,8 | 7 | 85 | 2 | <1 | |
| A2 | 4,5 | 4,1 | 0,5 | 0,12 | 0,01 | 0,6 | 8,0 | 8,7 | 17,3 | 3 | 93 | 1 | <1 | |
| AB | 4,5 | 4,1 | 0,4 | 0,10 | 0,01 | 0,5 | 8,9 | 9,8 | 19,2 | 3 | 95 | 1 | <1 | |
| BA | 4,8 | 4,1 | 0,6 | 0,06 | 0,01 | 0,7 | 8,7 | 6,9 | 16,3 | 4 | 93 | 1 | <1 | |
| Bt1 | 4,7 | 4,1 | 0,4 | 0,07 | 0,02 | 0,5 | 9,2 | 5,2 | 14,9 | 3 | 95 | <1 | <1 | |
| Bt2 | 4,7 | 4,0 | 0,5 | 0,06 | 0,01 | 0,6 | 7,7 | 3,7 | 12,0 | 5 | 93 | <1 | <1 | |
| BC | 4,7 | 4,0 | 0,4 | 0,06 | 0,01 | 0,5 | 8,0 | 3,4 | 11,9 | 4 | 94 | 1 | <1 | |

| Horizonte | C (orgânico) g/kg | N g/kg | C/N | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|----------------------|-----------|-----|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ki) | $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (Kr) | $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$ |
| A1 | 30,4 | 2,7 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| A2 | 17,7 | 2,2 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 16,2 | 1,6 | 10 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 11,5 | 1,5 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt1 | 8,5 | 1,2 | 7 | 148 | 153 | 34 | 5,6 | 1,64 | 1,44 | 7,06 |
| Bt2 | 4,3 | 0,9 | 5 | 141 | 141 | 35 | 5,2 | 1,70 | 1,47 | 6,32 |
| BC | 3,4 | 0,7 | 5 | 135 | 146 | 31 | 5,5 | 1,57 | 1,38 | 7,39 |

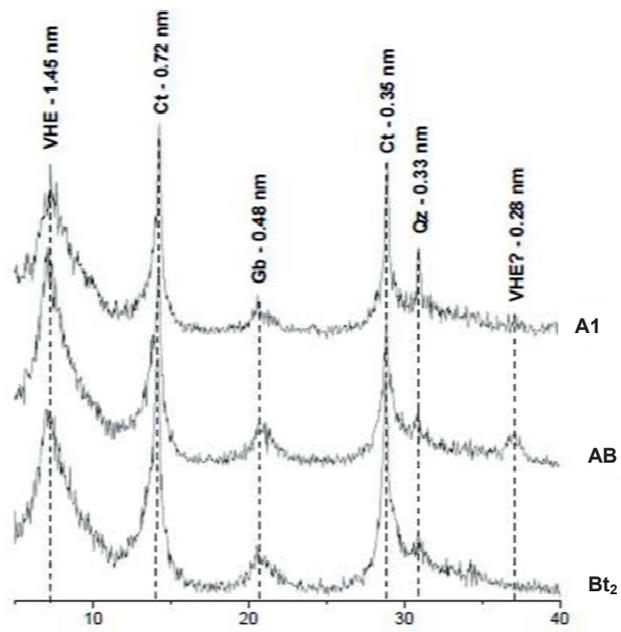


Figura 01: Diffractograma de raio-X da fração Argila desferificada dos horizontes do perfil 1 (lâminas orientadas). Ct = caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibsita.

Perfil - P2

Classificação Brasileira - Nitossolo Bruno Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulínítico, mesoférrico, fase moderadamente rochosa, floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo ondulado.

Classificação da FAO - Nitisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Ultisol

Localização - Rodovia SC-438, em direção ao município de São Joaquim, distante 21,4 km do trevo em barranco do lado esquerdo da Rodovia. Município de Paineira.

Coordenadas - 27° 53' 41,8"S; 50° 07' 45"W

Posição na Paisagem, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil - Terço médio com 15% de declive, sob vegetação composta por araucárias y bosques de galeria.

Altitude - 1.150m

Litologia - Basalto

Formação geológica - Grupo São Bento; Formação Serra Geral

Material de origem - Produto da decomposição do basalto

Relevo regional - ondulado

Relevo local - ondulado

Erosão - não aparente

Drenagem interna do solo - moderadamente drenado

Vegetação Primária - Floresta de araucárias

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Descrição e amostragem do perfil e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murillo Pundek, João Bertoldo de Oliveira, César da Silva Chagas, José Augusto Laus Neto, Denílson Dortzbach e André da Costa.

DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DO PERFIL MORFOLÓGICA

- A 0 -17 cm; bruno (7,5YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca blocos subangulares e moderada pequena e média granular; ligeiramente duro a duro; friável a firme; plástica e pegajosa, transição gradual e plana.
- AB 17-43 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca grande blocos subangulares; duro; firme; plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- BA 43-63 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca média blocos subangulares; firme; duro; plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bt1 63-94 cm; vermelho amarelado (5YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada grande prismática que se desfaz em moderada média blocos subangulares, duro; firme; plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bt2 94-127 cm; bruno amarelado escuro 9YR 4/6, (úmido); bruno amarelado (10YR 5/8, seco); muito argilosa; moderada a forte prismática que se desfaz em moderada média e grande blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; firme; plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bt3 127-146 cm; bruno amarelado escuro (10YR, 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada média e grande blocos angulares; cerosidade fraca e comum; firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- Bt4 146-174cm; bruno amarelado (10YR 5/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); argilosa; moderada grande blocos subangulares; firme a muito firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e plana.
- BC 174-190 cm+. 95

OBSERVAÇÕES:

Raízes: muitas fasciculadas no horizonte A; muitas fasciculadas no AB, comuns fasciculadas no BA; poucas no Bt1 e raras nos demais horizontes.

Análise física e química

Perfil 2

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação Silte Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|------------|-----------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|------------|---|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2-0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Silte 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| A | 0-17 | 50 | 31 | 256 | 663 | 414 | 38 | 0,39 | - | - | - |
| AB | 17-43 | 64 | 43 | 211 | 682 | 21 | 97 | 0,31 | - | - | - |
| BA | 43-63 | 54 | 35 | 189 | 722 | 0 | 100 | 0,26 | - | - | - |
| Bt1 | 63-94 | 39 | 37 | 201 | 723 | 0 | 100 | 0,28 | - | - | - |
| Bt2 | 94-127 | 43 | 43 | 212 | 702 | 0 | 100 | 0,30 | - | - | - |
| Bt3 | 127-146 | 45 | 39 | 214 | 702 | 0 | 100 | 0,30 | - | - | - |
| Bt4 | 146-174 | 56 | 56 | 227 | 661 | 0 | 100 | 0,34 | - | - | - |
| BC | 174-190 | 108 | 129 | 346 | 417 | 0 | 100 | 0,83 | - | - | - |

| Horizonte | pH água | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | AL ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por bases (V) | 100 $\frac{Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ % | P Assimilável mg/kg | 100Na ⁺ T % |
|-----------|-----------------------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|-----|-------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|
| | cmol _c /kg | | | | | | | | | | | | | |
| A | 5,0 | 4,3 | 2,6 | 0,17 | 0,04 | 2,8 | 2,5 | 10,2 | 15,5 | 18 | 47 | 1 | < 1 | |
| AB | 5,1 | 4,4 | 0,8 | 0,06 | 0,03 | 0,9 | 2,5 | 8,3 | 11,7 | 8 | 74 | 1 | < 1 | |
| BA | 5,1 | 4,4 | 0,5 | 0,03 | 0,01 | 0,5 | 2,5 | 5,9 | 8,9 | 6 | 83 | < 1 | < 1 | |
| Bt1 | 5,2 | 4,4 | 0,5 | 0,02 | 0,01 | 0,5 | 1,9 | 4,8 | 7,2 | 7 | 79 | 1 | < 1 | |
| Bt2 | 5,4 | 4,4 | 0,6 | 0,03 | 0,01 | 0,6 | 1,8 | 4,9 | 7,3 | 8 | 75 | 1 | < 1 | |
| Bt3 | 5,3 | 4,4 | 0,6 | 0,02 | 0,01 | 0,6 | 1,7 | 5,0 | 7,3 | 8 | 74 | 1 | < 1 | |
| Bt4 | 5,4 | 4,3 | 0,8 | 0,03 | 0,01 | 0,8 | 2,5 | 4,9 | 8,2 | 10 | 76 | 1 | < 1 | |
| BC | 5,5 | 4,3 | 0,6 | 0,04 | 0,02 | 0,7 | 2,6 | 5,6 | 8,9 | 8 | 79 | 5 | < 1 | |

| Horizonte | C (orgânico) g/kg | N g/kg | C/N | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|-------------------|--------|-----|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ki) | $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (Kr) | $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$ |
| A | 31,9 | 2,7 | 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 21,2 | 1,8 | 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 14,1 | 1,2 | 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt1 | 7,3 | 0,8 | 9 | 188 | 190 | 120 | 43,4 | 1,68 | 1,20 | 2,49 |
| Bt2 | 4,9 | 0,7 | 7 | 186 | 199 | 126 | 45,5 | 1,59 | 1,13 | 2,48 |
| Bt3 | 4,2 | 0,7 | 6 | 202 | 212 | 123 | 43,3 | 1,62 | 1,18 | 2,71 |
| Bt4 | 3,9 | 0,6 | 6 | 198 | 202 | 119 | 48,3 | 1,67 | 1,21 | 2,65 |
| BC | 2,2 | 0,3 | 7 | 185 | 201 | 153 | 56,3 | 1,56 | 1,05 | 2,06 |

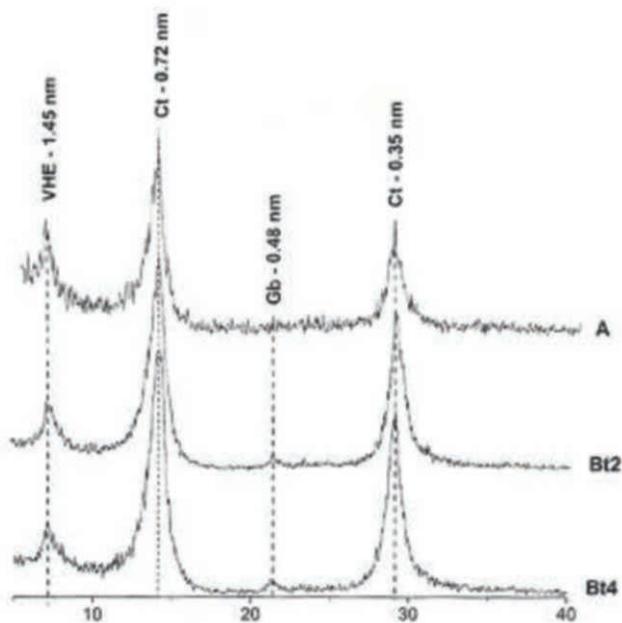


Figura 02: Difractograma de raio-X da fração Argila desferrificada dos horizontes selecionados do perfil P2 (lâminas orientadas). Ct = caulinita; VHE = vermiculita com hidroxí entrecamadas; Gb = gibsita) $\text{CoK}\alpha$

Perfil - P3

Data - 07/07/2008

Classificação Brasileira - Nitossolo Bruno Distroférico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulínico, mesoférico, fase floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo ondulado

Classificação da FAO - Nitisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Ultisol

Localização - trevo da BR -116 com a Rodovia SC 302, em direção ao município de Lesbon Regis, distante 1 Km do trevo, em um barranco a esquerda. Município de Santa Cecília.

Coordenadas - 26° 54' 55,3" S e 50° 27'13,6"W

Posição na Paisagem, declividadee e cobertura vegetal sobre o perfil - Barranco de estrada com 8% de declividadee (no perfil) e 10 a 20% (regional) sob plantação de pinheiros.

Altitudee - 1.075 m

Litologia - Basalto

Formação geológica - Grupo São Bento; Formação Serra Geral

Material de origem - Produto da decomposição de rocas basálticas

Relevo regional - Ondulado

Relevo local - Suave ondulado

Erosão - ligeira a fortemente erodido

Drenagem interna do solo - moderadamente drenado

Vegetação Primária - Bosque de Pinus (reflorestado)

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DO PERFIL MORFOLÓGICA

- Ap 0-15cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena e muito pequena granular; ligeiramente dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- AB 15-32 cm; bruno (10YR 4/3, úmido); muito argilosa; moderada grande a pequena blocos subangulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- BA 32-64 cm; bruno (10YR 4/3, úmido); muito argilosa; moderada pequena a grande blocos subangulares; extremamente dura, firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- Bt1 64-90 cm; bruno (7,5YR 4/3, úmido); muito argilosa; moderada média e grande blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; extremamente dura, firme, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bt2 90-152 cm; bruno (7,5YR 4/4, úmido); muito argilosa; moderada a fraca grande e média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; extremamente dura, firme a friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bt3 152-230+cm; bruno (7,5YR 4/4, úmido); muito argilosa; moderada a fraca grande e média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; extremamente dura, firme a friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

Observações:

Raízes: muitas fasciculadas finas nos horizontes Ap e AB; muitas a comuns finas no BA; comuns finas no Bt1; poucas finas no Bt2

Poros: muitos muito pequenos, comuns pequenos médios no horizonte Ap; comuns muito pequenos, comuns a poucos médios, poucos grandes e muito grandes no AB; comuns pequenos e muito pequenos, poucos médios nos horizontes BA, Bt1 e Bt2; poucos médios, comuns pequenos e muito pequenos no Bt3.

Análise física e química

Perfil 3

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação Silte Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------|---|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2-0,2mm | Areia fina 0,02- 0,05mm | Silte 0,05- 0,002 | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| Ap | 0-15 | 51 | 70 | 220 | 659 | 412 | 37 | 0,33 | - | - | - |
| AB | 15-32 | 51 | 68 | 242 | 639 | 41 | 94 | 0,38 | - | - | - |
| BA | 32-64 | 54 | 76 | 231 | 639 | 0 | 100 | 0,36 | - | - | - |
| Bt1 | 64-90 | 70 | 74 | 216 | 640 | 0 | 100 | 0,34 | - | - | - |
| Bt2 | 90-152 | 39 | 66 | 171 | 724 | 0 | 100 | 0,24 | - | - | - |
| Bt3 | 152-230 | 50 | 76 | 192 | 682 | 0 | 100 | 0,28 | - | - | - |

| Horizonte | pH | | Ca ²⁺ +Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | AL ³⁺ | H ⁺ | T | (V) | 100 . Al ³⁺ S+Al ³⁺ % | P Assimilável mg/kg | 100Na ⁺ T % |
|-----------|------|-----------|---------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|------------------|----------------|------|-----|---|---------------------------|------------------------------|
| | Água | KCl 1N | | | | | | | | | | | |
| Ap | 4,9 | 4,0 | 1,7 | 0,28 | 0,03 | 2,0 | 1,7 | 9,0 | 12,7 | 16 | 46 | 2 | <1 |
| AB | 4,8 | 4,0 | 0,8 | 0,09 | 0,01 | 0,9 | 2,3 | 7,4 | 10,6 | 8 | 72 | 1 | <1 |
| BA | 4,8 | 4,1 | 0,4 | 0,04 | 0,01 | 0,4 | 2,1 | 6,0 | 8,5 | 5 | 84 | 1 | <1 |
| Bt1 | 4,8 | 4,1 | 0,3 | 0,02 | 0,02 | 0,3 | 1,9 | 6,0 | 8,2 | 4 | 86 | 2 | <1 |
| Bt2 | 5,1 | 4,2 | 0,2 | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 1,1 | 5,0 | 6,3 | 3 | 85 | 3 | <1 |
| Bt3 | 5,3 | 4,3 | 0,3 | 0,01 | 0,02 | 0,3 | 0,6 | 4,2 | 5,1 | 6 | 67 | 2 | <1 |

| Horizonte | C (orgânico) g/kg | N g/kg | C/N | Ataque sulfúrico g/kg | | | | | | |
|-----------|-------------------------|-----------|-----|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---|---|--|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | SiO ₂ Al ₂ O ₃ (K) | SiO ₂ R ₂ O ₃ (Kr) | Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ |
| Ap | 22,8 | 2,0 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 16,5 | 1,3 | 13 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 11,3 | 1,0 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt1 | 9,6 | 0,7 | 14 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt2 | 5,2 | 0,5 | 10 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt3 | 3,4 | 0,4 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |

Perfil 4

Data - 24/06/2008

Classificação - Nitossolo Bruno Distroférico rúbico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulínítico, mesoférico, fase floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo suave ondulado

Classificação da FAO - Nitisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Ultisol

Localização - Rodovia SC 403, tramo entre os municípios de Lesbon Regis e Fraiburgo, distando 1,5 km da ponte sobre o rio Patos. Barranco de estrada ao lado direito. Município Lesbon Regis.

Coordenadas - 26° 56' 47,6" S e 50° 42'20,3"W

Posição na paisagem, declividadee e cobertura vegetal sobre o perfil - Barranco de estrada com 3% de declividadee (no perfil) e 15 a 20% (regional) sob plantação de pinheiros.

Altitudee - 1.010 m

Litologia - Basalto

Formação geológica - Grupo São Bento; Formação Serra Geral

Material de origem - Produto da decomposição das rocas basálticas

Relevo regional - Ondulado

Relevo local - Suave ondulado

Erosão - não aparente

Drenagem interna do solo - bem drenado

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Descrição e amostragem do perfil e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DO PERFIL MORFOLÓGICA

- O 3–0cm; serrapilheira.
- A1 0–4/7cm; bruno escuro (7,5YR 3/3, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; forte muito pequena e pequena granular, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- A2 4/7–19cm; bruno escuro (7,5YR 3/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- AB 19–28cm; bruno avermelhado (5YR 4/3, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena média blocos subangulares e moderada pequena granular; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- BA 28–46cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR, 5/6 seco); muito argilosa; moderada média blocos subangulares e moderada pequena granular; cerosidade fraca e pouca; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- Bt1 46–74cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em média moderada blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
- Bt2 74–145cm; vermelho amarelado (5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 5/8, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- BC 145–192/180cm; vermelho amarelado (5YR 4/6, úmido); bruno claro (5YR 6/4, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada média e grande blocos subangulares; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- CR 180/192–202cm; basalto intemperizado com planos de fratura recobertos com óxidos de manganês.

OBSERVAÇÕES:

Raízes: Finas e abundantes no horizonte O; muitas finas no A2; finas comuns no AB; poucas nos horizontes BA e Bt1 e raras nos demais horizontes.

Análise física e química

Perfil 4

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação Silte Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|------------|--------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|------------|--|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2-0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Silte 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | | | | Sob | Partículas | |
| O | 3-0 | 38 | 25 | 328 | 609 | 483 | 21 | 0,54 | | | |
| A1 | 0-7 | 23 | 16 | 302 | 659 | 494 | 25 | 0,46 | | | |
| A2 | 7-19 | 16 | 10 | 253 | 721 | 144 | 80 | 0,35 | | | |
| AB | 19-28 | 21 | 14 | 223 | 742 | 41 | 94 | 0,30 | | | |
| BA | 28-46 | 16 | 10 | 196 | 778 | 0 | 100 | 0,25 | | | |
| Bt1 | 46-74 | 12 | 12 | 177 | 799 | 0 | 100 | 0,22 | | | |
| Bt2 | 74-145 | 12 | 14 | 195 | 779 | 0 | 100 | 0,25 | | | |
| BC | 145-192 | 16 | 21 | 244 | 719 | 0 | 100 | 0,34 | | | |
| CR | 192-202 | 106 | 161 | 423 | 310 | 0 | 100 | 1,36 | | | |

| Horizonte | pH água | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | AL ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por bases (V) | 100. AB+ S+Al ³⁺ % | P Assimilável mg/kg | 100Na+ T % |
|-----------|---------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|------------|
| cmol/kg | | | | | | | | | | | | | | |
| O | 5,1 | 4,5 | 8,3 | 4,3 | 1,07 | 0,05 | 13,7 | 0,4 | 21,1 | 35,2 | 39 | 3 | 15 | <1 |
| A1 | 4,2 | 4,0 | 0,9 | 0,29 | 0,03 | 1,2 | 4,9 | 13,9 | 20,0 | 6 | 80 | 2 | <1 | |
| A2 | 4,6 | 4,2 | 0,3 | 0,11 | 0,02 | 0,4 | 3,7 | 10,1 | 14,2 | 3 | 90 | 1 | <1 | |
| AB | 4,8 | 4,2 | 0,3 | 0,06 | 0,01 | 0,4 | 3,4 | 7,8 | 11,6 | 3 | 89 | 1 | <1 | |
| BA | 4,8 | 4,2 | 0,3 | 0,03 | 0,01 | 0,3 | 3,3 | 6,0 | 9,6 | 3 | 92 | 1 | <1 | |
| Bt1 | 4,8 | 4,3 | 0,2 | 0,02 | 0,01 | 0,2 | 2,9 | 4,9 | 8,0 | 2 | 94 | 1 | <1 | |
| Bt2 | 5,2 | 4,5 | 0,4 | 0,02 | 0,01 | 0,4 | 1,3 | 4,6 | 6,3 | 6 | 76 | 2 | <1 | |
| BC | 5,1 | 4,4 | 0,4 | 0,01 | 0,01 | 0,4 | 1,1 | 4,1 | 5,6 | 7 | 73 | 2 | <1 | |
| CR | 5,3 | 4,2 | 0,7 | 0,04 | 0,01 | 0,7 | 6,3 | 4,1 | 11,1 | 6 | 90 | 6 | <1 | |

| Horizonte | C (orgânico) g/kg | N g/kg | C/N | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|-------------------|--------|-----|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--|---|---|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | SiO ₂ Al ₂ O ₃ (Ki) | SiO ₂ R ₂ O ₃ (Kr) | Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ |
| O | 110,4 | 7,6 | 15 | - | - | - | - | - | - | - |
| A1 | 45,7 | 3,7 | 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| A2 | 22,5 | 2,1 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 17,9 | 1,5 | 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 13,3 | 1,2 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt1 | 5,4 | 0,9 | 6 | 195 | 207 | 146 | 51,2 | 160 | 1,10 | 2,23 |
| Bt2 | 5,1 | 0,9 | 6 | 187 | 206 | 149 | 47,1 | 154 | 1,05 | 2,17 |
| BC | 4,1 | 0,5 | 8 | 195 | 201 | 149 | 46,4 | 165 | 1,12 | 2,12 |
| CR | 1,0 | 0,2 | 5 | - | - | - | - | - | - | - |

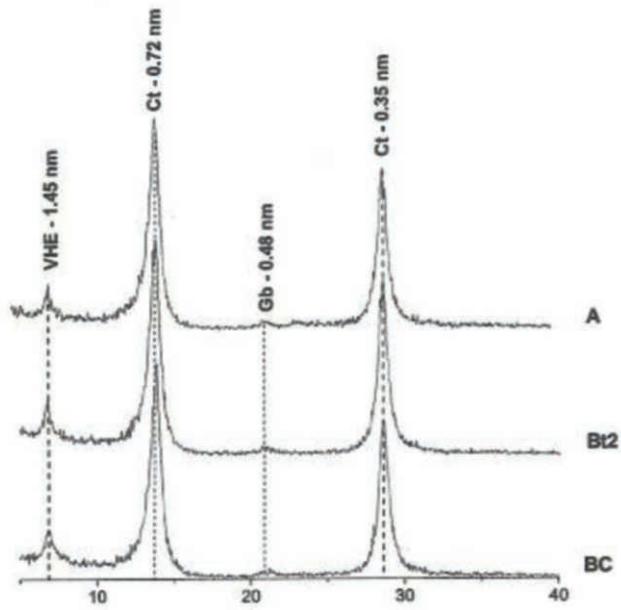


Figura 03 - Difratograma de raio-X da fração Argila desferificada dos horizontes do perfil P4 (lâminas orientadas). Ct=caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibsita. CoKa.

Perfil - P 5

Data - 08/07/2008

Classificação Brasileira - Nitossolo Bruno Alumínico rúbico, textura muito argilosa, A moderado, caulínítico, mesoférico, fase floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo ondulado

Classificação da FAO - Nitisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Ultisol

Localização - Rodovia SC 303, tramo Tangará-Ibicaré, distante 8,8 km de Tangará (distância contada a partir do final da ponte sobre o Rio do Peixe).

Coordenadas - 27° 05' 25,5"S; 51° 18' 12,5"W

Posição na paisagem, declividadee e cobertura vegetal sobre o perfil - Terço médio de encosta com 10% de declividadee sob cultivo de milho

Altitudee - 752 m

Litologia - Basalto

Formação geológica - Grupo São Bento - Formação Serra Geral

Material de origem -. Produto da decomposição do basalto

Relevo regional - Ondulado a fortemente ondulado

Relevo local - ondulado

Erosão - não aparente

Drenagem interna do solo - bem drenado

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Descrição e amostragem do perfil e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DO PERFIL MORFOLÓGICA

- Ap 0-10cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); bruno avermelhado (5YR4/3, seco); muito argilosa; moderada média e pequena granular e moderada média blocos subangulares; friável; muito plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A 10-23cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares e média pequena granular; firme; muito plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- AB 23-43 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares; friável; muito plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- BA 43-65 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a forte média blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; friável; muito plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bt1 65–81/95 cm; vermelho amarelado (4YR 4/6, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a forte média e pequena blocos subangulares; cerosidade moderada e abundante; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.
- Bt2 81/95–130 cm; vermelho escuro acinzentado (2,5YR 4/4, úmido); vermelho escuro (2,5YR 4/6, seco); muito argilosa; forte média e pequena blocos angulares e subangulares; cerosidade forte e abundante; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição clara e ondulada.
- BC 130–168/192 cm; vermelho acinzentado (10R 4/4 (úmido); vermelho acinzentado (10R 5/4, seco); muito argilosa; forte pequena e média blocos subangulares e angulares; cerosidade forte e abundante; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.
- C 168/192–190/200 cm+; vermelho escuro acinzentado (10R 3/3, úmido).

OBSERVAÇÕES:

- Raízes: muitas, finas e médias nos horizontes Ap e A2; comuns e finas nos horizontes AB, BA, Bt1 e Bt2 e raras no BC
- Presença de cascalhos nos horizontes AB e BA.
- Presença de geodos e calcedônia nos horizontes Bt2 e BC

Análise física e química

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação Silte Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|------------|-----------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|------------|---|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2-0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Silte 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| Ap | 0-10 | 41 | 25 | 237 | 697 | 574 | 18 | 0,34 | - | - | - |
| A | 10-23 | 37 | 14 | 251 | 698 | 616 | 12 | 0,36 | - | - | - |
| AB | 23-43 | 31 | 18 | 212 | 739 | 0 | 100 | 0,29 | - | - | - |
| BA | 43-65 | 25 | 12 | 182 | 781 | 0 | 100 | 0,23 | - | - | - |
| Bt1 | 65-95 | 27 | 14 | 159 | 800 | 0 | 100 | 0,20 | - | - | - |
| Bt2 | 95-130 | 14 | 10 | 155 | 821 | 0 | 100 | 0,19 | - | - | - |
| BC | 130-192 | 4 | 10 | 209 | 777 | 0 | 100 | 0,27 | - | - | - |
| C | 192-200+ | 4 | 25 | 275 | 696 | 0 | 100 | 0,40 | - | - | - |

| Horizonte | pH | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | AL ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por bases (V) | 100·Al ³⁺ / S+Al ³⁺ % | P Assimilável mg/kg | 100Na ⁺ / T % |
|-----------|------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|------|-------------------------|---|---------------------|--------------------------|
| | água | kCl | cmol/kg | | | | | | | | | | | |
| Ap | 4,6 | 4,2 | 4,5 | 2,3 | 0,25 | 0,01 | 7,1 | 1,1 | 9,2 | 17,4 | 41 | 13 | 3 | < 1 |
| A | 4,6 | 4,0 | 3,4 | 1,4 | 0,12 | 0,01 | 4,9 | 2,3 | 8,6 | 15,8 | 31 | 32 | 2 | < 1 |
| AB | 4,5 | 4,0 | 1,5 | 0,7 | 0,07 | 0,01 | 2,3 | 4,4 | 7,3 | 14,0 | 16 | 66 | 1 | < 1 |
| BA | 4,5 | 4,1 | 0,8 | 0,6 | 0,06 | 0,01 | 1,5 | 5,0 | 6,0 | 12,5 | 12 | 77 | 1 | < 1 |
| Bt1 | 4,4 | 4,1 | 0,6 | | 0,04 | 0,01 | 0,6 | 4,9 | 5,0 | 10,5 | 6 | 89 | 1 | < 1 |
| Bt2 | 4,5 | 4,1 | 0,5 | | 0,03 | 0,01 | 0,5 | 4,8 | 4,0 | 9,3 | 5 | 91 | 1 | < 1 |
| BC | 4,7 | 4,2 | 0,4 | | 0,03 | 0,01 | 0,4 | 4,8 | 3,0 | 8,2 | 5 | 92 | 1 | < 1 |
| C | 4,8 | 4,2 | 0,2 | | 0,06 | 0,01 | 0,3 | 5,0 | 4,3 | 9,6 | 3 | 94 | 1 | < 1 |

| Horizonte | C (orgânico) g/kg | N g/kg | C/N | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|-------------------|--------|-----|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--|---|---|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (Ki) | SiO ₂ / R ₂ O ₃ (Kr) | Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ |
| Ap | 21,3 | 2,4 | 9 | - | - | - | - | - | - | - |
| A | 17,5 | 2,1 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 14,6 | 1,7 | 9 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 13,4 | 1,5 | 9 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt1 | 9,6 | 1,1 | 9 | 203 | 206 | 100 | 27,1 | 1,68 | 1,28 | 3,23 |
| Bt2 | 5,4 | 0,8 | 7 | 213 | 223 | 100 | 22,2 | 1,62 | 1,26 | 3,50 |
| BC | 3,1 | 0,5 | 6 | 239 | 228 | 95 | 20,4 | 1,78 | 1,41 | 3,77 |
| C | 2,1 | 0,4 | 5 | - | - | - | - | - | - | - |

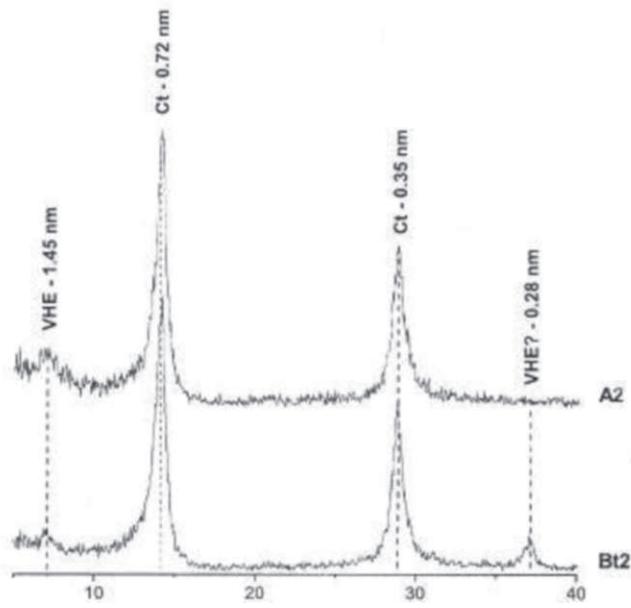


Figura 04: Difractograma de raio-X da fração Argila desferrificada dos horizontes do perfil P5 (lâminas orientadas). Ct=caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas. CoKa.

Perfil - P 6

Data - 24/06/2008

Classificação Brasileira - Nitossolo Bruno Distroférico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulínico, mesoférico, fase floresta subtropical perenifolia altimontana (mista com pinheiros), relevo ondulado

Classificação da FAO - Nitisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Ultisol

Localização - BR-53, sentido norte, 1 km após o trevo para o município de Água Doce - SC.

Coordenadas - 26° 41' 26,3"S; 51° 33' 59,2"W

Posição na paisagem, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil - Terço médio de colina com 10% de declividade sob cultivo de milho

Altitude - 752 m

Litologia - Basalto

Formação geológica - Grupo São Bento - Formação Serra Geral

Material de origem -. Produto da decomposição do basalto

Relevo regional - Ondulado y fortemente ondulado

Relevo local - ondulado

Erosão - não aparente

Drenagem interna do solo - bem drenado

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Descrição e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P6

A1 0–13cm; bruno avermelhado (5YR 4/3, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena muito pequena granular e fraca média blocos subangulares; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A2 13–26cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada média prismática que se desfaz em fraca a moderada média e grande blocos subangulares; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 26–43 cm; bruno forte (7,5YR 5/6, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada média e grande blocos subangulares; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bt1 43–84 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada pequena e média blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt2 84–134 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt3 134–158 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); franco argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

BC 158–166 cm+; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); franca; fraca média e grande blocos subangulares com aspecto maciço friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

OBSERVAÇÕES:

Raízes: A1 – comuns, finas e médias; A2 – comuns e finas; BA – comuns e muito finas; Bt1 – poucas e muito finas; Bt2 – raras; BC – ausentes.

Análise física e química

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação Silte/Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|------------|--------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|------------|--|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa >0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Silte 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| A1 | 0-13 | 97 | 23 | 259 | 621 | 186 | 70 | 0,42 | - | - | - |
| A2 | 13-26 | 102 | 25 | 229 | 644 | 42 | 93 | 0,36 | - | - | - |
| BA | 26-43 | 93 | 21 | 222 | 664 | 0 | 100 | 0,33 | - | - | - |
| Bt1 | 43-84 | 71 | 33 | 232 | 664 | 0 | 100 | 0,35 | - | - | - |
| Bt2 | 84-134 | 89 | 46 | 242 | 623 | 0 | 100 | 0,39 | - | - | - |
| Bt3 | 134-158 | 65 | 98 | 441 | 396 | 0 | 100 | 1,11 | - | - | - |
| BC | 158-166 | 160 | 219 | 392 | 229 | 0 | 100 | 1,71 | - | - | - |

| Horizonte | pH água | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | Al ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por Bases (M) | 100·Al ³⁺ S+Al ³⁺ % | P Assimilável mg/kg | 100Na ⁺ T % |
|-----------|---------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|-----|-------------------------|---|---------------------|------------------------|
| cmol/kg | | | | | | | | | | | | | |
| A1 | 5,1 | 3,7 | 0,22 | 0,05 | 4,0 | 2,5 | 10,1 | 16,6 | 24 | 38 | 1 | - | |
| A2 | 5,1 | 1,9 | 0,12 | 0,04 | 2,1 | 2,7 | 9,8 | 14,6 | 14 | 56 | <1 | - | |
| BA | 5,2 | 0,9 | 0,06 | 0,03 | 1,0 | 2,5 | 8,3 | 11,8 | 8 | 71 | <1 | - | |
| Bt1 | 5,3 | 0,9 | 0,05 | 0,01 | 1,0 | 2,2 | 6,9 | 10,1 | 10 | 69 | <1 | - | |
| Bt2 | 5,3 | 1,1 | 0,06 | 0,01 | 1,2 | 4,5 | 6,0 | 11,7 | 10 | 79 | 1 | - | |
| Bt3 | 5,1 | 1,6 | 0,07 | 0,01 | 1,7 | 9,1 | 5,9 | 16,7 | 10 | 84 | <1 | - | |
| BC | 5,2 | 2,3 | 0,09 | 0,01 | 2,4 | 11,7 | 5,0 | 19,1 | 13 | 83 | 4 | - | |

| Horizonte | C(orgânico) g/kg | N g/kg | CN | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|------------------|--------|----|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--|--|--|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (K) | SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr) | Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ |
| A1 | 37,2 | 2,6 | 14 | - | - | - | - | - | - | - |
| A2 | 33,1 | 2,5 | 13 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 21,3 | 1,9 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt1 | 12,5 | 1,1 | 11 | 172 | 199 | 182 | 31,6 | 1,47 | 0,93 | 1,72 |
| Bt2 | 8,7 | 0,9 | 10 | 199 | 198 | 170 | 26,6 | 1,71 | 1,10 | 1,83 |
| Bt3 | 4,6 | 0,6 | 8 | 202 | 200 | 161 | 25,0 | 1,72 | 1,13 | 1,95 |
| BC | 2,1 | 0,3 | 7 | - | - | - | - | - | - | - |

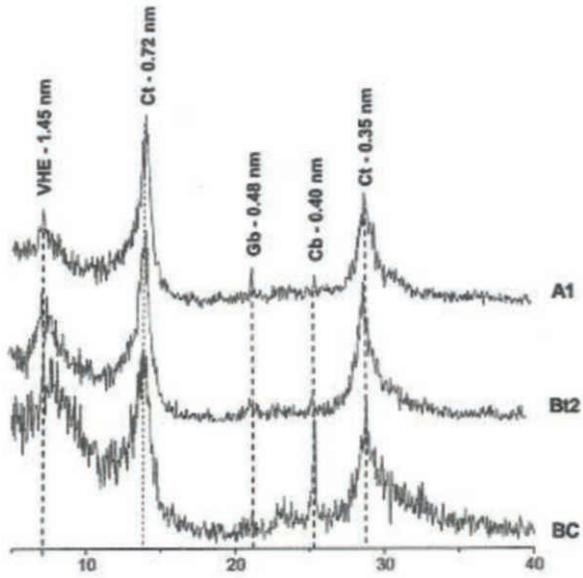


Figura 05: Diffractograma de raio-x da fração argila desferrificada dos horizontes do perfil P6 (lâminas orientadas). Ct=caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibsita; Cb = cristobalita. CoKa.

Perfil - P 7

Data - 24/06/2008

Classificação Brasileira - Cambissolo Húmico Distroférico saprolítico, textura argilosa/argilosa pouco cascalhenta, A húmico, álico, Tb, hipoférico, fase campos subtropicais perúmidos (vegetação altimontana), relevo ondulado, substrato Riodacito.

Classificação da FAO - Cambisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Inseptisol

Localização - Rodovia BR 153, sentido BR 282, a 13 km após o perfil 6, em barranco do lado direito da rodovia. Município de Água Doce - SC.

Coordenadas - 26° 46' 21,3"S; 51° 40' 39,5"W

Posição na paisagem, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil - Terço inferior de encosta com 3% de declividade sob vegetação de campo de altitude.

Altitude - 1.245m

Litologia - Rochas efusivas ácidas - Dacito

Formação geológica - Grupo São Bento - Formação Serra Geral

Material de origem -. Produto da decomposição das rochas supracitadas

Relevo regional - Ondulado

Relevo local - plano a suavemente ondulado

Erosão - não aparente

Drenagem interna do solo - moderadamente drenado

Vegetação Primária - Campos de Altitude

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Descrição e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM DO PERFIL MORFOLÓGICA

- A1 0-10 cm; cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmido); cinzento muito escuro (5YR3/1, seco); argilossiltosa; forte pequena e muito pequena granular; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- A2 10–29 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/2,seco); argilossiltosa; fraca a moderada média e grande blocos subangulares e moderada pequena granular; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- AB 29–38 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); argilossiltosa;fraca a moderada média blocos subangulares; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- Bi 38–52 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco);argilossiltosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares;friável; plástico e pegajoso; transição abrupta e plana.
- BiCr 52–60cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6,seco); franco argilosa; fraca pequena blocos subangulares; transiçãoabrupta e plana.
- Cr 60–115cm; franco siltosa.

Análise física e química

Perfil 7

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água | Graude floculação | Relação Silte Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade |
|-----------|------------|--------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|------------|-------------------------------------|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2-0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Silte 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | g/kg | % | | Solo | Partículas | cm ³ /100cm ³ |
| A1 | 0-10 | 14 | 19 | 450 | 517 | 227 | 56 | 0,87 | - | - | - |
| A2 | 10-29 | 31 | 39 | 415 | 515 | 82 | 84 | 0,81 | - | - | - |
| AB | 29-38 | 29 | 33 | 515 | 515 | 21 | 96 | 0,82 | - | - | - |
| Bi | 38-52 | 19 | 182 | 324 | 475 | 41 | 91 | 0,68 | - | - | - |
| BiCr | 52-60 | 161 | 115 | 415 | 309 | 41 | 87 | 1,34 | - | - | - |
| Cr | 60-115 | 33 | 45 | 658 | 264 | 0 | 100 | 2,49 | - | - | - |

| Horizonte | pH | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | AL ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por bases (V) | 100 . Al ³⁺ / S+Al ³⁺ | P Assimilável | 100Na ⁺ / T |
|-----------|------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|------|-------------------------|---|---------------|------------------------|
| | agua | kd | cmol/kg | | | | | | | % | % | mg/kg | % | |
| A1 | 4,8 | 4,2 | 1,3 | 0,34 | 0,03 | 0,03 | 1,7 | 3,6 | 156 | 20,9 | 8 | 68 | 1 | <1 |
| A2 | 4,9 | 4,4 | 0,4 | 0,09 | 0,01 | 0,01 | 0,5 | 3,0 | 11,8 | 15,3 | 3 | 86 | <1 | <1 |
| AB | 5,0 | 4,4 | 0,3 | 0,06 | 0,01 | 0,01 | 0,4 | 2,9 | 9,5 | 12,8 | 3 | 88 | <1 | <1 |
| Bi | 5,1 | 4,5 | 0,3 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,3 | 2,2 | 7,7 | 10,2 | 3 | 88 | <1 | <1 |
| BiCr | 5,0 | 4,4 | 0,3 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,4 | 2,0 | 6,1 | 8,5 | 5 | 83 | <1 | <1 |
| Cr | 4,9 | 4,3 | 0,3 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,3 | 2,5 | 3,0 | 5,9 | 5 | 90 | <1 | <1 |

| Horizonte | C(orgânico) g/kg | N g/kg | CN | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|------------------|--------|----|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---|---|---|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (K) | SiO ₂ / R ₂ O ₃ (Kr) | Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ |
| A1 | 52,1 | 3,1 | 17 | - | - | - | - | - | - | - |
| A2 | 24,0 | 1,9 | 13 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 19,1 | 1,5 | 13 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bi | 17,0 | 1,2 | 14 | 106 | 183 | 72 | 110 | 0,98 | 0,79 | 3,99 |
| BiCr | 12,3 | 0,9 | 14 | 87 | 194 | 87 | 10,3 | 0,76 | 0,59 | 3,50 |
| Cr | 2,9 | 0,3 | 10 | - | - | - | - | - | - | - |

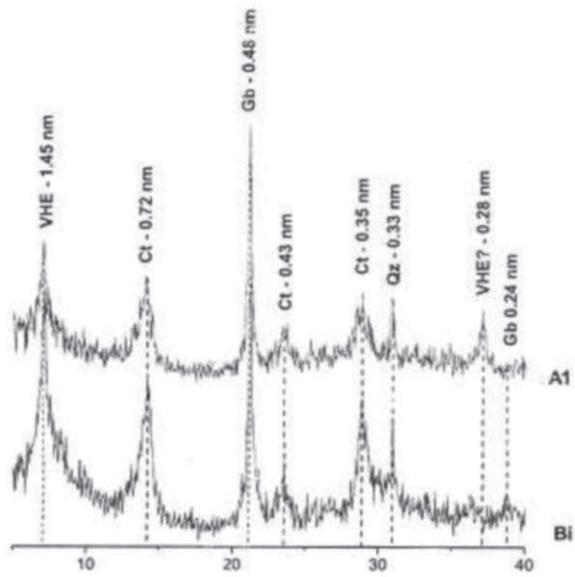


Figura 06: Difractograma de raio-X da fração argila desferrificada dos horizontes do perfil P7 (lâminas orientadas). Ct=caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibsita; Cb = cristobalita. CoKa.

Perfil - P 8

Data - 24/062008

Classificação Brasileira - LATOSSOLO BRUNO Distrófico nitossólico húmico, textura muito argilosa, álico, caulínítico, mesoférico, fase floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo suave ondulado

Classificação da FAO - Ferralsol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Oxisol

Localização - Rodovia BR 282, trecho Vargão - Ponte Serrana a 10 km após o trevo principal de vargão, 100m antes do km 46 7, em barranco do lado direito da rodovia. Município de Vargão.

Coordenadas - 26° 51' 13,3"S; 52° 05' 56"W

Posição na paisagem, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil - Topo de elevação com declividade de 3% sob vegetação herbácea e arbustiva em contato com culturas anuais.

Altitude - 1.043 m

Litologia - Rochas efusivas - Dacito

Formação geológica - Grupo São Bento - Formação Serra Geral

Material de origem -. Produto da decomposição das rochas supracitadas

Relevo regional - Ondulado

Relevo local - Suave ondulado

Erosão - Não aparente

Drenagem interna do solo - bem drenado

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Vegetação Primária - Floresta Ombrófila Mista (com pinheiro)

Descrição e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0–30 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR3/2, seco); muito argilosa; moderada pequena a muito pequena granular; muito friável; plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- A2** 30–71cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/2, seco); muito argilosa; fraca média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; friável; plástico e pegajoso; transição clara e plana.
- AB** 71–80 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; friável a muito friável; plástico a muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.
- BA** 80–94cm; bruno (8YR 4/3, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca a moderada média e pequena blocos subangulares; friável; plástico a muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw1** 94–123cm; bruno amarelado escuro (8YR 4/4, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca a moderada média e pequena blocos subangulares e forte muito pequena granular; friável; plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw2** 123–174cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; firme; ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw3** 174–206cm; bruno (7,5YR 4,5/4, úmido); bruno forte (7,5YR 5/6, seco); muito argilosa; fraca a moderada pequena blocos subangulares e angulares; cerosidade fraca e pouca; firme; ligeiramente plástico e pegajoso.

OBSERVAÇÕES:

Raízes: A1 e A2 – muitas, finas e médias nos horizontes A1 e A2; comuns e finas horizontes AB, BA, Bw1 e Bw2
Intensa atividade de formigas nos horizontes Bw1 e Bw2

Análise física e química

Perfil 8

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação Sile Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|---------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------|---|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2- 0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Sile 0,05- 0,002mm | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| A1 | 0-30 | 31 | 21 | 304 | 644 | 42 | 93 | 0,47 | - | - | - |
| A2 | 30-71 | 31 | 21 | 266 | 682 | 0 | 100 | 0,39 | - | - | - |
| AB | 71-80 | 29 | 19 | 230 | 722 | 0 | 100 | 0,32 | - | - | - |
| BA | 80-94 | 31 | 22 | 232 | 715 | 0 | 100 | 0,32 | - | - | - |
| Bw1 | 94-123 | 29 | 20 | 236 | 715 | 0 | 100 | 0,33 | - | - | - |
| Bw2 | 123-174 | 47 | 22 | 217 | 714 | 0 | 100 | 0,30 | - | - | - |
| Bw3 | 174-206 | 55 | 24 | 247 | 674 | 0 | 100 | 0,37 | - | - | - |

| Horizonte | pH | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | Al ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por bases (V) | $\frac{100 \cdot Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ | P Assimilável mg/kg | $\frac{100Na^{+}}{T}$ % |
|-----------|------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------|------------------|----------------|-----|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | água | kd | cmol/kg | | | | | | | | | | | |
| A1 | 4,5 | 4,1 | 0,3 | 0,19 | 0,04 | 0,5 | 5,2 | 18,3 | 24,0 | 2 | 91 | 1 | <1 | |
| A2 | 4,7 | 4,1 | 0,3 | 0,04 | 0,03 | 0,4 | 4,8 | 12,1 | 17,3 | 2 | 92 | 1 | <1 | |
| AB | 4,7 | 4,1 | 0,3 | 0,03 | 0,02 | 0,3 | 4,5 | 10,4 | 15,2 | 2 | 94 | 1 | <1 | |
| BA | 4,7 | 4,1 | 0,2 | 0,03 | 0,02 | 0,2 | 4,0 | 8,2 | 12,4 | 2 | 95 | 1 | <1 | |
| Bw1 | 4,7 | 4,1 | 0,2 | 0,03 | 0,01 | 0,2 | 3,6 | 6,5 | 10,3 | 2 | 95 | 1 | <1 | |
| Bw2 | 4,8 | 4,2 | 0,2 | 0,02 | 0,01 | 0,2 | 2,7 | 4,9 | 7,8 | 3 | 93 | 1 | <1 | |
| Bw3 | 4,9 | 4,2 | 0,2 | 0,02 | 0,01 | 0,2 | 2,1 | 4,1 | 6,4 | 3 | 91 | 2 | <1 | |

| Horizonte | C(orgânico) g/kg | N g/kg | CN | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|---------------------|-----------|----|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (K1) | $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (K2) | $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$ |
| A1 | 47,7 | 3,0 | 16 | - | - | - | - | - | - | - |
| A2 | 22,4 | 1,7 | 13 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 17,7 | 1,2 | 15 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 13,5 | 1,2 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bw1 | 11,3 | 1,1 | 10 | 182 | 205 | 82 | 30,7 | 1,51 | 1,20 | 3,92 |
| Bw2 | 7,1 | 0,8 | 9 | 188 | 219 | 84 | 33,5 | 1,46 | 1,17 | 4,09 |
| Bw3 | 4,7 | 0,7 | 7 | 188 | 220 | 95 | 33,5 | 1,45 | 1,14 | 3,64 |

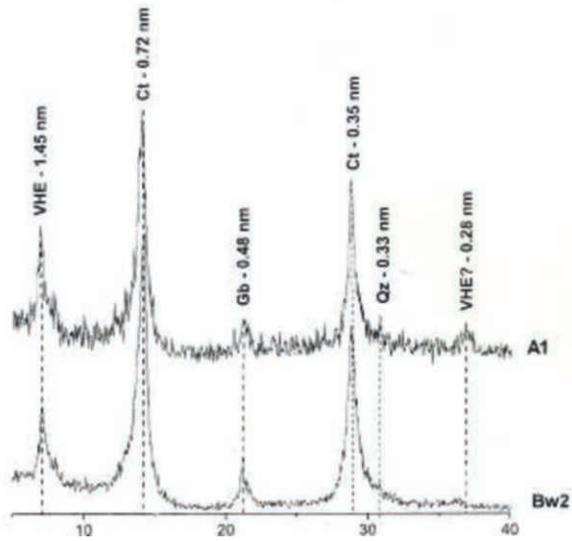


Figura 07: Difratograma de raio-X da fração argila desferrificada dos horizontes do perfil P8 (lâminas orientadas). Ct=caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibsita; Cb = cristobalita. CoKa.

Perfil - P 9

Data - 25/06/2008

Classificação Brasileira - NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico, latossólico, rúbico, textura muito argilosa, A moderado, fase floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo suave ondulado

Classificação da FAO - Nitisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Nitisol

Localização - Rodovia BR 282, trecho Vargão - Ponte Serrada a 16,5 km do trevo de Vargão e a 3 km do acesso para Ponte Serrada. Município de Ponte Serrada - SC.

Coordenadas - 26° 51' 21,2"S; 52° 02' 31,1" W

Posição na paisagem, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil - Topo de elevação com 5% de declive sob culturas anuais.

Altitude - 1.046 m

Litologia - Rochas Efusivas Ácidas - Dacito

Formação geológica - Grupo São Bento - Formação Serra Geral

Material de origem -. Produto da decomposição das rochas supracitadas

Relevo regional - Ondulado

Relevo local - suave ondulado

Erosão - não aparente

Drenagem interna do solo - bem drenado

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Vegetação Primária - Floresta Ombrófila Mista (com pinheiros)

Descrição e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P9

- A1** 0 - 21 cm; bruno (7,5YR 4/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada média e pequena granular; firme; plástico a muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- A2** 21 - 34 cm; bruno (7,5YR 4/3, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/2, seco); muito argilosa; moderada média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; firme; plástico a muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.
- AB** 34 - 66 cm; bruno (7,5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; friável; plástico a muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- BA** 66 - 86 cm; bruno forte (7,5YR 5/6, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável; plástico a muito plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bt1** 86 - 130 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável; plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bt2** 130 - 159 cm; bruno forte (6YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 5/8, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares e angulares; cerosidade moderada e pouca; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- Bt3** 159 - 217 cm+; vermelho escuro (3,5YR 4/6, úmido); vermelho amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

OBSERVAÇÕES:

Raízes: Poucas, muito finas e finas no horizonte A1, raras e finas nos horizontes A2, AB e Bt1.

Análise física e química

Perfil 9

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação $\frac{\text{Silte}}{\text{Argila}}$ | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|------------|--------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|--|-----------------------------|------------|--|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2-0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Silte 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| A1 | 0-21 | 59 | 45 | 220 | 676 | 532 | 21 | 0,33 | | | |
| A2 | 21-34 | 43 | 39 | 242 | 676 | 512 | 24 | 0,36 | | | |
| AB | 34-66 | 41 | 35 | 208 | 716 | 0 | 100 | 0,29 | | | |
| BA | 66-86 | 18 | 23 | 242 | 717 | 0 | 100 | 0,34 | | | |
| Bt1 | 86-130 | 33 | 35 | 209 | 723 | 0 | 100 | 0,29 | | | |
| Bt2 | 130-159 | 33 | 37 | 227 | 703 | 0 | 100 | 0,32 | | | |
| Bt3 | 159-217 | 35 | 31 | 188 | 746 | 0 | 100 | 0,25 | | | |

| Horizonte | pH | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | Al ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por Bases (V) % | $\frac{100 \cdot \text{Al}^{3+}}{\text{S} + \text{Al}^{3+}}$ | P Assimilável mg/kg | $\frac{100 \text{Na}^+}{\text{T}}$ |
|-----------|------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|------|---------------------------|--|---------------------|------------------------------------|
| | água | KCl | cmol/kg | | | | | | | | | % | % | |
| A1 | 5,6 | 5,0 | 7,3 | 4,3 | 0,11 | 0,02 | 11,7 | 0,1 | 7,2 | 19,0 | 62 | 1 | 5 | <1 |
| A2 | 5,2 | 4,5 | 7,1 | 0,06 | 0,02 | 7,2 | 0,8 | 9,8 | 17,8 | 40 | 10 | 1 | <1 | |
| AB | 4,6 | 4,2 | 2,2 | 0,04 | 0,01 | 2,2 | 3,3 | 7,4 | 12,9 | 17 | 60 | 1 | <1 | |
| BA | 4,5 | 4,1 | 1,4 | 0,04 | 0,01 | 1,4 | 3,6 | 5,3 | 10,3 | 14 | 72 | 1 | <1 | |
| Bt1 | 4,5 | 4,2 | 1,2 | 0,04 | 0,01 | 1,2 | 3,3 | 4,8 | 9,3 | 13 | 73 | 1 | <1 | |
| Bt2 | 4,6 | 4,2 | 0,5 | 0,03 | 0,01 | 0,5 | 2,9 | 3,7 | 7,1 | 7 | 85 | 1 | <1 | |
| Bt3 | 4,7 | 4,2 | 0,4 | 0,03 | 0,01 | 0,4 | 3,0 | 3,8 | 7,2 | 6 | 88 | 1 | <1 | |

| Horizonte | C (orgânico) g/kg | N g/2,4kg | CN | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|-------------------|-----------|----|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--|--|---|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ (K) | $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ (Kr) | $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ |
| A1 | 32,8 | 2,4 | 14 | - | - | - | - | - | - | - |
| A2 | 23,7 | 2,0 | 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 16,5 | 1,4 | 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 11,3 | 1,1 | 10 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt1 | 8,6 | 1,0 | 9 | 190 | 202 | 97 | 42,6 | 1,60 | 1,22 | 3,27 |
| Bt2 | 5,8 | 0,8 | 7 | 199 | 206 | 103 | 41,8 | 1,64 | 1,24 | 3,14 |
| Bt3 | 5,0 | 0,8 | 6 | 209 | 208 | 117 | 38,1 | 1,71 | 1,26 | 2,79 |

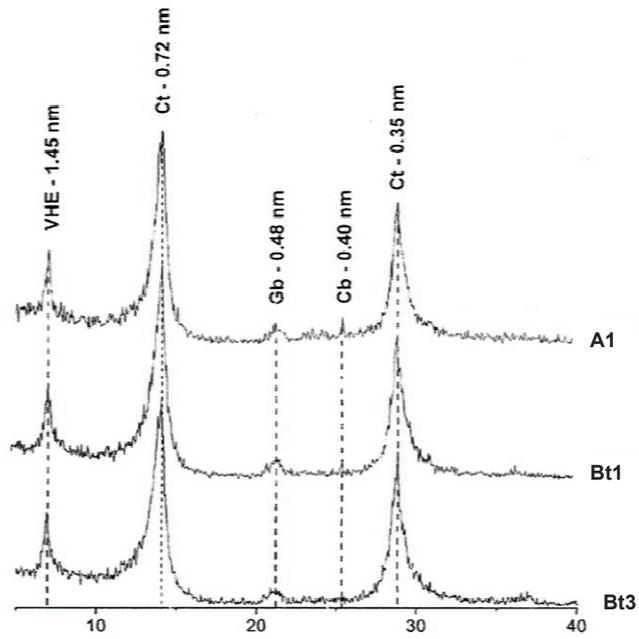


Figura 08: Difratograma de raio-X da fração argila desferrificada dos horizontes do perfil P9 (lâminas orientadas). Ct=caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibsita; Cb = cristobalita. CoKa.

Perfil - P 10

Data - 24/07/2008

Classificação Brasileira - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico úmbrico textura muito argilosa fase floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo suave ondulado

Classificação da FAO - Ferralsol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Oxisol

Localização - Rodovia BR 470, trecho Campos Novos - Curitiba a 13,2 km após o trevo principal de acesso a Campos Novos e a cerca de 13,2 km após o trevo principal de Campos Novos e a aproximadamente 2km de São José do Corinto, em barranco do lado direito da rodovia

Coordenadas - 27° 22' 31,7"S; 51° 05' 05,6"W

Posição na paisagem, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil - Topo de elevação com área de relevo suave ondulado (6% de declividade média), sob vegetação de campo nativo.

Altitude - 752 m

Litologia - Basalto

Formação geológica - Grupo São Bento - Formação Serra Geral

Material de origem -. Produto da decomposição do basalto

Relevo regional - Ondulado

Relevo local - Suave ondulado

Erosão - Não aparente

Drenagem interna do solo - Bem drenado

Vegetação Primária - Floresta Ombrófila mista (com pinheiros)

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Descrição e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P10

- A1** 0-11 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, seco); muito argilosa, moderada muito pequena e pequenagranular;, ligeiramente duro, friável à firme; transição gradual e plana.
- A2** 11-35 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); vermelho amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca à moderada pequena e média blocos subangulares e moderada pequena granular;, ligeiramente dura, friável à firme; transição gradual e plana.
- AB** 35-50 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/4 úmido); bruno avermelhado (5YR 4/4, seco); muito argilosa; fraca à moderada pequena e média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável; transição gradual e plana.
- BA** 50-71 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); vermelho amarelado (4YR4/6 seco); argilosa; moderada pequena e média blocos subangulares;,ligeiramente duro, friável à firme; transição gradual e plana.
- Bw1** 71-98 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido); bruno avermelhado escuro (3,5YR 3/8, seco); argilosa, fraca à moderada, pequena e média blocos subangulares e forte pequena e muito pequena granular; ligeiramente duro, friável a firme; transição difusa e plana.
- Bw2** 98–220 cm, vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido); vermelho escuro (2,5YR 4/6,seco); argilosa, fraca muito pequena e pequena blocos subangulares e forte pequena e muito pequena granular; duro, friável; transição difusa e plana.
- Bw3** 220-350 cm + (coletada amostra com trado na profundidade de 350cm).

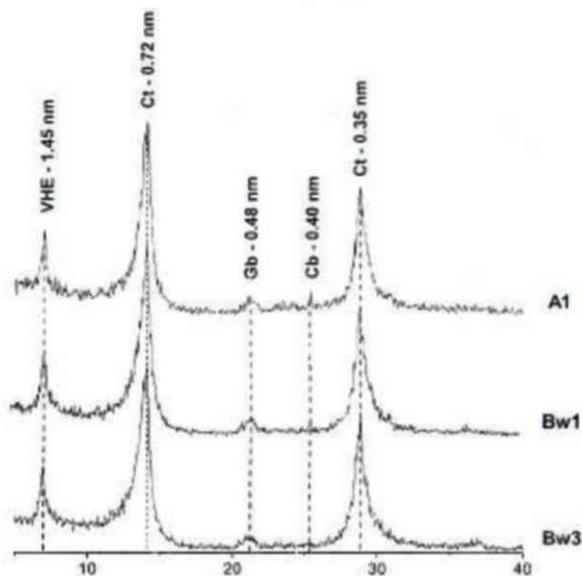


Figura 09: Diffractograma de raio-X da fração argila desferrificada dos horizontes do perfil P10 (lâminas orientadas). Ct=caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibsitita; Cb = cristobalita. CoKa.

Análise física e química

Perfil 10

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação $\frac{\text{Sile}}{\text{Argila}}$ | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|------------|--------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|----------------------|---|-----------------------------|------------|--|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2-0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Sile 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| A1 | 0-11 | | 200 | 340 | 640 | 100 | 48 | 0,53 | - | - | - |
| A2 | 11-35 | | 200 | 150 | 830 | 220 | 57 | 0,18 | - | - | - |
| AB | 35-50 | | 100 | 140 | 850 | 0 | 100 | 0,16 | - | - | - |
| BA | 50-71 | | 100 | 110 | 880 | 0 | 100 | 0,13 | - | - | - |
| Bw1 | 71-98 | | 100 | 160 | 830 | 0 | 100 | 0,19 | - | - | - |
| Bw2 | 98-200 | | 100 | 180 | 810 | 0 | 100 | 0,22 | - | - | - |

| Horizonte | pH | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | Al ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por bases (V) | $\frac{100 \cdot \text{Al}^{3+}}{\text{S} + \text{Al}^{3+}}$ % | P Assimilável mg/kg | $\frac{100\text{Na}^+}{\text{T}}$ % |
|-----------|------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|------|-------------------------|--|---------------------|-------------------------------------|
| | água | KCl | cmol/kg | | | | | | | | | | | |
| A1 | 4,6 | 3,8 | 2,18 | 0,24 | - | 2,42 | 3,43 | 11,18 | 17,03 | 14,2 | 58,6 | - | - | |
| A2 | 4,5 | 3,8 | 1,14 | 0,10 | - | 1,24 | 3,91 | 10,69 | 15,84 | 7,8 | 75,9 | - | - | |
| AB | 4,6 | 3,8 | 0,63 | 0,06 | - | 0,69 | 3,72 | 9,28 | 13,69 | 5,0 | 84,4 | - | - | |
| BA | 4,7 | 3,9 | 0,51 | 0,06 | - | 0,57 | 3,33 | 7,47 | 11,37 | 5,0 | 85,4 | - | - | |
| Bw1 | 5,0 | 4,1 | 0,32 | 0,05 | - | 0,37 | 1,74 | 4,06 | 6,17 | 6,0 | 82,5 | - | - | |
| Bw2 | 5,1 | 5,1 | 0,26 | 0,05 | - | 0,31 | 0,99 | 4,81 | 6,11 | 5,1 | 76,2 | - | - | |

| Horizonte | C (orgânico) g/kg | N g/kg | CN | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|-------------------|--------|----|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|--|---|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ (K) | $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ (K') | $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ |
| A1 | 3,0 | - | - | 27,5 | 23,0 | 19,2 | 0,23 | 2,03 | 1,33 | 1,88 |
| A2 | 2,2 | - | - | 27,4 | 23,3 | 19,2 | 0,21 | 2,00 | 1,31 | 1,91 |
| AB | 1,4 | - | - | 29,3 | 23,7 | 19,3 | 0,21 | 2,10 | 1,38 | 1,98 |
| BA | 1,3 | - | - | 30,8 | 24,8 | 19,4 | 0,22 | 2,11 | 1,41 | 2,01 |
| Bw1 | 0,7 | - | - | 28,7 | 21,2 | 17,0 | 0,22 | 2,30 | 1,52 | 1,96 |
| Bw2 | 0,4 | - | - | 29,1 | 22,9 | 18,0 | 0,22 | 2,16 | 1,44 | 2,00 |

Perfil - P 11

Data - 08/07/2008

Classificação Brasileira - NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico latossólico rúbico, textura muito argilosa, A moderado, fase floresta subtropical perenifólia altimontana (mista com pinheiros), relevo suave ondulado

Classificação da FAO - Nitisol

Classificação Americana (Soil Taxonomy) - Nitisol

Localização - Rodovia BR 470, primeiro trevo de acesso a Curitiba em direção a Horizolândia, a 7,5 km do trevo, em barranco de estrada do lado direito da estrada. Município de Curitiba,

Coordenadas - 27° 22' 12"S; 50° 34' 46"W

Posição na paisagem, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil - Terço médio de elevação com 8% de declividade sob culturas anuais.

Altitude - 1.022 m

Litologia - Rochas efusivas intermediárias (Riodacito).

Formação geológica - Grupo São Bento - Formação Serra Geral

Material de origem -. Produto da decomposição das rochas supracitadas

Relevo regional - Ondulado e suave ondulado

Relevo local - Suave ondulado

Erosão - Não aparente

Drenagem interna do solo - Bem drenado

Clima - Cfb (classificação de Köppen)

Descrição e amostragem do perfil - Jaime Antonio de Almeida, Murilo Pundek e José Augusto Laus Neto

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P11

- A1** 0-16cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/2,5, seco); muito argilosa; moderada muito pequena e pequena granular; muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A2** 16–32cm; bruno escuro (7,5YR 3/2,5, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/2,5, seco); muito argilosa; moderada muito pequena e pequena granular e fraca a moderada média blocos subangulares; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A3** 32–43cm; bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e grande blocos subangulares e moderada pequena granular; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- AB** 43–62cm; bruno escuro (7,5YR 3/3,5, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- BA** 62–87cm; bruno escuro (7,5YR 3/3,5, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca grande prismática que se desfaz em moderada média e pequena blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; firme; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- Bt1** 87–106cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno avermelhado (5YR 4/4,5, seco); muito argilosa; moderada a fraca grande prismática que se desfaz em moderada a fraca média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bt2** 106–137cm; bruno amarelado (5YR 4/6, úmida); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável; plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- Bt3** 137–210cm; vermelho escuro (2,5YR 4/6, úmido); vermelho escuro (2,5YR 4/7, seco); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares; cerosidade moderada e comum, friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

OBSERVAÇÕES

Raízes: muitas, médias e finas nos horizontes A1, A2 e A3; comuns, finas e médias nos horizontes AB e BA; poucas e finas no Bt1; raras e finas no Bt2, Bt3.

Perfil 11

| Horizonte | | Composição granulométrica g/kg | | | | Argila dispersa em água g/kg | Grau de floculação % | Relação Sile Argila | Densidade g/cm ³ | | Porosidade cm ³ /100cm ³ |
|-----------|---------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------|---|
| Símbolo | Prof. (cm) | Areia grossa 2- 0,2mm | Areia fina 0,02-0,05mm | Sile 0,05-0,002 | Argila <0,002mm | | | | Solo | Partículas | |
| A1 | 0-16 | 12 | 17 | 289 | 682 | 455 | 33 | 0,42 | - | - | - |
| A2 | 16-32 | 12 | 10 | 237 | 741 | 309 | 58 | 0,32 | - | - | - |
| A3 | 32-43 | 10 | 8 | 220 | 762 | 21 | 97 | 0,29 | - | - | - |
| AB | 43-62 | 10 | 8 | 200 | 782 | 0 | 100 | 0,26 | - | - | - |
| BA | 62-87 | 12 | 8 | 173 | 807 | 0 | 100 | 0,21 | - | - | - |
| Bt1 | 87-106 | 10 | 8 | 182 | 800 | 0 | 100 | 0,23 | - | - | - |
| Bt2 | 106-137 | 8 | 8 | 181 | 803 | 0 | 100 | 0,23 | - | - | - |
| Bt3 | 137-210 | 8 | 8 | 179 | 805 | 0 | 100 | 0,22 | - | - | - |

| Horizonte | pH | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Soma de Bases (S) | AL ³⁺ | H ⁺ | CTC | Saturação por Bases (V) % | 100. Al ³⁺ S+Al ³⁺ % | P Assimilável mg/kg | 100Na ⁺ T % |
|-----------|------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------------|------------------|----------------|-----|---------------------------------------|--|---------------------------|------------------------------|
| | água | KCl | cmol/kg | | | | | | | | | | | |
| A1 | 4,8 | 4,2 | 4,1 | 0,26 | 0,08 | 4,4 | 2,6 | 11,9 | 18,9 | 23 | 37 | 8 | <1 | |
| A2 | 4,5 | 4,0 | 1,0 | 0,15 | 0,04 | 1,2 | 4,0 | 11,4 | 16,6 | 7 | 77 | 2 | <1 | |
| A3 | 4,6 | 4,1 | 0,6 | 0,08 | 0,03 | 0,7 | 3,6 | 10,3 | 14,6 | 5 | 84 | 1 | <1 | |
| AB | 4,7 | 4,1 | 0,5 | 0,04 | 0,02 | 0,6 | 3,4 | 7,8 | 11,8 | 5 | 85 | 1 | <1 | |
| BA | 4,7 | 4,2 | 0,3 | 0,02 | 0,02 | 0,3 | 3,3 | 6,6 | 10,2 | 3 | 92 | 1 | <1 | |
| Bt1 | 4,6 | 4,2 | 0,3 | 0,03 | 0,01 | 0,3 | 2,5 | 5,1 | 7,9 | 4 | 89 | 1 | <1 | |
| Bt2 | 4,7 | 4,4 | 0,2 | 0,02 | 0,01 | 0,2 | 1,5 | 4,5 | 6,2 | 3 | 88 | 2 | <1 | |
| Bt3 | 4,9 | 4,4 | 0,3 | 0,02 | 0,01 | 0,3 | 0,9 | 3,5 | 4,7 | 6 | 75 | 2 | <1 | |

| Horizonte | C (orgânico) g/kg | N g/kg | CN | Ataque sulfúrico g/kg | | | | Relações moleculares | | |
|-----------|-------------------------|-----------|----|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---|---|--|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | SiO ₂ Al ₂ O ₃ (K) | SiO ₂ R ₂ O ₃ (Kr) | Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ |
| A1 | 37,0 | 2,8 | 13 | - | - | - | - | - | - | - |
| A2 | 35,7 | 2,3 | 16 | - | - | - | - | - | - | - |
| A3 | 24,0 | 1,8 | 13 | - | - | - | - | - | - | - |
| AB | 19,2 | 1,3 | 15 | - | - | - | - | - | - | - |
| BA | 15,0 | 1,1 | 14 | - | - | - | - | - | - | - |
| Bt1 | 10,1 | 0,8 | 13 | 203 | 258 | 101 | 33,7 | 1,34 | 1,07 | 4,01 |
| Bt2 | 7,0 | 0,7 | 10 | 191 | 218 | 102 | 32,5 | 1,49 | 1,15 | 3,36 |
| Bt3 | 4,2 | 0,5 | 8 | 219 | 220 | 110 | 31,4 | 1,69 | 1,28 | 3,14 |

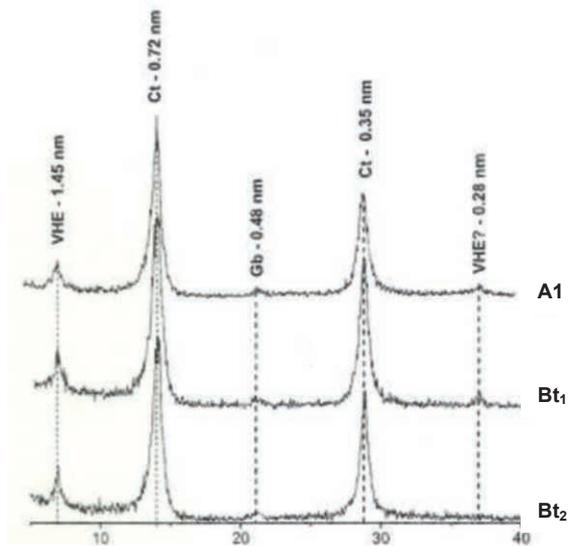


Figura 10: Difratograma de raio-X da fração argila desferrificada dos horizontes do perfil P11 (lâminas orientadas). Ct=caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibsita; Cb = cristobalita. CoKa.

**ANEXO 2 -TABLAS DE ADSORCIÓN Y DE DESORCIÓN DE NITRÓGENO DE LOS
PERFILES DE SUELOS SELECCIONADOS**

Tabla 48 - Datos de adsorción del horizonte A1 del Perfil 8 - Ferralsol

| | Volumen (dosage) | Presión de carga | Presión de equilibrio | Tiempo de equilibrio | Presión de saturación | Presión Relativa | Volumen adsorbido | Cantidad adsorbida |
|----|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Torr | Torr | min | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 8,56 | 314,1 | 0,0193 | 6,6 | 780,9 | 0,00002 | 1,13 | 0,051 |
| 2 | 8,56 | 511,5 | 0,0455 | 6,8 | 780,9 | 0,00006 | 2,98 | 0,133 |
| 3 | 8,56 | 906,7 | 0,09793 | 6,6 | 781,0 | 0,00125 | 6,22 | 0,277 |
| 4 | 17,04 | 767,6 | 15,3000 | 1009,6 | 780,9 | 0,01959 | 11,06 | 0,494 |
| 5 | 17,04 | 874,2 | 78,1000 | 1015,6 | 781,0 | 0,10000 | 14,67 | 0,654 |
| 6 | 8,56 | 347,3 | 94,1000 | 10,2 | 780,9 | 0,12050 | 15,26 | 0,681 |
| 7 | 4,32 | 573,0 | 108,3000 | 12,5 | 780,8 | 0,13871 | 15,74 | 0,702 |
| 8 | 4,32 | 516,6 | 121,4000 | 12,5 | 780,8 | 0,15549 | 16,16 | 0,721 |
| 9 | 4,32 | 514,0 | 134,6000 | 9,5 | 781,0 | 0,17234 | 16,56 | 0,739 |
| 10 | 4,32 | 505,9 | 147,7000 | 12,8 | 780,9 | 0,18914 | 16,96 | 0,757 |
| 11 | 4,32 | 503,4 | 160,8000 | 10,2 | 780,9 | 0,20592 | 17,35 | 0,774 |
| 12 | 4,32 | 500,2 | 173,8000 | 10,3 | 781,0 | 0,22253 | 17,73 | 0,791 |
| 13 | 4,32 | 508,6 | 187,2000 | 7,4 | 781,0 | 0,23968 | 18,11 | 0,808 |
| 14 | 4,32 | 502,4 | 200,1000 | 10,5 | 781,3 | 0,25611 | 18,50 | 0,826 |
| 15 | 4,32 | 497,9 | 213,0000 | 10,5 | 781,2 | 0,27267 | 18,88 | 0,842 |
| 16 | 4,32 | 393,4 | 223,1000 | 9,7 | 781,6 | 0,28545 | 19,18 | 0,856 |
| 17 | 4,32 | 428,9 | 234,0000 | 9,7 | 781,6 | 0,29940 | 19,51 | 0,870 |
| 18 | 4,32 | 493,2 | 246,5000 | 12,7 | 781,7 | 0,31534 | 19,89 | 0,887 |
| 19 | 8,56 | 728,5 | 282,2000 | 9,9 | 781,8 | 0,36095 | 21,01 | 0,937 |
| 20 | 8,56 | 322,7 | 297,3000 | 9,9 | 781,7 | 0,38033 | 21,51 | 0,960 |
| 21 | 8,56 | 354,2 | 313,8000 | 10,0 | 781,4 | 0,40157 | 22,07 | 0,985 |
| 22 | 8,56 | 339,5 | 329,4000 | 9,6 | 781,3 | 0,42161 | 22,61 | 1,009 |
| 23 | 8,56 | 369,2 | 346,0000 | 9,9 | 781,7 | 0,44263 | 23,22 | 1,036 |
| 24 | 8,56 | 370,4 | 362,6000 | 9,9 | 781,4 | 0,46402 | 23,82 | 1,063 |
| 25 | 8,56 | 354,5 | 377,8000 | 13,0 | 781,7 | 0,48331 | 24,43 | 1,090 |
| 26 | 8,56 | 363,3 | 393,0000 | 10,6 | 781,3 | 0,50301 | 25,06 | 1,118 |
| 27 | 8,56 | 365,4 | 407,9000 | 13,5 | 781,0 | 0,52226 | 25,71 | 1,147 |
| 28 | 8,56 | 469,7 | 427,5000 | 10,5 | 781,3 | 0,54717 | 26,54 | 1,184 |
| 29 | 8,56 | 366,2 | 441,8000 | 13,5 | 781,0 | 0,56566 | 27,21 | 1,214 |
| 30 | 8,56 | 456,0 | 459,3000 | 12,8 | 781,3 | 0,58787 | 28,08 | 1,253 |
| 31 | 8,56 | 467,2 | 476,9000 | 12,8 | 781,2 | 0,61050 | 28,97 | 1,293 |
| 32 | 8,56 | 440,6 | 492,8000 | 12,5 | 781,0 | 0,63096 | 29,84 | 1,331 |
| 33 | 8,56 | 513,1 | 510,6000 | 12,7 | 781,0 | 0,65375 | 30,89 | 1,378 |
| 34 | 8,56 | 515,9 | 527,0000 | 15,7 | 781,2 | 0,67464 | 32,00 | 1,428 |
| 35 | 8,56 | 596,7 | 545,4000 | 12,5 | 780,9 | 0,69843 | 33,32 | 1,487 |
| 36 | 8,56 | 732,8 | 566,2000 | 16,1 | 780,9 | 0,72507 | 35,03 | 1,563 |
| 37 | 8,56 | 461,4 | 578,4000 | 16,0 | 780,6 | 0,74094 | 36,12 | 1,611 |
| 38 | 8,56 | 483,5 | 589,9000 | 15,8 | 780,5 | 0,75581 | 37,31 | 1,665 |
| 39 | 8,56 | 541,4 | 603,3000 | 12,6 | 780,5 | 0,77298 | 38,64 | 1,724 |
| 40 | 8,56 | 524,3 | 615,0000 | 12,8 | 780,8 | 0,78769 | 39,97 | 1,783 |
| 41 | 8,56 | 603,4 | 627,2000 | 12,5 | 780,5 | 0,80360 | 41,56 | 1,854 |
| 42 | 8,56 | 650,5 | 638,3000 | 15,5 | 780,8 | 0,81754 | 43,37 | 1,935 |
| 43 | 8,56 | 797,6 | 652,0000 | 15,7 | 780,4 | 0,83551 | 45,59 | 2,034 |
| 44 | 8,56 | 730,2 | 661,8000 | 18,6 | 780,4 | 0,84807 | 47,74 | 2,130 |
| 45 | 17,04 | 469,0 | 674,1000 | 1018,5 | 780,2 | 0,86398 | 50,46 | 2,251 |
| 46 | 17,04 | 502,0 | 685,0000 | 1021,6 | 780,4 | 0,87780 | 53,48 | 2,386 |
| 47 | 17,04 | 643,6 | 696,6000 | 1027,5 | 780,2 | 0,89281 | 57,46 | 2,564 |
| 48 | 17,04 | 743,8 | 709,6000 | 1018,9 | 780,0 | 0,90979 | 62,09 | 2,770 |
| 49 | 17,04 | 820,0 | 720,1000 | 1021,8 | 780,4 | 0,92278 | 67,37 | 3,006 |
| 50 | 17,04 | 959,3 | 732,7000 | 1018,6 | 780,1 | 0,93925 | 73,54 | 3,281 |
| 51 | 17,04 | 910,9 | 740,3000 | 1030,7 | 779,7 | 0,94948 | 79,58 | 3,551 |
| 52 | 17,04 | 907,1 | 751,5000 | 1033,6 | 779,8 | 0,96367 | 85,44 | 3,812 |
| 53 | 17,04 | 906,2 | 767,7000 | 1027,6 | 779,8 | 0,98445 | 91,08 | 4,063 |

Tabla 49 - Datos de desorción del horizonte A1 del Perfil 8 - Ferralsol

| | Tempo de equilibrio | Volumen (dosage) | Presión de equilibrio | Presión de Saturación | Presión Relativa | Volumen desorbido | montant desorbido |
|----|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | min | cm ³ | Torr | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 1027,6 | 8,56 | 767,7000 | 779,8 | 0,98445 | 91,08 | 4,063 |
| 2 | 12,9 | 8,56 | 751,4000 | 779,8 | 0,96404 | 89,06 | 3,973 |
| 3 | 18,9 | 8,56 | 737,4000 | 779,4 | 0,94592 | 86,99 | 3,881 |
| 4 | 18,9 | 8,56 | 722,8000 | 779,6 | 0,92671 | 85,00 | 3,792 |
| 5 | 18,9 | 8,56 | 711,3000 | 780,0 | 0,91212 | 82,92 | 3,699 |
| 6 | 18,9 | 17,04 | 701,8000 | 779,8 | 0,89964 | 80,78 | 3,604 |
| 7 | 1021,9 | 17,04 | 690,8000 | 780,1 | 0,88569 | 76,36 | 3,407 |
| 8 | 1021,9 | 17,04 | 678,8000 | 780,0 | 0,87060 | 72,07 | 3,215 |
| 9 | 1024,9 | 17,04 | 669,5000 | 779,7 | 0,85823 | 67,72 | 3,022 |
| 10 | 1024,9 | 17,04 | 659,6000 | 780,1 | 0,84626 | 63,47 | 2,832 |
| 11 | 1027,9 | 17,04 | 649,5000 | 779,4 | 0,83359 | 59,31 | 2,646 |
| 12 | 1021,9 | 17,04 | 637,0000 | 779,2 | 0,81783 | 55,33 | 2,468 |
| 13 | 1024,9 | 17,04 | 624,0000 | 778,9 | 0,80127 | 51,46 | 2,296 |
| 14 | 1021,9 | 17,04 | 608,5000 | 778,8 | 0,78110 | 47,81 | 2,133 |
| 15 | 1018,9 | 17,04 | 589,6000 | 779,0 | 0,75684 | 44,43 | 1,982 |
| 16 | 1018,9 | 17,04 | 569,2000 | 779,0 | 0,73103 | 41,27 | 1,841 |
| 17 | 1018,9 | 17,04 | 545,7000 | 778,6 | 0,70085 | 38,39 | 1,713 |
| 18 | 1015,9 | 17,04 | 519,5000 | 778,6 | 0,66709 | 35,82 | 1,598 |
| 19 | 1015,9 | 17,04 | 491,0000 | 778,8 | 0,63081 | 33,54 | 1,496 |
| 20 | 1012,9 | 17,04 | 461,6000 | 778,4 | 0,59314 | 31,50 | 1,406 |
| 21 | 1012,9 | 17,04 | 431,7000 | 778,2 | 0,55501 | 29,70 | 1,325 |
| 22 | 1012,9 | 17,04 | 402,0000 | 777,8 | 0,51656 | 28,10 | 1,254 |
| 23 | 1012,9 | 17,04 | 375,5000 | 778,2 | 0,48284 | 26,54 | 1,184 |
| 24 | 1018,9 | 17,04 | 358,1000 | 777,7 | 0,46023 | 24,74 | 1,104 |
| 25 | 1012,9 | 17,04 | 333,9000 | 778,1 | 0,42913 | 23,38 | 1,043 |
| 26 | 1009,9 | 17,04 | 307,3000 | 778,1 | 0,39487 | 22,31 | 0,995 |
| 27 | 1009,9 | 17,04 | 281,3000 | 778,2 | 0,36146 | 21,40 | 0,955 |
| 28 | 1009,9 | 17,04 | 256,7000 | 778,2 | 0,32985 | 20,60 | 0,919 |
| 29 | 1009,9 | 17,04 | 233,9000 | 778,2 | 0,30066 | 19,89 | 0,887 |
| 30 | 1009,9 | 8,56 | 212,8000 | 778,0 | 0,27363 | 19,26 | 0,859 |
| 31 | 1,8 | 17,04 | 201,6000 | 777,7 | 0,25910 | 18,99 | 0,847 |
| 32 | 1001,8 | 17,04 | 182,5000 | 778,1 | 0,23467 | 18,49 | 0,825 |
| 33 | 1002,5 | 17,04 | 166,5000 | 777,7 | 0,21406 | 17,97 | 0,802 |
| 34 | 1002,1 | 17,04 | 151,4000 | 777,8 | 0,19468 | 17,52 | 0,782 |
| 35 | 1001,8 | 17,04 | 137,4000 | 777,7 | 0,17662 | 17,13 | 0,764 |
| 36 | 1001,6 | 17,04 | 125,0000 | 778,0 | 0,16070 | 16,75 | 0,747 |
| 37 | 1002,1 | 17,04 | 114,4000 | 777,8 | 0,14703 | 16,38 | 0,731 |
| 38 | 1001,9 | 17,04 | 104,3000 | 778,1 | 0,13412 | 16,06 | 0,716 |
| 39 | 1001,6 | 0,00 | 95,1000 | 777,7 | 0,12224 | 15,76 | 0,703 |

Tabla 50 - Datos de adsorción del horizonte Bw1 del Perfil 8 - Ferralsol

| | Volumen (dosage) | Presión de carga | Presión de equilibrio | Tiempo de equilibrio | Presión de saturación | Presión Relativa | Volumen adsorbido | Cantidad adsorbida |
|----|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Torr | Torr | min | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 8,56 | 287,8 | 0,0127 | 6,6 | 779,9 | 0,00002 | 0,96 | 0,043 |
| 2 | 8,56 | 499,8 | 0,0161 | 7,0 | 779,7 | 0,00002 | 2,63 | 0,118 |
| 3 | 8,56 | 883,8 | 0,1376 | 6,8 | 779,3 | 0,00018 | 5,59 | 0,249 |
| 4 | 17,04 | 731,8 | 2,8064 | 1009,7 | 779,7 | 0,00360 | 10,28 | 0,459 |
| 5 | 17,04 | 942,7 | 24,7000 | 1012,8 | 779,7 | 0,03168 | 15,63 | 0,697 |
| 6 | 17,04 | 773,3 | 76,0000 | 1012,8 | 779,9 | 0,09745 | 18,75 | 0,836 |
| 7 | 8,56 | 443,8 | 94,0000 | 10,0 | 779,2 | 0,12064 | 19,54 | 0,872 |
| 8 | 8,56 | 337,3 | 108,1000 | 9,9 | 779,5 | 0,13869 | 20,12 | 0,898 |
| 9 | 8,56 | 326,2 | 122,1000 | 9,9 | 779,1 | 0,15673 | 20,67 | 0,922 |
| 10 | 8,56 | 307,1 | 135,4000 | 9,9 | 779,2 | 0,17377 | 21,17 | 0,945 |
| 11 | 8,56 | 329,3 | 149,5000 | 12,8 | 779,3 | 0,19183 | 21,72 | 0,969 |
| 12 | 8,56 | 326,8 | 163,9000 | 9,9 | 779,7 | 0,21020 | 22,25 | 0,993 |
| 13 | 8,56 | 316,4 | 177,7000 | 9,9 | 779,3 | 0,22802 | 22,76 | 1,016 |
| 14 | 8,56 | 329,6 | 192,1000 | 9,7 | 778,8 | 0,24666 | 23,30 | 1,039 |
| 15 | 8,56 | 300,5 | 205,0000 | 16,2 | 778,7 | 0,26327 | 23,79 | 1,061 |
| 16 | 8,56 | 326,4 | 219,3000 | 9,7 | 778,9 | 0,28154 | 24,31 | 1,085 |
| 17 | 8,56 | 325,1 | 233,1000 | 15,8 | 778,9 | 0,29926 | 24,84 | 1,108 |
| 18 | 8,56 | 362,8 | 248,6000 | 10,6 | 778,9 | 0,31916 | 25,44 | 1,135 |
| 19 | 8,56 | 369,0 | 264,2000 | 10,7 | 778,5 | 0,33936 | 26,05 | 1,162 |
| 20 | 8,56 | 367,4 | 279,5000 | 10,7 | 778,7 | 0,35895 | 26,66 | 1,189 |
| 21 | 8,56 | 422,6 | 296,8000 | 10,3 | 778,4 | 0,38130 | 27,38 | 1,222 |
| 22 | 8,56 | 473,5 | 316,2000 | 13,7 | 778,3 | 0,40629 | 28,18 | 1,257 |
| 23 | 8,56 | 465,6 | 334,7000 | 10,5 | 778,0 | 0,43021 | 29,00 | 1,294 |
| 24 | 8,56 | 418,3 | 351,1000 | 12,7 | 778,3 | 0,45113 | 29,73 | 1,326 |
| 25 | 8,56 | 472,5 | 369,3000 | 9,9 | 777,7 | 0,47484 | 30,57 | 1,364 |
| 26 | 8,56 | 468,4 | 386,8000 | 10,1 | 777,9 | 0,49726 | 31,42 | 1,402 |
| 27 | 8,56 | 473,9 | 404,2000 | 12,9 | 777,6 | 0,51981 | 32,29 | 1,441 |
| 28 | 8,56 | 485,9 | 421,9000 | 9,9 | 778,0 | 0,54229 | 33,19 | 1,481 |
| 29 | 8,56 | 483,5 | 438,8000 | 9,9 | 777,9 | 0,56411 | 34,10 | 1,522 |
| 30 | 8,56 | 521,2 | 456,7000 | 15,8 | 777,6 | 0,58733 | 35,11 | 1,566 |
| 31 | 8,56 | 530,1 | 474,1000 | 15,8 | 777,6 | 0,60970 | 36,16 | 1,613 |
| 32 | 8,56 | 557,1 | 492,0000 | 15,8 | 777,7 | 0,63261 | 37,27 | 1,663 |
| 33 | 8,56 | 537,0 | 508,0000 | 21,9 | 777,7 | 0,65318 | 38,40 | 1,713 |
| 34 | 8,56 | 626,1 | 526,8000 | 12,6 | 778,0 | 0,67713 | 39,71 | 1,771 |
| 35 | 8,56 | 623,9 | 543,3000 | 15,8 | 778,0 | 0,69834 | 41,09 | 1,833 |
| 36 | 8,56 | 782,0 | 562,5000 | 18,9 | 777,9 | 0,72314 | 42,90 | 1,914 |
| 37 | 8,56 | 517,4 | 575,7000 | 12,8 | 777,9 | 0,74011 | 44,06 | 1,966 |
| 38 | 8,56 | 487,0 | 586,7000 | 13,0 | 777,6 | 0,75451 | 45,20 | 2,017 |
| 39 | 8,56 | 550,5 | 597,1000 | 15,8 | 777,3 | 0,76814 | 46,57 | 2,078 |
| 40 | 8,56 | 635,2 | 609,0000 | 15,7 | 777,9 | 0,78292 | 48,17 | 2,149 |
| 41 | 8,56 | 684,7 | 621,1000 | 21,7 | 777,3 | 0,79902 | 49,92 | 2,227 |
| 42 | 8,56 | 713,2 | 633,6000 | 15,7 | 777,5 | 0,81496 | 51,75 | 2,309 |
| 43 | 8,56 | 729,6 | 644,4000 | 15,7 | 778,0 | 0,82829 | 53,70 | 2,396 |
| 44 | 17,04 | 451,8 | 654,9000 | 1022,0 | 777,7 | 0,84207 | 56,18 | 2,507 |
| 45 | 17,04 | 560,8 | 667,9000 | 1019,2 | 778,1 | 0,85834 | 59,28 | 2,645 |
| 46 | 17,04 | 635,9 | 681,1000 | 1019,2 | 778,0 | 0,87546 | 62,86 | 2,805 |
| 47 | 17,04 | 654,3 | 691,1000 | 1021,9 | 778,0 | 0,88831 | 66,68 | 2,975 |
| 48 | 17,04 | 933,4 | 703,8000 | 1021,9 | 778,0 | 0,90464 | 72,23 | 3,223 |
| 49 | 17,04 | 908,4 | 711,8000 | 1027,9 | 777,7 | 0,91523 | 77,80 | 3,471 |
| 50 | 17,04 | 912,8 | 721,1000 | 1021,8 | 778,0 | 0,92688 | 83,34 | 3,718 |
| 51 | 17,04 | 922,3 | 728,7000 | 1021,8 | 777,7 | 0,93696 | 89,01 | 3,971 |
| 52 | 17,04 | 916,9 | 733,0000 | 1024,9 | 777,6 | 0,94266 | 94,77 | 4,228 |
| 53 | 17,04 | 907,8 | 738,9000 | 1021,8 | 777,5 | 0,95040 | 100,41 | 4,480 |
| 54 | 17,04 | 905,4 | 744,2000 | 1024,9 | 777,3 | 0,95738 | 106,06 | 4,732 |
| 55 | 17,04 | 905,0 | 748,6000 | 1030,9 | 776,9 | 0,96354 | 111,74 | 4,985 |
| 56 | 17,04 | 904,7 | 755,2000 | 1030,9 | 777,1 | 0,97187 | 117,33 | 5,235 |
| 57 | 17,04 | 905,0 | 773,6000 | 1006,7 | 776,7 | 0,99606 | 122,46 | 5,464 |

Tabla 51 - Datos de desorción del horizonte Bw1 del Perfil 8 - Ferralsol

| | Tempo de equilibrio | Volume (dosage) | Presión de equilibrio | Presión de Saturación | Presión Relativa | Volume desorbido | montant desorbido |
|----|---------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | min | cm ³ | Torr | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 1006,7 | 8,56 | 773,6000 | 776,7 | 0,99606 | 122,46 | 5,464 |
| 2 | 10,0 | 8,56 | 760,1000 | 776,7 | 0,97834 | 120,45 | 5,374 |
| 3 | 16,0 | 8,56 | 747,6000 | 776,9 | 0,96292 | 118,44 | 5,284 |
| 4 | 19,1 | 17,04 | 739,1000 | 776,4 | 0,95180 | 116,30 | 5,189 |
| 5 | 1022,1 | 17,04 | 727,8000 | 776,5 | 0,93742 | 111,98 | 4,996 |
| 6 | 1025,2 | 17,04 | 720,3000 | 776,4 | 0,92743 | 107,55 | 4,798 |
| 7 | 1025,1 | 17,04 | 713,8000 | 776,7 | 0,91891 | 103,13 | 4,601 |
| 8 | 1022,1 | 17,04 | 707,7000 | 776,8 | 0,91215 | 98,73 | 4,405 |
| 9 | 1025,1 | 17,04 | 703,0000 | 775,9 | 0,90624 | 94,31 | 4,208 |
| 10 | 1028,2 | 17,04 | 698,8000 | 775,7 | 0,90083 | 89,89 | 4,011 |
| 11 | 1022,1 | 17,04 | 692,4000 | 775,7 | 0,89320 | 85,60 | 3,819 |
| 12 | 1025,1 | 17,04 | 686,6000 | 775,2 | 0,88572 | 81,33 | 3,629 |
| 13 | 1025,2 | 17,04 | 679,4000 | 775,2 | 0,87672 | 77,16 | 3,443 |
| 14 | 1028,2 | 17,04 | 673,1000 | 774,9 | 0,86890 | 73,00 | 3,257 |
| 15 | 1031,2 | 17,04 | 665,3000 | 774,7 | 0,85839 | 68,94 | 3,076 |
| 16 | 1025,2 | 17,04 | 655,3000 | 775,1 | 0,84491 | 65,04 | 2,902 |
| 17 | 1025,1 | 17,04 | 644,3000 | 775,6 | 0,83072 | 61,25 | 2,733 |
| 18 | 1019,1 | 17,04 | 629,9000 | 775,6 | 0,81229 | 57,68 | 2,573 |
| 19 | 1022,1 | 17,04 | 614,5000 | 775,5 | 0,79243 | 54,26 | 2,421 |
| 20 | 1022,1 | 17,04 | 596,6000 | 775,5 | 0,76988 | 51,04 | 2,277 |
| 21 | 1022,1 | 17,04 | 576,2000 | 774,9 | 0,74278 | 48,06 | 2,144 |
| 22 | 1022,1 | 17,04 | 554,0000 | 775,7 | 0,71478 | 45,30 | 2,021 |
| 23 | 1016,0 | 17,04 | 528,5000 | 775,1 | 0,68165 | 42,82 | 1,911 |
| 24 | 1016,0 | 17,04 | 502,3000 | 775,3 | 0,64819 | 40,55 | 1,809 |
| 25 | 1016,0 | 17,04 | 475,2000 | 774,9 | 0,61333 | 38,49 | 1,717 |
| 26 | 1013,0 | 17,04 | 447,4000 | 774,8 | 0,57734 | 36,63 | 1,634 |
| 27 | 1013,0 | 17,04 | 420,1000 | 774,9 | 0,54221 | 34,93 | 1,559 |
| 28 | 1013,0 | 17,04 | 393,1000 | 774,8 | 0,50753 | 33,40 | 1,490 |
| 29 | 1016,0 | 17,04 | 369,8000 | 774,5 | 0,47720 | 31,87 | 1,422 |
| 30 | 1013,0 | 17,04 | 349,9000 | 774,9 | 0,45145 | 30,35 | 1,354 |
| 31 | 1013,0 | 17,04 | 328,2000 | 775,1 | 0,42382 | 29,03 | 1,295 |
| 32 | 1013,0 | 17,04 | 305,4000 | 774,4 | 0,39410 | 27,91 | 1,245 |
| 33 | 1010,0 | 17,04 | 282,4000 | 774,9 | 0,36461 | 26,94 | 1,202 |
| 34 | 1010,0 | 17,04 | 261,0000 | 774,5 | 0,33710 | 26,05 | 1,162 |
| 35 | 1010,0 | 17,04 | 240,7000 | 774,3 | 0,31083 | 25,25 | 1,127 |
| 36 | 1010,0 | 8,56 | 221,8000 | 774,4 | 0,28657 | 24,52 | 1,094 |
| 37 | 2,5 | 17,04 | 211,5000 | 774,0 | 0,27316 | 24,21 | 1,080 |
| 38 | 1003,7 | 17,04 | 194,7000 | 774,3 | 0,25147 | 23,57 | 1,052 |
| 39 | 1003,3 | 17,04 | 179,1000 | 774,3 | 0,23124 | 22,99 | 1,026 |
| 40 | 1002,8 | 17,04 | 164,5000 | 774,5 | 0,21239 | 22,47 | 1,003 |
| 41 | 1003,1 | 17,04 | 151,7000 | 774,5 | 0,19593 | 21,97 | 0,980 |
| 42 | 1002,9 | 17,04 | 139,7000 | 774,3 | 0,18049 | 21,51 | 0,960 |
| 43 | 1002,5 | 17,04 | 128,5000 | 774,0 | 0,16602 | 21,09 | 0,941 |
| 44 | 1002,6 | 17,04 | 118,5000 | 774,0 | 0,15315 | 20,70 | 0,923 |
| 45 | 1002,3 | 17,04 | 109,2000 | 773,7 | 0,14109 | 20,33 | 0,907 |
| 46 | 1001,9 | 17,04 | 100,6000 | 774,0 | 0,13000 | 20,00 | 0,892 |
| 47 | 1002,5 | 0,00 | 93,3000 | 773,9 | 0,12050 | 19,67 | 0,877 |

Tabla 52 - Datos de adsorción del horizonte A1 del Perfil 1 - Alisol

| | Volumen (dosage) | Presión de carga | Presión de equilibrio | Tiempo de equilibrio | Presión de saturación | Presión Relativa | Volumen adsorbido | Cantidad adsorbida |
|----|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Torr | Torr | min | Torr | p/po | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 8,56 | 308,2 | 0,0852 | 9,8 | 775,9 | 0,00011 | 0,89 | 0,040 |
| 2 | 8,56 | 541,7 | 3,4174 | 9,7 | 775,7 | 0,00441 | 2,36 | 0,105 |
| 3 | 8,56 | 903,7 | 34,3000 | 9,6 | 776,3 | 0,04419 | 3,94 | 0,176 |
| 4 | 8,56 | 431,9 | 58,1000 | 9,5 | 776,1 | 0,07486 | 4,38 | 0,196 |
| 5 | 4,32 | 508,4 | 73,9000 | 7,1 | 776,5 | 0,09517 | 4,61 | 0,206 |
| 6 | 4,32 | 385,9 | 86,2000 | 7,5 | 776,4 | 0,11103 | 4,77 | 0,213 |
| 7 | 4,32 | 414,3 | 99,8000 | 6,5 | 776,3 | 0,12857 | 4,93 | 0,220 |
| 8 | 4,32 | 384,2 | 112,4000 | 6,8 | 776,1 | 0,14482 | 5,07 | 0,226 |
| 9 | 4,32 | 413,6 | 126,0000 | 6,5 | 776,3 | 0,16232 | 5,23 | 0,233 |
| 10 | 4,32 | 398,4 | 139,1000 | 9,8 | 776,5 | 0,17913 | 5,37 | 0,240 |
| 11 | 4,32 | 405,5 | 152,5000 | 6,5 | 776,0 | 0,19652 | 5,52 | 0,246 |
| 12 | 4,32 | 391,3 | 165,4000 | 6,8 | 775,7 | 0,21322 | 5,65 | 0,252 |
| 13 | 4,32 | 417,5 | 179,2000 | 6,5 | 775,7 | 0,23101 | 5,80 | 0,259 |
| 14 | 4,32 | 386,6 | 192,0000 | 6,9 | 776,0 | 0,24743 | 5,93 | 0,265 |
| 15 | 4,32 | 415,9 | 205,7000 | 6,5 | 776,1 | 0,26503 | 6,08 | 0,271 |
| 16 | 4,32 | 405,4 | 219,0000 | 6,9 | 775,3 | 0,28246 | 6,22 | 0,277 |
| 17 | 4,32 | 425,7 | 232,8000 | 6,5 | 776,0 | 0,30000 | 6,37 | 0,284 |
| 18 | 8,56 | 558,4 | 267,9000 | 6,5 | 775,9 | 0,34529 | 6,77 | 0,302 |
| 19 | 4,32 | 552,9 | 285,6000 | 7,0 | 776,0 | 0,36805 | 6,98 | 0,311 |
| 20 | 4,32 | 514,7 | 301,7000 | 6,5 | 776,0 | 0,38879 | 7,18 | 0,320 |
| 21 | 4,32 | 578,0 | 319,8000 | 6,8 | 776,4 | 0,41191 | 7,41 | 0,330 |
| 22 | 4,32 | 527,9 | 336,0000 | 6,5 | 776,1 | 0,43292 | 7,62 | 0,340 |
| 23 | 4,32 | 543,9 | 352,6000 | 6,8 | 776,4 | 0,45415 | 7,84 | 0,350 |
| 24 | 4,32 | 583,4 | 369,9000 | 6,8 | 776,9 | 0,47610 | 8,10 | 0,361 |
| 25 | 4,32 | 616,0 | 388,3000 | 6,8 | 776,8 | 0,49988 | 8,36 | 0,373 |
| 26 | 4,32 | 586,5 | 405,2000 | 9,8 | 777,3 | 0,52127 | 8,63 | 0,385 |
| 27 | 4,32 | 632,6 | 423,1000 | 9,7 | 777,9 | 0,54393 | 8,94 | 0,399 |
| 28 | 4,32 | 617,4 | 440,6000 | 9,8 | 777,3 | 0,56681 | 9,23 | 0,412 |
| 29 | 4,32 | 604,4 | 457,2000 | 6,8 | 777,6 | 0,58797 | 9,53 | 0,425 |
| 30 | 4,32 | 636,3 | 474,0000 | 6,7 | 778,0 | 0,60926 | 9,87 | 0,440 |
| 31 | 4,32 | 700,1 | 492,1000 | 9,6 | 777,6 | 0,63285 | 10,26 | 0,458 |
| 32 | 4,32 | 686,2 | 509,2000 | 9,7 | 778,0 | 0,65451 | 10,66 | 0,476 |
| 33 | 4,32 | 704,9 | 526,1000 | 12,6 | 778,3 | 0,67600 | 11,10 | 0,495 |
| 34 | 4,32 | 790,1 | 544,2000 | 15,5 | 778,4 | 0,69914 | 11,62 | 0,518 |
| 35 | 8,56 | 473,7 | 564,6000 | 9,8 | 778,4 | 0,72534 | 12,24 | 0,546 |
| 36 | 4,32 | 607,0 | 576,6000 | 9,7 | 778,4 | 0,74076 | 12,69 | 0,566 |
| 37 | 4,32 | 656,1 | 589,7000 | 9,6 | 778,1 | 0,75784 | 13,17 | 0,588 |
| 38 | 4,32 | 591,8 | 600,6000 | 9,5 | 778,5 | 0,77145 | 13,64 | 0,608 |
| 39 | 4,32 | 718,4 | 613,1000 | 12,5 | 778,4 | 0,78765 | 14,23 | 0,635 |
| 40 | 4,32 | 718,0 | 624,9000 | 12,6 | 779,1 | 0,80212 | 14,85 | 0,663 |
| 41 | 8,56 | 361,5 | 635,7000 | 10,5 | 779,5 | 0,81556 | 15,47 | 0,690 |
| 42 | 8,56 | 448,7 | 648,2000 | 13,0 | 779,7 | 0,83131 | 16,28 | 0,727 |
| 43 | 8,56 | 491,3 | 661,0000 | 12,7 | 779,6 | 0,84788 | 17,21 | 0,768 |
| 44 | 8,56 | 513,4 | 672,9000 | 9,7 | 779,3 | 0,86343 | 18,23 | 0,813 |
| 45 | 8,56 | 548,9 | 682,7000 | 12,6 | 779,7 | 0,87556 | 19,42 | 0,866 |
| 46 | 17,04 | 394,1 | 696,5000 | 1012,5 | 779,3 | 0,89372 | 21,12 | 0,942 |
| 47 | 17,04 | 402,6 | 708,8000 | 1012,9 | 780,0 | 0,90873 | 22,92 | 1,023 |
| 48 | 17,04 | 478,7 | 719,9000 | 1024,6 | 780,1 | 0,92279 | 25,20 | 1,124 |
| 49 | 17,04 | 632,4 | 733,4000 | 1015,5 | 780,0 | 0,94027 | 28,26 | 1,261 |
| 50 | 17,04 | 697,3 | 744,5000 | 1018,5 | 779,9 | 0,95466 | 31,78 | 1,418 |
| 51 | 17,04 | 928,7 | 755,1000 | 1024,6 | 780,1 | 0,96792 | 36,63 | 1,634 |
| 52 | 17,04 | 910,2 | 774,4000 | 1006,6 | 780,3 | 0,99249 | 41,08 | 1,833 |

Tabla 53 - Datos de desorción del horizonte A1 del Perfil 1 - Alisol

| | Tempo de equilibrio | Volumen (dosage) | Presión de equilibrio | Presión de Saturación | Presión Relativa | Volumen desorbido | montant desorbido |
|----|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | min | cm ³ | Torr | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 1006,6 | 8,56 | 774,4000 | 780,3 | 0,99249 | 41,08 | 1,833 |
| 2 | 15,9 | 8,56 | 757,9000 | 780,3 | 0,97184 | 39,45 | 1,760 |
| 3 | 12,8 | 17,04 | 749,2000 | 779,9 | 0,96069 | 37,58 | 1,677 |
| 4 | 1018,8 | 17,04 | 733,7000 | 779,9 | 0,94065 | 33,94 | 1,514 |
| 5 | 1015,8 | 17,04 | 714,2000 | 780,0 | 0,91596 | 30,56 | 1,363 |
| 6 | 1015,8 | 17,04 | 695,0000 | 779,7 | 0,89058 | 27,27 | 1,217 |
| 7 | 1018,8 | 17,04 | 674,2000 | 780,4 | 0,86407 | 24,16 | 1,078 |
| 8 | 1018,8 | 8,56 | 649,6000 | 780,3 | 0,83254 | 21,32 | 0,951 |
| 9 | 12,8 | 8,56 | 634,0000 | 780,3 | 0,81255 | 20,01 | 0,893 |
| 10 | 15,8 | 8,56 | 619,2000 | 780,3 | 0,79331 | 18,73 | 0,836 |
| 11 | 15,8 | 8,56 | 603,2000 | 780,5 | 0,77241 | 17,53 | 0,782 |
| 12 | 15,8 | 8,56 | 585,2000 | 780,9 | 0,74924 | 16,46 | 0,734 |
| 13 | 12,8 | 8,56 | 567,1000 | 781,1 | 0,72606 | 15,44 | 0,689 |
| 14 | 9,8 | 8,56 | 547,5000 | 781,1 | 0,70109 | 14,52 | 0,648 |
| 15 | 9,8 | 8,56 | 527,1000 | 780,9 | 0,67462 | 13,70 | 0,611 |
| 16 | 9,8 | 8,56 | 506,5000 | 781,3 | 0,64804 | 12,94 | 0,577 |
| 17 | 9,8 | 17,04 | 485,2000 | 781,6 | 0,62089 | 12,26 | 0,547 |
| 18 | 1009,8 | 17,04 | 444,6000 | 781,5 | 0,56855 | 11,13 | 0,497 |
| 19 | 1012,8 | 17,04 | 405,2000 | 782,0 | 0,51817 | 10,18 | 0,454 |
| 20 | 1012,8 | 17,04 | 374,4000 | 782,0 | 0,47918 | 9,10 | 0,406 |
| 21 | 1009,8 | 17,04 | 347,7000 | 781,3 | 0,44509 | 8,04 | 0,359 |
| 22 | 1009,8 | 17,04 | 313,2000 | 781,2 | 0,40079 | 7,44 | 0,332 |
| 23 | 1009,8 | 17,04 | 279,4000 | 781,5 | 0,35754 | 7,01 | 0,313 |
| 24 | 1006,8 | 17,04 | 248,8000 | 781,5 | 0,31854 | 6,63 | 0,296 |
| 25 | 1006,8 | 8,56 | 220,5000 | 781,1 | 0,28212 | 6,34 | 0,283 |
| 26 | 1,2 | 17,04 | 206,5000 | 781,6 | 0,26429 | 6,22 | 0,278 |
| 27 | 1001,1 | 17,04 | 182,5000 | 781,3 | 0,23358 | 6,00 | 0,268 |
| 28 | 1001,7 | 17,04 | 162,3000 | 781,3 | 0,20772 | 5,76 | 0,257 |
| 29 | 1001,2 | 17,04 | 143,8000 | 781,3 | 0,18408 | 5,57 | 0,249 |
| 30 | 1001,3 | 17,04 | 127,8000 | 781,2 | 0,16354 | 5,39 | 0,240 |
| 31 | 1001,2 | 17,04 | 113,5000 | 781,5 | 0,14529 | 5,23 | 0,233 |
| 32 | 1001,1 | 17,04 | 100,9000 | 781,2 | 0,12912 | 5,08 | 0,227 |
| 33 | 1001,0 | 0,00 | 89,8000 | 781,5 | 0,11491 | 4,95 | 0,221 |

Tabla 54 - Datos de adsorción del horizonte Bt1 del Perfil 1 - Alisol

| | Volumen (dosage) | Presión de carga | Presión de equilibrio | Tiempo de equilibrio | Presión de saturación | Presión Relativa | Volumen adsorbido | Cantidad adsorbida |
|----|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Torr | Torr | min | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 8,56 | 286,5 | 0,0124 | 6,5 | 781,5 | 0,00002 | 0,71 | 0,032 |
| 2 | 8,56 | 469,0 | 0,0164 | 6,5 | 781,2 | 0,00002 | 1,87 | 0,083 |
| 3 | 8,56 | 822,5 | 0,2030 | 6,7 | 781,5 | 0,00026 | 3,89 | 0,174 |
| 4 | 17,04 | 714,5 | 4,2527 | 1009,6 | 781,3 | 0,00544 | 7,23 | 0,323 |
| 5 | 17,04 | 937,5 | 37,4000 | 1009,6 | 781,7 | 0,04784 | 10,82 | 0,483 |
| 6 | 17,04 | 465,4 | 74,0000 | 1009,7 | 782,1 | 0,09461 | 12,03 | 0,537 |
| 7 | 8,56 | 354,8 | 89,8000 | 9,9 | 781,9 | 0,11485 | 12,44 | 0,555 |
| 8 | 8,56 | 316,2 | 104,5000 | 6,8 | 782,3 | 0,13359 | 12,80 | 0,571 |
| 9 | 8,56 | 322,0 | 119,4000 | 9,7 | 782,7 | 0,15256 | 13,16 | 0,587 |
| 10 | 8,56 | 312,4 | 134,4000 | 9,8 | 782,9 | 0,17166 | 13,49 | 0,602 |
| 11 | 4,32 | 594,1 | 149,3000 | 9,8 | 782,7 | 0,19076 | 13,81 | 0,616 |
| 12 | 4,32 | 578,1 | 164,0000 | 6,8 | 782,7 | 0,20954 | 14,12 | 0,630 |
| 13 | 4,32 | 545,4 | 177,7000 | 6,8 | 782,8 | 0,22701 | 14,41 | 0,643 |
| 14 | 4,32 | 587,7 | 192,5000 | 9,7 | 782,1 | 0,24612 | 14,73 | 0,657 |
| 15 | 4,32 | 527,3 | 205,5000 | 9,5 | 782,3 | 0,26270 | 15,02 | 0,670 |
| 16 | 4,32 | 584,8 | 220,0000 | 9,7 | 782,4 | 0,28119 | 15,34 | 0,684 |
| 17 | 4,32 | 591,6 | 234,6000 | 9,7 | 782,1 | 0,29995 | 15,66 | 0,699 |
| 18 | 4,32 | 732,3 | 252,5000 | 9,5 | 782,3 | 0,32278 | 16,06 | 0,717 |
| 19 | 8,56 | 729,3 | 286,1000 | 9,9 | 782,4 | 0,36567 | 16,87 | 0,753 |
| 20 | 8,56 | 347,7 | 301,4000 | 9,5 | 782,8 | 0,38503 | 17,27 | 0,770 |
| 21 | 8,56 | 351,2 | 316,7000 | 10,3 | 782,8 | 0,40458 | 17,67 | 0,788 |
| 22 | 8,56 | 358,9 | 332,1000 | 10,4 | 782,7 | 0,42432 | 18,08 | 0,807 |
| 23 | 8,56 | 369,8 | 347,4000 | 10,0 | 783,5 | 0,44342 | 18,53 | 0,827 |
| 24 | 8,56 | 460,8 | 366,5000 | 10,5 | 783,7 | 0,46764 | 19,09 | 0,851 |
| 25 | 8,56 | 360,6 | 381,0000 | 10,5 | 783,7 | 0,48614 | 19,53 | 0,871 |
| 26 | 8,56 | 463,3 | 399,2000 | 13,5 | 783,7 | 0,50936 | 20,11 | 0,897 |
| 27 | 8,56 | 436,8 | 416,1000 | 12,5 | 783,9 | 0,53083 | 20,67 | 0,922 |
| 28 | 8,56 | 424,2 | 432,2000 | 9,5 | 783,7 | 0,55147 | 21,21 | 0,947 |
| 29 | 8,56 | 465,8 | 449,5000 | 10,3 | 783,3 | 0,57383 | 21,83 | 0,974 |
| 30 | 8,56 | 437,7 | 465,3000 | 9,5 | 782,8 | 0,59441 | 22,41 | 1,000 |
| 31 | 8,56 | 470,5 | 481,8000 | 9,8 | 782,8 | 0,61549 | 23,06 | 1,029 |
| 32 | 8,56 | 478,8 | 497,8000 | 12,7 | 782,9 | 0,63582 | 23,74 | 1,059 |
| 33 | 8,56 | 508,3 | 514,0000 | 15,6 | 783,6 | 0,65596 | 24,48 | 1,092 |
| 34 | 8,56 | 542,8 | 530,9000 | 12,5 | 783,7 | 0,67740 | 25,29 | 1,128 |
| 35 | 8,56 | 557,3 | 547,0000 | 15,5 | 783,2 | 0,69843 | 26,15 | 1,167 |
| 36 | 8,56 | 649,9 | 564,7000 | 15,6 | 784,0 | 0,72029 | 27,20 | 1,213 |
| 37 | 8,56 | 496,2 | 577,4000 | 12,6 | 783,9 | 0,73661 | 28,00 | 1,249 |
| 38 | 8,56 | 511,7 | 589,8000 | 12,6 | 784,0 | 0,75231 | 28,86 | 1,288 |
| 39 | 8,56 | 524,6 | 602,3000 | 9,5 | 784,1 | 0,76811 | 29,74 | 1,327 |
| 40 | 8,56 | 553,4 | 613,6000 | 12,5 | 784,1 | 0,78252 | 30,73 | 1,371 |
| 41 | 8,56 | 618,5 | 625,4000 | 12,5 | 784,3 | 0,79744 | 31,87 | 1,422 |
| 42 | 8,56 | 726,9 | 638,1000 | 18,9 | 784,3 | 0,81363 | 33,24 | 1,483 |
| 43 | 8,56 | 757,9 | 650,9000 | 12,8 | 784,4 | 0,82982 | 34,69 | 1,548 |
| 44 | 8,56 | 801,0 | 662,0000 | 15,6 | 784,5 | 0,84382 | 36,29 | 1,619 |
| 45 | 17,04 | 493,1 | 674,0000 | 1018,5 | 784,3 | 0,85941 | 38,27 | 1,707 |
| 46 | 17,04 | 538,1 | 686,7000 | 1012,7 | 783,7 | 0,87619 | 40,45 | 1,805 |
| 47 | 17,04 | 559,6 | 697,2000 | 1012,9 | 783,3 | 0,89005 | 42,79 | 1,909 |
| 48 | 17,04 | 709,5 | 706,7000 | 1021,7 | 783,1 | 0,90249 | 45,89 | 2,048 |
| 49 | 17,04 | 929,7 | 719,5000 | 1018,6 | 783,3 | 0,91851 | 49,96 | 2,229 |
| 50 | 17,04 | 908,8 | 727,2000 | 1021,6 | 783,1 | 0,92866 | 54,08 | 2,413 |
| 51 | 17,04 | 903,3 | 734,3000 | 1024,6 | 783,1 | 0,93773 | 58,18 | 2,596 |
| 52 | 17,04 | 972,6 | 742,3000 | 1018,6 | 783,2 | 0,94779 | 62,60 | 2,793 |
| 53 | 17,04 | 925,9 | 747,6000 | 1021,7 | 782,9 | 0,95487 | 66,86 | 2,983 |
| 54 | 17,04 | 908,3 | 752,8000 | 1021,6 | 783,2 | 0,96120 | 71,05 | 3,170 |
| 55 | 17,04 | 903,5 | 757,3000 | 1021,6 | 784,0 | 0,96596 | 75,23 | 3,356 |
| 56 | 17,04 | 972,9 | 762,1000 | 1021,6 | 784,1 | 0,97191 | 79,74 | 3,558 |

Tabla 55 - Datos de desorción del horizonte Bt1 del Perfil 1 - Alisol

| Tempo de equilibrio | Volumen (dosage) | Presión de equilibrio | Presión de Saturación | Presión Relativa | Volumen desorbido | montant desorbido | Tempo de equilibrio |
|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| | min | cm ³ | Torr | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 1021,6 | 8,56 | 762,1000 | 784,1 | 0,97191 | 79,74 | 3,558 |
| 2 | 16,1 | 17,04 | 754,7000 | 784,1 | 0,96215 | 78,09 | 3,484 |
| 3 | 1016,0 | 17,04 | 745,0000 | 784,4 | 0,94994 | 74,78 | 3,336 |
| 4 | 1022,1 | 17,04 | 738,2000 | 784,3 | 0,94111 | 71,41 | 3,186 |
| 5 | 1019,1 | 17,04 | 731,2000 | 784,4 | 0,93187 | 68,08 | 3,038 |
| 6 | 1022,1 | 17,04 | 725,7000 | 784,7 | 0,92518 | 64,74 | 2,888 |
| 7 | 1025,1 | 17,04 | 719,3000 | 784,4 | 0,91779 | 61,45 | 2,742 |
| 8 | 1019,1 | 17,04 | 712,0000 | 783,7 | 0,90894 | 58,22 | 2,598 |
| 9 | 1016,0 | 17,04 | 704,6000 | 783,3 | 0,89934 | 55,03 | 2,455 |
| 10 | 1022,1 | 17,04 | 699,0000 | 783,5 | 0,89234 | 51,82 | 2,312 |
| 11 | 1019,1 | 17,04 | 690,0000 | 783,3 | 0,88161 | 48,75 | 2,175 |
| 12 | 1022,1 | 17,04 | 681,3000 | 782,7 | 0,86990 | 45,71 | 2,039 |
| 13 | 1019,1 | 17,04 | 670,0000 | 783,2 | 0,85548 | 42,80 | 1,910 |
| 14 | 1019,1 | 17,04 | 657,0000 | 783,2 | 0,83958 | 40,01 | 1,785 |
| 15 | 1019,1 | 17,04 | 642,6000 | 782,5 | 0,82133 | 37,33 | 1,665 |
| 16 | 1016,0 | 17,04 | 623,8000 | 782,4 | 0,79743 | 34,86 | 1,555 |
| 17 | 1019,1 | 17,04 | 603,5000 | 782,3 | 0,77148 | 32,54 | 1,452 |
| 18 | 1019,1 | 17,04 | 580,9000 | 782,3 | 0,74247 | 30,39 | 1,356 |
| 19 | 1013,0 | 17,04 | 553,9000 | 782,4 | 0,70832 | 28,50 | 1,272 |
| 20 | 1013,0 | 17,04 | 526,5000 | 782,0 | 0,67316 | 26,76 | 1,194 |
| 21 | 1016,0 | 17,04 | 497,6000 | 782,1 | 0,63611 | 25,19 | 1,124 |
| 22 | 1013,0 | 17,04 | 466,9000 | 782,3 | 0,59696 | 23,83 | 1,063 |
| 23 | 1010,0 | 17,04 | 436,6000 | 782,1 | 0,55784 | 22,60 | 1,008 |
| 24 | 1010,0 | 17,04 | 407,2000 | 782,7 | 0,52028 | 21,49 | 0,959 |
| 25 | 1013,0 | 17,04 | 379,4000 | 782,7 | 0,48500 | 20,46 | 0,913 |
| 26 | 1013,0 | 17,04 | 357,3000 | 782,3 | 0,45691 | 19,37 | 0,864 |
| 27 | 1013,0 | 17,04 | 333,2000 | 782,0 | 0,42638 | 18,46 | 0,823 |
| 28 | 1010,0 | 17,04 | 307,8000 | 781,5 | 0,39368 | 17,70 | 0,790 |
| 29 | 1006,9 | 17,04 | 282,9000 | 781,9 | 0,36189 | 17,05 | 0,761 |
| 30 | 1006,9 | 17,04 | 259,6000 | 781,7 | 0,33203 | 16,47 | 0,735 |
| 31 | 1006,9 | 17,04 | 237,7000 | 781,9 | 0,30422 | 15,95 | 0,712 |
| 32 | 1006,9 | 8,56 | 217,3000 | 781,3 | 0,27807 | 15,49 | 0,691 |
| 33 | 1,9 | 17,04 | 206,5000 | 781,5 | 0,26416 | 15,29 | 0,682 |
| 34 | 1001,7 | 17,04 | 187,6000 | 781,7 | 0,24010 | 14,93 | 0,666 |
| 35 | 1002,3 | 17,04 | 171,7000 | 781,3 | 0,21972 | 14,56 | 0,649 |
| 36 | 1002,0 | 17,04 | 156,7000 | 781,5 | 0,20056 | 14,23 | 0,635 |
| 37 | 1002,3 | 17,04 | 143,4000 | 781,3 | 0,18350 | 13,92 | 0,621 |
| 38 | 1002,1 | 17,04 | 130,8000 | 781,5 | 0,16735 | 13,65 | 0,609 |
| 39 | 1001,9 | 17,04 | 119,5000 | 781,6 | 0,15287 | 13,39 | 0,597 |
| 40 | 1001,6 | 17,04 | 109,1000 | 781,7 | 0,13961 | 13,16 | 0,587 |
| 41 | 1001,4 | 0,00 | 99,7000 | 781,5 | 0,12754 | 12,95 | 0,578 |

Tabla 56 - Datos de adsorción del horizonte A1 del Perfil 6 - Nitisol

| | Volumen (dosage) | Presión de carga | Presión de equilibrio | Tiempo de equilibrio | Presión de saturación | Presión Relativa | Volumen adsorbido | Cantidad adsorbida |
|----|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Torr | Torr | min | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 8,56 | 287,3 | 0,0151 | 6,5 | 778,9 | 0,00002 | 1,01 | 0,045 |
| 2 | 8,56 | 503,5 | 0,0206 | 6,8 | 779,2 | 0,00003 | 2,78 | 0,124 |
| 3 | 8,56 | 814,2 | 0,1011 | 6,7 | 779,3 | 0,00013 | 5,63 | 0,251 |
| 4 | 17,04 | 695,5 | 1,7035 | 1009,8 | 779,2 | 0,00219 | 10,35 | 0,462 |
| 5 | 17,04 | 945,3 | 18,0000 | 1012,6 | 779,9 | 0,02308 | 16,19 | 0,722 |
| 6 | 17,04 | 914,1 | 69,4000 | 1012,6 | 779,6 | 0,08902 | 20,34 | 0,908 |
| 7 | 8,56 | 550,4 | 89,8000 | 9,6 | 779,9 | 0,11515 | 21,42 | 0,956 |
| 8 | 8,56 | 360,3 | 103,7000 | 10,4 | 779,3 | 0,13306 | 22,10 | 0,986 |
| 9 | 8,56 | 356,0 | 117,9000 | 10,0 | 779,6 | 0,15123 | 22,75 | 1,015 |
| 10 | 8,56 | 366,1 | 132,8000 | 12,9 | 780,0 | 0,17026 | 23,40 | 1,044 |
| 11 | 8,56 | 349,8 | 147,3000 | 10,0 | 779,5 | 0,18898 | 24,01 | 1,071 |
| 12 | 8,56 | 346,4 | 161,9000 | 10,0 | 779,7 | 0,20764 | 24,60 | 1,098 |
| 13 | 8,56 | 329,5 | 175,9000 | 9,8 | 780,0 | 0,22552 | 25,16 | 1,122 |
| 14 | 8,56 | 331,9 | 190,0000 | 9,6 | 779,7 | 0,24367 | 25,72 | 1,147 |
| 15 | 8,56 | 333,0 | 204,2000 | 12,6 | 780,0 | 0,26180 | 26,27 | 1,172 |
| 16 | 8,56 | 336,3 | 218,4000 | 13,2 | 779,9 | 0,28005 | 26,84 | 1,197 |
| 17 | 8,56 | 363,8 | 233,6000 | 12,9 | 780,4 | 0,29934 | 27,46 | 1,225 |
| 18 | 8,56 | 453,8 | 252,8000 | 12,9 | 780,0 | 0,32411 | 28,22 | 1,259 |
| 19 | 8,56 | 364,1 | 268,0000 | 10,4 | 780,0 | 0,34359 | 28,84 | 1,287 |
| 20 | 8,56 | 433,4 | 285,8000 | 9,9 | 780,3 | 0,36629 | 29,58 | 1,320 |
| 21 | 8,56 | 425,0 | 303,2000 | 15,5 | 780,1 | 0,38865 | 30,31 | 1,352 |
| 22 | 8,56 | 463,3 | 322,1000 | 10,4 | 780,0 | 0,41295 | 31,11 | 1,388 |
| 23 | 8,56 | 439,0 | 339,7000 | 12,5 | 780,3 | 0,43537 | 31,88 | 1,422 |
| 24 | 8,56 | 427,5 | 356,2000 | 15,5 | 779,9 | 0,45675 | 32,65 | 1,457 |
| 25 | 8,56 | 458,8 | 374,2000 | 12,8 | 780,1 | 0,47966 | 33,47 | 1,493 |
| 26 | 8,56 | 437,2 | 390,9000 | 12,5 | 780,0 | 0,50116 | 34,26 | 1,528 |
| 27 | 8,56 | 449,6 | 407,7000 | 13,1 | 779,7 | 0,52287 | 35,09 | 1,565 |
| 28 | 8,56 | 475,6 | 425,1000 | 15,7 | 780,0 | 0,54501 | 35,98 | 1,605 |
| 29 | 8,56 | 469,0 | 442,6000 | 9,8 | 780,0 | 0,56744 | 36,84 | 1,644 |
| 30 | 8,56 | 468,1 | 458,4000 | 12,8 | 780,1 | 0,58759 | 37,77 | 1,685 |
| 31 | 8,56 | 533,6 | 476,3000 | 33,6 | 779,5 | 0,61106 | 38,84 | 1,733 |
| 32 | 8,56 | 514,2 | 493,9000 | 12,7 | 779,7 | 0,63342 | 39,85 | 1,778 |
| 33 | 8,56 | 511,3 | 510,4000 | 12,7 | 779,9 | 0,65448 | 40,89 | 1,824 |
| 34 | 8,56 | 547,4 | 526,4000 | 15,6 | 779,2 | 0,67557 | 42,08 | 1,877 |
| 35 | 8,56 | 615,9 | 544,3000 | 15,5 | 779,7 | 0,69806 | 43,42 | 1,937 |
| 36 | 8,56 | 775,6 | 566,0000 | 18,7 | 779,7 | 0,72589 | 45,17 | 2,015 |
| 37 | 8,56 | 474,7 | 578,3000 | 13,3 | 779,5 | 0,74192 | 46,25 | 2,064 |
| 38 | 8,56 | 481,4 | 589,5000 | 15,7 | 779,1 | 0,75668 | 47,40 | 2,115 |
| 39 | 8,56 | 538,7 | 601,4000 | 21,6 | 779,5 | 0,77156 | 48,72 | 2,174 |
| 40 | 8,56 | 611,2 | 615,1000 | 15,5 | 779,3 | 0,78927 | 50,22 | 2,241 |
| 41 | 8,56 | 579,5 | 626,5000 | 18,7 | 779,7 | 0,80348 | 51,70 | 2,307 |
| 42 | 8,56 | 636,8 | 639,2000 | 12,5 | 779,5 | 0,82005 | 53,33 | 2,379 |
| 43 | 8,56 | 602,1 | 648,7000 | 21,8 | 779,3 | 0,83238 | 54,97 | 2,453 |
| 44 | 17,04 | 414,1 | 661,8000 | 1021,5 | 779,5 | 0,84905 | 57,19 | 2,552 |
| 45 | 17,04 | 411,1 | 673,1000 | 1021,6 | 779,5 | 0,86355 | 59,47 | 2,653 |
| 46 | 17,04 | 500,1 | 685,9000 | 1021,6 | 779,2 | 0,88027 | 62,29 | 2,779 |
| 47 | 17,04 | 519,9 | 697,8000 | 1018,6 | 779,1 | 0,89569 | 65,28 | 2,913 |
| 48 | 17,04 | 609,3 | 709,3000 | 1022,1 | 779,2 | 0,91030 | 68,91 | 3,074 |
| 49 | 17,04 | 728,0 | 722,7000 | 1021,9 | 779,1 | 0,92766 | 73,27 | 3,269 |
| 50 | 17,04 | 737,2 | 735,1000 | 1024,5 | 778,7 | 0,94406 | 77,73 | 3,468 |
| 51 | 17,04 | 853,8 | 752,1000 | 1024,6 | 778,5 | 0,96605 | 82,80 | 3,694 |
| 52 | 17,04 | 636,1 | 764,4000 | 1024,6 | 778,5 | 0,98185 | 86,57 | 3,862 |

Tabla 57 - Datos de desorción del horizonte A1 del Perfil 6 - Nitisol

| | Tempo de equilibrio | Volumen (dosage) | Presión de equilibrio | Presión de Saturación | Presión Relativa | Volumen desorbido | montant desorbido |
|----|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | min | cm ³ | Torr | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 1024,6 | 8,56 | 764,4000 | 778,5 | 0,98185 | 86,57 | 3,862 |
| 2 | 18,9 | 8,56 | 747,5000 | 778,5 | 0,95998 | 84,67 | 3,777 |
| 3 | 12,9 | 8,56 | 728,2000 | 778,7 | 0,93583 | 82,93 | 3,700 |
| 4 | 15,9 | 8,56 | 710,3000 | 778,1 | 0,91283 | 81,20 | 3,623 |
| 5 | 12,9 | 8,56 | 694,1000 | 778,1 | 0,89171 | 79,46 | 3,545 |
| 6 | 15,9 | 17,04 | 681,1000 | 778,4 | 0,87530 | 77,62 | 3,463 |
| 7 | 1021,9 | 17,04 | 660,6000 | 778,1 | 0,84925 | 73,95 | 3,299 |
| 8 | 1021,9 | 17,04 | 642,8000 | 777,9 | 0,82651 | 70,29 | 3,136 |
| 9 | 1024,9 | 17,04 | 626,4000 | 777,7 | 0,80584 | 66,68 | 2,975 |
| 10 | 1024,9 | 17,04 | 609,4000 | 777,3 | 0,78411 | 63,21 | 2,820 |
| 11 | 1018,9 | 17,04 | 590,0000 | 777,2 | 0,75915 | 59,98 | 2,676 |
| 12 | 1021,9 | 17,04 | 571,5000 | 777,2 | 0,73559 | 56,84 | 2,536 |
| 13 | 1015,9 | 17,04 | 549,2000 | 776,9 | 0,70665 | 54,00 | 2,409 |
| 14 | 1021,9 | 17,04 | 528,5000 | 777,2 | 0,68107 | 51,25 | 2,286 |
| 15 | 1015,9 | 17,04 | 503,5000 | 776,0 | 0,64873 | 48,84 | 2,179 |
| 16 | 1015,9 | 17,04 | 478,8000 | 776,1 | 0,61659 | 46,59 | 2,079 |
| 17 | 1015,9 | 17,04 | 453,5000 | 776,5 | 0,58401 | 44,54 | 1,987 |
| 18 | 1012,9 | 17,04 | 427,6000 | 776,5 | 0,55113 | 42,69 | 1,905 |
| 19 | 1012,9 | 17,04 | 402,7000 | 775,9 | 0,51922 | 40,97 | 1,828 |
| 20 | 1018,9 | 17,04 | 383,2000 | 775,6 | 0,49416 | 39,16 | 1,747 |
| 21 | 1024,9 | 17,04 | 373,6000 | 775,5 | 0,48186 | 36,99 | 1,650 |
| 22 | 1018,9 | 17,04 | 361,4000 | 775,3 | 0,46629 | 35,02 | 1,562 |
| 23 | 1018,9 | 17,04 | 345,9000 | 775,1 | 0,44621 | 33,29 | 1,485 |
| 24 | 1015,9 | 17,04 | 325,1000 | 775,2 | 0,41952 | 31,93 | 1,424 |
| 25 | 1012,9 | 17,04 | 302,5000 | 774,9 | 0,39029 | 30,79 | 1,374 |
| 26 | 1012,9 | 17,04 | 280,1000 | 775,1 | 0,36133 | 29,81 | 1,330 |
| 27 | 1009,9 | 17,04 | 258,7000 | 775,2 | 0,33372 | 28,92 | 1,290 |
| 28 | 1009,9 | 17,04 | 239,1000 | 775,2 | 0,30854 | 28,10 | 1,254 |
| 29 | 1009,9 | 8,56 | 220,5000 | 774,9 | 0,28459 | 27,36 | 1,221 |
| 30 | 2,2 | 17,04 | 210,2000 | 774,8 | 0,27134 | 27,05 | 1,207 |
| 31 | 1003,2 | 17,04 | 193,6000 | 774,7 | 0,24983 | 26,41 | 1,178 |
| 32 | 1003,1 | 17,04 | 178,7000 | 774,9 | 0,23068 | 25,80 | 1,151 |
| 33 | 1002,8 | 17,04 | 164,7000 | 774,7 | 0,21265 | 25,25 | 1,127 |
| 34 | 1002,0 | 17,04 | 151,4000 | 774,5 | 0,19554 | 24,76 | 1,105 |
| 35 | 1002,0 | 17,04 | 139,8000 | 774,3 | 0,18059 | 24,28 | 1,083 |
| 36 | 1002,4 | 17,04 | 129,7000 | 774,1 | 0,16743 | 23,81 | 1,062 |
| 37 | 1002,4 | 17,04 | 120,3000 | 774,7 | 0,15527 | 23,38 | 1,043 |
| 38 | 1002,4 | 17,04 | 111,5000 | 774,8 | 0,14393 | 22,98 | 1,025 |
| 39 | 1001,8 | 17,04 | 103,0000 | 774,7 | 0,13289 | 22,62 | 1,009 |
| 40 | 1002,0 | 0,00 | 95,7000 | 775,1 | 0,12354 | 22,26 | 0,993 |

Tabla 58 - Datos de adsorción del horizonte Bt2 del Perfil 6 - Nitisol

| | Volumen (dosage) | Presión de carga | Presión de equilibrio | Tiempo de equilibrio | Presión de saturación | Presión Relativa | Volumen adsorbido | Cantidad adsorbida |
|----|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Torr | Torr | min | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 8,56 | 310,9 | 0,0112 | 6,6 | 791,2 | 0,00001 | 0,82 | 0,036 |
| 2 | 8,56 | 531,7 | 0,0096 | 6,7 | 790,8 | 0,00001 | 2,21 | 0,099 |
| 3 | 17,04 | 447,8 | 0,0230 | 1006,7 | 791,2 | 0,00003 | 4,52 | 0,202 |
| 4 | 17,04 | 761,8 | 0,1788 | 1006,6 | 790,9 | 0,00023 | 8,43 | 0,376 |
| 5 | 17,04 | 938,5 | 1,6162 | 1009,6 | 791,1 | 0,00204 | 13,22 | 0,590 |
| 6 | 17,04 | 915,8 | 6,2306 | 1009,6 | 791,2 | 0,00787 | 17,79 | 0,794 |
| 7 | 17,04 | 971,8 | 25,1000 | 1012,6 | 792,0 | 0,03169 | 22,21 | 0,991 |
| 8 | 17,04 | 907,2 | 64,4000 | 1012,7 | 791,1 | 0,08141 | 25,67 | 1,146 |
| 9 | 17,04 | 454,0 | 88,8000 | 1012,6 | 792,1 | 0,11210 | 27,26 | 1,216 |
| 10 | 17,04 | 334,2 | 108,0000 | 1013,3 | 791,9 | 0,13639 | 28,38 | 1,266 |
| 11 | 17,04 | 310,3 | 126,6000 | 1013,2 | 792,4 | 0,15977 | 29,40 | 1,312 |
| 12 | 17,04 | 325,2 | 146,4000 | 1010,0 | 791,7 | 0,18491 | 30,45 | 1,359 |
| 13 | 8,56 | 605,1 | 165,5000 | 12,6 | 791,6 | 0,20907 | 31,44 | 1,403 |
| 14 | 8,56 | 565,3 | 183,6000 | 12,7 | 792,1 | 0,23178 | 32,35 | 1,443 |
| 15 | 8,56 | 573,5 | 202,0000 | 12,6 | 791,5 | 0,25522 | 33,27 | 1,485 |
| 16 | 8,56 | 556,9 | 219,4000 | 12,7 | 791,3 | 0,27725 | 34,18 | 1,525 |
| 17 | 8,56 | 572,8 | 237,2000 | 15,6 | 791,5 | 0,29970 | 35,12 | 1,567 |
| 18 | 8,56 | 720,0 | 259,6000 | 16,2 | 790,3 | 0,32850 | 36,30 | 1,619 |
| 19 | 8,56 | 521,7 | 275,5000 | 12,7 | 789,6 | 0,34892 | 37,16 | 1,658 |
| 20 | 8,56 | 559,8 | 292,4000 | 12,6 | 789,7 | 0,37025 | 38,08 | 1,699 |
| 21 | 8,56 | 563,3 | 309,3000 | 12,6 | 790,0 | 0,39152 | 39,01 | 1,740 |
| 22 | 8,56 | 563,6 | 325,6000 | 12,6 | 790,0 | 0,41216 | 39,96 | 1,783 |
| 23 | 8,56 | 574,0 | 342,3000 | 12,6 | 789,7 | 0,43344 | 40,92 | 1,826 |
| 24 | 8,56 | 624,3 | 359,9000 | 12,7 | 790,1 | 0,45549 | 41,99 | 1,873 |
| 25 | 8,56 | 659,3 | 378,4000 | 12,5 | 789,3 | 0,47939 | 43,11 | 1,924 |
| 26 | 8,56 | 578,1 | 393,9000 | 12,7 | 789,3 | 0,49903 | 44,12 | 1,968 |
| 27 | 8,56 | 632,1 | 410,8000 | 12,5 | 788,8 | 0,52080 | 45,22 | 2,017 |
| 28 | 8,56 | 680,9 | 428,1000 | 15,5 | 789,2 | 0,54245 | 46,43 | 2,072 |
| 29 | 8,56 | 693,4 | 445,8000 | 12,5 | 788,4 | 0,56546 | 47,67 | 2,127 |
| 30 | 8,56 | 688,7 | 462,4000 | 15,6 | 788,3 | 0,58661 | 48,92 | 2,183 |
| 31 | 8,56 | 770,8 | 480,6000 | 15,8 | 788,3 | 0,60970 | 50,34 | 2,246 |
| 32 | 8,56 | 717,0 | 496,6000 | 15,6 | 788,1 | 0,63010 | 51,68 | 2,306 |
| 33 | 17,04 | 410,8 | 514,1000 | 1015,6 | 788,3 | 0,65220 | 53,21 | 2,374 |
| 34 | 17,04 | 433,6 | 531,4000 | 1015,5 | 788,7 | 0,67380 | 54,86 | 2,447 |
| 35 | 17,04 | 502,8 | 549,3000 | 1021,6 | 788,7 | 0,69650 | 56,84 | 2,536 |
| 36 | 17,04 | 627,0 | 570,8000 | 1021,8 | 788,3 | 0,72413 | 59,35 | 2,648 |
| 37 | 8,56 | 354,5 | 577,4000 | 9,8 | 788,1 | 0,73262 | 60,02 | 2,678 |
| 38 | 8,56 | 688,1 | 588,2000 | 12,5 | 788,4 | 0,74608 | 61,44 | 2,741 |
| 39 | 17,04 | 451,6 | 601,0000 | 1015,5 | 788,4 | 0,76231 | 63,32 | 2,825 |
| 40 | 17,04 | 454,8 | 612,7000 | 1018,5 | 788,9 | 0,77662 | 65,24 | 2,911 |
| 41 | 17,04 | 526,4 | 626,3000 | 1018,8 | 787,9 | 0,79494 | 67,47 | 3,010 |
| 42 | 17,04 | 467,2 | 636,5000 | 1018,7 | 787,6 | 0,80816 | 69,50 | 3,101 |
| 43 | 17,04 | 625,9 | 649,0000 | 1021,5 | 787,2 | 0,82445 | 72,28 | 3,225 |
| 44 | 17,04 | 693,1 | 662,0000 | 1021,5 | 787,2 | 0,84097 | 75,38 | 3,363 |
| 45 | 17,04 | 720,9 | 673,5000 | 1021,6 | 788,3 | 0,85441 | 78,67 | 3,510 |
| 46 | 17,04 | 931,7 | 686,8000 | 1021,6 | 788,0 | 0,87158 | 82,99 | 3,703 |
| 47 | 17,04 | 909,3 | 698,3000 | 1021,6 | 788,1 | 0,88602 | 87,25 | 3,893 |
| 48 | 17,04 | 902,8 | 708,4000 | 1018,6 | 787,2 | 0,89991 | 91,52 | 4,083 |
| 49 | 17,04 | 972,3 | 717,2000 | 1018,6 | 787,5 | 0,91078 | 96,19 | 4,292 |
| 50 | 17,04 | 925,6 | 725,2000 | 1015,7 | 787,9 | 0,92047 | 100,64 | 4,490 |
| 51 | 17,04 | 908,2 | 730,4000 | 1018,6 | 787,7 | 0,92722 | 105,09 | 4,689 |
| 52 | 17,04 | 903,3 | 735,8000 | 1018,6 | 787,7 | 0,93408 | 109,51 | 4,886 |
| 53 | 17,04 | 973,2 | 740,9000 | 1018,6 | 787,6 | 0,94072 | 114,29 | 5,099 |
| 54 | 17,04 | 927,1 | 745,0000 | 1021,7 | 788,8 | 0,94448 | 118,87 | 5,304 |
| 55 | 17,04 | 909,3 | 751,0000 | 1018,6 | 787,9 | 0,95322 | 123,30 | 5,501 |
| 56 | 17,04 | 904,6 | 753,0000 | 1030,6 | 787,1 | 0,95673 | 127,83 | 5,703 |
| 57 | 17,04 | 903,3 | 758,9000 | 1021,6 | 787,2 | 0,96406 | 132,23 | 5,900 |
| 58 | 17,04 | 903,3 | 764,0000 | 1024,6 | 787,9 | 0,96972 | 136,65 | 6,097 |

Tabla 59 - Datos de desorción del horizonte Bt2 del Perfil 6 - Nitisol

| | Tempo de equilibrio | Volumen (dosage) | Presión de equilibrio | Presión de Saturación | Presión Relativa | Volumen desorbido | montant desorbido |
|----|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | min | cm ³ | Torr | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 1024,6 | 8,56 | 764,0000 | 787,9 | 0,96972 | 136,65 | 6,097 |
| 2 | 12,9 | 17,04 | 753,7000 | 787,9 | 0,95777 | 135,00 | 6,023 |
| 3 | 1021,9 | 17,04 | 741,7000 | 786,9 | 0,94317 | 131,57 | 5,870 |
| 4 | 1018,9 | 17,04 | 731,5000 | 786,4 | 0,93098 | 128,13 | 5,717 |
| 5 | 1018,9 | 17,04 | 724,4000 | 785,7 | 0,92164 | 124,63 | 5,561 |
| 6 | 1018,9 | 17,04 | 718,5000 | 786,0 | 0,91397 | 121,13 | 5,404 |
| 7 | 1018,9 | 17,04 | 714,0000 | 786,1 | 0,90825 | 117,60 | 5,247 |
| 8 | 1018,9 | 17,04 | 709,2000 | 786,1 | 0,90184 | 114,10 | 5,091 |
| 9 | 1021,9 | 17,04 | 704,8000 | 786,4 | 0,89716 | 110,62 | 4,935 |
| 10 | 1021,9 | 17,04 | 701,0000 | 785,6 | 0,89216 | 107,14 | 4,780 |
| 11 | 1021,9 | 17,04 | 695,3000 | 785,7 | 0,88521 | 103,74 | 4,629 |
| 12 | 1021,9 | 17,04 | 690,1000 | 785,5 | 0,87829 | 100,36 | 4,478 |
| 13 | 1021,9 | 17,04 | 684,5000 | 785,7 | 0,87102 | 97,02 | 4,329 |
| 14 | 1021,9 | 17,04 | 678,1000 | 785,9 | 0,86302 | 93,74 | 4,182 |
| 15 | 1024,9 | 17,04 | 671,4000 | 785,7 | 0,85493 | 90,50 | 4,038 |
| 16 | 1021,9 | 17,04 | 662,7000 | 785,3 | 0,84400 | 87,36 | 3,898 |
| 17 | 1021,9 | 17,04 | 653,6000 | 785,2 | 0,83212 | 84,29 | 3,761 |
| 18 | 1018,9 | 17,04 | 642,8000 | 785,5 | 0,81866 | 81,33 | 3,628 |
| 19 | 1018,9 | 17,04 | 631,4000 | 785,2 | 0,80414 | 78,44 | 3,500 |
| 20 | 1021,9 | 17,04 | 619,2000 | 785,2 | 0,78886 | 75,64 | 3,375 |
| 21 | 1021,9 | 17,04 | 605,7000 | 784,9 | 0,77114 | 72,95 | 3,255 |
| 22 | 1018,9 | 17,04 | 590,6000 | 785,5 | 0,75115 | 70,39 | 3,140 |
| 23 | 1018,9 | 17,04 | 574,9000 | 786,3 | 0,73168 | 67,92 | 3,031 |
| 24 | 1015,9 | 17,04 | 558,5000 | 785,7 | 0,71069 | 65,57 | 2,925 |
| 25 | 1018,9 | 17,04 | 542,0000 | 785,9 | 0,68945 | 63,30 | 2,824 |
| 26 | 1018,9 | 17,04 | 524,7000 | 786,1 | 0,66734 | 61,14 | 2,728 |
| 27 | 1018,9 | 17,04 | 507,1000 | 786,3 | 0,64495 | 59,08 | 2,636 |
| 28 | 1018,9 | 17,04 | 489,5000 | 786,3 | 0,62278 | 57,12 | 2,548 |
| 29 | 1018,9 | 17,04 | 471,7000 | 786,0 | 0,59972 | 55,25 | 2,465 |
| 30 | 1012,9 | 17,04 | 453,1000 | 786,5 | 0,57657 | 53,50 | 2,387 |
| 31 | 1012,9 | 17,04 | 435,5000 | 785,9 | 0,55398 | 51,81 | 2,311 |
| 32 | 1015,9 | 17,04 | 418,4000 | 786,1 | 0,53169 | 50,19 | 2,239 |
| 33 | 1012,9 | 17,04 | 400,1000 | 786,9 | 0,50878 | 48,70 | 2,173 |
| 34 | 1018,9 | 17,04 | 386,1000 | 786,4 | 0,49089 | 47,15 | 2,104 |
| 35 | 1018,9 | 17,04 | 376,3000 | 786,5 | 0,47803 | 45,52 | 2,031 |
| 36 | 1018,9 | 17,04 | 365,6000 | 787,2 | 0,46467 | 43,98 | 1,962 |
| 37 | 1012,9 | 17,04 | 351,6000 | 786,8 | 0,44688 | 42,60 | 1,901 |
| 38 | 1015,9 | 17,04 | 337,2000 | 786,8 | 0,42887 | 41,32 | 1,843 |
| 39 | 1016,0 | 17,04 | 320,4000 | 786,3 | 0,40757 | 40,19 | 1,793 |
| 40 | 1012,9 | 17,04 | 303,3000 | 786,1 | 0,38569 | 39,16 | 1,747 |
| 41 | 1012,9 | 17,04 | 286,6000 | 786,4 | 0,36464 | 38,20 | 1,704 |
| 42 | 1012,9 | 17,04 | 270,4000 | 786,0 | 0,34438 | 37,31 | 1,665 |
| 43 | 1009,9 | 17,04 | 254,6000 | 785,2 | 0,32409 | 36,49 | 1,628 |
| 44 | 1009,9 | 17,04 | 239,6000 | 785,6 | 0,30484 | 35,72 | 1,594 |
| 45 | 1009,9 | 8,56 | 225,7000 | 786,0 | 0,28735 | 34,99 | 1,561 |
| 46 | 2,0 | 17,04 | 216,9000 | 785,5 | 0,27605 | 34,69 | 1,548 |
| 47 | 1002,4 | 17,04 | 202,9000 | 785,7 | 0,25832 | 34,08 | 1,521 |
| 48 | 1003,5 | 17,04 | 192,0000 | 785,5 | 0,24444 | 33,43 | 1,492 |
| 49 | 1003,1 | 17,04 | 180,8000 | 785,5 | 0,23010 | 32,85 | 1,465 |
| 50 | 1003,4 | 17,04 | 170,5000 | 785,7 | 0,21696 | 32,29 | 1,441 |
| 51 | 1002,9 | 17,04 | 160,1000 | 785,9 | 0,20386 | 31,78 | 1,418 |
| 52 | 1003,0 | 17,04 | 150,9000 | 785,3 | 0,19208 | 31,29 | 1,396 |
| 53 | 1002,6 | 17,04 | 142,0000 | 785,6 | 0,18069 | 30,83 | 1,376 |
| 54 | 1002,8 | 17,04 | 133,8000 | 785,9 | 0,17029 | 30,40 | 1,356 |
| 55 | 1002,7 | 17,04 | 126,2000 | 785,7 | 0,16061 | 29,98 | 1,338 |
| 56 | 1002,2 | 17,04 | 118,6000 | 785,7 | 0,15107 | 29,61 | 1,321 |
| 57 | 1002,2 | 17,04 | 111,9000 | 785,1 | 0,14249 | 29,24 | 1,304 |
| 58 | 1002,0 | 17,04 | 105,6000 | 785,3 | 0,13447 | 28,89 | 1,289 |
| 59 | 1002,3 | 0,00 | 99,9000 | 785,3 | 0,12714 | 28,55 | 1,274 |

Tabla 60 - Datos de adsorción del horizonte A1 del Perfil 7 - Cambisol

| | Volumen (dosage) | Presión de carga | Presión de equilibrio | Tiempo de equilibrio | Presión de saturación | Presión Relativa | Volumen adsorbido | Cantidad adsorbida |
|----|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Torr | Torr | min | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 8,56 | 314,3 | 0,0157 | 9,7 | 763,3 | 0,00002 | 1,15 | 0,051 |
| 2 | 8,56 | 529,7 | 0,3819 | 6,8 | 762,2 | 0,00050 | 3,07 | 0,137 |
| 3 | 8,56 | 909,6 | 9,2442 | 9,7 | 762,4 | 0,01213 | 6,04 | 0,269 |
| 4 | 17,04 | 766,8 | 71,5000 | 1018,8 | 763,4 | 0,09366 | 8,95 | 0,399 |
| 5 | 4,32 | 620,0 | 89,0000 | 9,7 | 762,9 | 0,11666 | 9,39 | 0,419 |
| 6 | 4,32 | 399,7 | 100,3000 | 9,7 | 763,2 | 0,13143 | 9,68 | 0,432 |
| 7 | 4,32 | 419,8 | 112,4000 | 9,6 | 763,2 | 0,14728 | 9,96 | 0,444 |
| 8 | 4,32 | 387,0 | 123,8000 | 9,9 | 763,2 | 0,16222 | 10,21 | 0,455 |
| 9 | 4,32 | 384,5 | 135,0000 | 9,9 | 763,3 | 0,17687 | 10,46 | 0,467 |
| 10 | 4,32 | 414,0 | 147,4000 | 9,6 | 763,2 | 0,19314 | 10,71 | 0,478 |
| 11 | 4,32 | 400,1 | 159,3000 | 9,9 | 763,8 | 0,20855 | 10,96 | 0,489 |
| 12 | 4,32 | 399,2 | 171,2000 | 6,8 | 763,4 | 0,22425 | 11,21 | 0,500 |
| 13 | 4,32 | 399,7 | 183,1000 | 9,9 | 763,6 | 0,23980 | 11,45 | 0,511 |
| 14 | 4,32 | 372,9 | 194,1000 | 9,9 | 763,8 | 0,25411 | 11,68 | 0,521 |
| 15 | 4,32 | 408,1 | 206,3000 | 9,6 | 764,1 | 0,26999 | 11,92 | 0,532 |
| 16 | 4,32 | 367,1 | 217,0000 | 12,8 | 765,2 | 0,28360 | 12,15 | 0,542 |
| 17 | 4,32 | 426,0 | 229,8000 | 6,7 | 764,5 | 0,30059 | 12,40 | 0,553 |
| 18 | 8,56 | 613,7 | 265,0000 | 9,7 | 764,8 | 0,34651 | 13,14 | 0,586 |
| 19 | 4,32 | 605,1 | 282,8000 | 6,8 | 764,6 | 0,36985 | 13,52 | 0,603 |
| 20 | 4,32 | 590,6 | 299,4000 | 9,9 | 765,0 | 0,39136 | 13,91 | 0,621 |
| 21 | 4,32 | 594,0 | 316,0000 | 9,9 | 764,5 | 0,41335 | 14,31 | 0,638 |
| 22 | 4,32 | 598,5 | 332,9000 | 9,9 | 765,0 | 0,43515 | 14,70 | 0,656 |
| 23 | 4,32 | 598,5 | 349,7000 | 9,9 | 764,9 | 0,45719 | 15,09 | 0,673 |
| 24 | 4,32 | 608,5 | 366,3000 | 9,9 | 764,5 | 0,47914 | 15,51 | 0,692 |
| 25 | 4,32 | 601,1 | 383,0000 | 12,9 | 764,9 | 0,50073 | 15,91 | 0,710 |
| 26 | 4,32 | 640,3 | 400,0000 | 9,8 | 765,7 | 0,52240 | 16,36 | 0,730 |
| 27 | 4,32 | 676,6 | 417,4000 | 9,7 | 765,4 | 0,54531 | 16,87 | 0,753 |
| 28 | 4,32 | 627,8 | 432,6000 | 9,9 | 765,6 | 0,56508 | 17,37 | 0,775 |
| 29 | 4,32 | 739,3 | 451,2000 | 9,6 | 764,9 | 0,58989 | 17,94 | 0,800 |
| 30 | 4,32 | 631,6 | 466,8000 | 9,6 | 765,0 | 0,61017 | 18,43 | 0,822 |
| 31 | 4,32 | 689,0 | 482,9000 | 9,7 | 765,3 | 0,63100 | 19,00 | 0,848 |
| 32 | 4,32 | 779,1 | 500,4000 | 12,6 | 765,6 | 0,65364 | 19,69 | 0,878 |
| 33 | 4,32 | 834,8 | 518,5000 | 9,6 | 765,6 | 0,67728 | 20,45 | 0,912 |
| 34 | 8,56 | 362,6 | 531,7000 | 16,7 | 765,3 | 0,69477 | 21,16 | 0,944 |
| 35 | 8,56 | 449,2 | 548,9000 | 13,2 | 765,8 | 0,71674 | 22,01 | 0,982 |
| 36 | 8,56 | 334,8 | 561,1000 | 10,0 | 765,6 | 0,73293 | 22,65 | 1,010 |
| 37 | 8,56 | 335,6 | 572,4000 | 9,7 | 765,6 | 0,74769 | 23,33 | 1,041 |
| 38 | 8,56 | 365,9 | 584,6000 | 13,0 | 765,8 | 0,76335 | 24,08 | 1,074 |
| 39 | 8,56 | 364,2 | 595,8000 | 13,5 | 765,4 | 0,77839 | 24,87 | 1,109 |
| 40 | 8,56 | 368,4 | 606,5000 | 13,7 | 766,2 | 0,79154 | 25,69 | 1,146 |
| 41 | 8,56 | 506,5 | 620,6000 | 12,6 | 766,4 | 0,80980 | 26,87 | 1,199 |
| 42 | 8,56 | 458,4 | 633,0000 | 12,7 | 765,7 | 0,82671 | 27,94 | 1,247 |
| 43 | 8,56 | 487,0 | 644,9000 | 12,9 | 766,2 | 0,84165 | 29,14 | 1,300 |
| 44 | 8,56 | 579,1 | 658,2000 | 12,6 | 766,6 | 0,85856 | 30,62 | 1,366 |
| 45 | 8,56 | 590,8 | 670,0000 | 15,9 | 766,8 | 0,87381 | 32,20 | 1,437 |
| 46 | 8,56 | 732,9 | 682,3000 | 22,2 | 766,5 | 0,89016 | 34,28 | 1,529 |
| 47 | 17,04 | 415,5 | 695,4000 | 1021,9 | 766,4 | 0,90741 | 36,62 | 1,634 |
| 48 | 17,04 | 437,8 | 707,0000 | 1021,7 | 766,5 | 0,92239 | 39,18 | 1,748 |
| 49 | 17,04 | 544,8 | 722,2000 | 1019,1 | 767,2 | 0,94139 | 42,35 | 1,889 |
| 50 | 17,04 | 541,4 | 736,7000 | 1022,0 | 766,8 | 0,96080 | 45,52 | 2,031 |
| 51 | 17,04 | 540,0 | 750,8000 | 1022,0 | 766,4 | 0,97970 | 48,70 | 2,173 |
| 52 | 17,04 | 551,5 | 760,6000 | 1019,1 | 766,8 | 0,99197 | 52,15 | 2,327 |

Tabla 61 - Datos de desorción del horizonte A1 del Perfil 7 - Cambisol

| | Tempo de equilibrio | Volumen (dosage) | Presión de equilibrio | Presión de Saturación | Presión Relativa | Volumen desorbido | montant desorbido |
|----|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | min | cm ³ | Torr | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 1019,1 | 8,56 | 760,6000 | 766,8 | 0,99197 | 52,15 | 2,327 |
| 2 | 13,0 | 8,56 | 748,5000 | 766,8 | 0,97635 | 49,93 | 2,228 |
| 3 | 13,0 | 8,56 | 732,3000 | 766,6 | 0,95572 | 47,95 | 2,139 |
| 4 | 16,0 | 4,32 | 710,8000 | 766,2 | 0,92734 | 46,27 | 2,064 |
| 5 | 10,0 | 4,32 | 697,7000 | 766,5 | 0,91041 | 45,50 | 2,030 |
| 6 | 10,0 | 4,32 | 685,4000 | 766,4 | 0,89482 | 44,72 | 1,995 |
| 7 | 19,1 | 8,56 | 675,2000 | 766,0 | 0,88182 | 43,87 | 1,957 |
| 8 | 19,1 | 8,56 | 655,4000 | 765,7 | 0,85655 | 42,32 | 1,888 |
| 9 | 16,0 | 8,56 | 637,8000 | 765,2 | 0,83326 | 40,74 | 1,818 |
| 10 | 13,0 | 8,56 | 621,8000 | 765,4 | 0,81235 | 39,15 | 1,747 |
| 11 | 10,0 | 8,56 | 606,8000 | 765,4 | 0,79290 | 37,57 | 1,676 |
| 12 | 16,0 | 17,04 | 594,5000 | 765,3 | 0,77737 | 35,91 | 1,602 |
| 13 | 1019,1 | 17,04 | 568,3000 | 764,8 | 0,74298 | 32,96 | 1,470 |
| 14 | 1022,1 | 17,04 | 541,1000 | 764,9 | 0,70729 | 30,23 | 1,349 |
| 15 | 1019,1 | 17,04 | 512,3000 | 765,0 | 0,67012 | 27,78 | 1,240 |
| 16 | 1013,0 | 17,04 | 481,8000 | 764,5 | 0,63077 | 25,62 | 1,143 |
| 17 | 1013,0 | 17,04 | 451,0000 | 763,8 | 0,59004 | 23,69 | 1,057 |
| 18 | 1013,0 | 17,04 | 420,0000 | 764,4 | 0,55006 | 21,99 | 0,981 |
| 19 | 1013,0 | 17,04 | 388,6000 | 763,6 | 0,50920 | 20,53 | 0,916 |
| 20 | 1016,0 | 17,04 | 368,6000 | 763,2 | 0,48307 | 18,73 | 0,836 |
| 21 | 1019,1 | 17,04 | 355,6000 | 763,0 | 0,46628 | 16,73 | 0,746 |
| 22 | 1016,0 | 17,04 | 332,4000 | 762,6 | 0,43594 | 15,32 | 0,683 |
| 23 | 1010,0 | 17,04 | 302,5000 | 762,5 | 0,39665 | 14,41 | 0,643 |
| 24 | 1006,9 | 17,04 | 272,4000 | 762,6 | 0,35737 | 13,72 | 0,612 |
| 25 | 1006,9 | 17,04 | 244,8000 | 762,2 | 0,32139 | 13,12 | 0,585 |
| 26 | 1006,9 | 8,56 | 219,9000 | 761,7 | 0,28865 | 12,58 | 0,561 |
| 27 | 1,3 | 17,04 | 206,5000 | 761,8 | 0,27115 | 12,39 | 0,553 |
| 28 | 1001,9 | 17,04 | 185,0000 | 761,6 | 0,24288 | 11,96 | 0,533 |
| 29 | 1002,1 | 17,04 | 166,1000 | 761,7 | 0,21818 | 11,55 | 0,515 |
| 30 | 1002,5 | 17,04 | 149,3000 | 761,3 | 0,19611 | 11,18 | 0,499 |
| 31 | 1001,8 | 17,04 | 133,6000 | 761,3 | 0,17540 | 10,88 | 0,485 |
| 32 | 1001,7 | 17,04 | 119,9000 | 761,7 | 0,15750 | 10,59 | 0,472 |
| 33 | 1001,8 | 17,04 | 107,9000 | 761,3 | 0,14161 | 10,31 | 0,460 |
| 34 | 1001,6 | 0,00 | 97,0000 | 762,0 | 0,12737 | 10,07 | 0,449 |

Tabla 62 - Datos de adsorción del horizonte Bi del Perfil 7 - Cambisol

| | Volumen (dosage) | Presión de carga | Presión de equilibrio | Tiempo de equilibrio | Presión de saturación | Presión Relativa | Volumen adsorbido | Cantidad adsorbida |
|----|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | cm ³ | Torr | Torr | min | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 8,56 | 297,7 | 0,0120 | 6,9 | 785,3 | 0,00002 | 0,95 | 0,043 |
| 2 | 8,56 | 498,0 | 0,0145 | 6,8 | 786,1 | 0,00002 | 2,55 | 0,114 |
| 3 | 8,56 | 814,6 | 0,0849 | 6,7 | 786,6 | 0,00011 | 5,16 | 0,230 |
| 4 | 17,04 | 701,2 | 1,9858 | 1009,6 | 786,4 | 0,00253 | 9,49 | 0,423 |
| 5 | 17,04 | 932,0 | 23,9000 | 1012,6 | 786,4 | 0,03039 | 14,53 | 0,648 |
| 6 | 17,04 | 733,6 | 72,0000 | 1012,6 | 786,9 | 0,09150 | 17,35 | 0,774 |
| 7 | 8,56 | 467,6 | 91,0000 | 9,8 | 786,8 | 0,11566 | 18,13 | 0,809 |
| 8 | 8,56 | 341,8 | 105,7000 | 9,7 | 786,6 | 0,13437 | 18,67 | 0,833 |
| 9 | 8,56 | 340,0 | 120,5000 | 9,5 | 786,8 | 0,15316 | 19,20 | 0,857 |
| 10 | 8,56 | 323,4 | 134,8000 | 9,7 | 786,9 | 0,17131 | 19,70 | 0,879 |
| 11 | 8,56 | 312,9 | 148,7000 | 9,5 | 787,0 | 0,18894 | 20,17 | 0,900 |
| 12 | 8,56 | 328,2 | 163,5000 | 9,6 | 787,7 | 0,20757 | 20,66 | 0,922 |
| 13 | 8,56 | 334,2 | 178,8000 | 12,5 | 788,0 | 0,22692 | 21,15 | 0,943 |
| 14 | 8,56 | 304,1 | 192,5000 | 9,8 | 788,2 | 0,24422 | 21,59 | 0,963 |
| 15 | 8,56 | 323,9 | 207,3000 | 9,6 | 788,5 | 0,26291 | 22,06 | 0,984 |
| 16 | 8,56 | 325,7 | 221,6000 | 9,7 | 787,6 | 0,28138 | 22,56 | 1,006 |
| 17 | 8,56 | 314,6 | 235,9000 | 9,5 | 788,2 | 0,29928 | 23,01 | 1,027 |
| 18 | 8,56 | 360,0 | 252,1000 | 10,3 | 787,7 | 0,32005 | 23,54 | 1,050 |
| 19 | 8,56 | 355,6 | 267,8000 | 10,4 | 787,7 | 0,33998 | 24,07 | 1,074 |
| 20 | 8,56 | 371,5 | 283,6000 | 10,4 | 787,6 | 0,36010 | 24,65 | 1,100 |
| 21 | 8,56 | 434,4 | 303,1000 | 10,0 | 787,0 | 0,38512 | 25,29 | 1,128 |
| 22 | 8,56 | 405,9 | 321,0000 | 9,5 | 788,4 | 0,40717 | 25,90 | 1,155 |
| 23 | 8,56 | 468,5 | 341,0000 | 10,6 | 787,3 | 0,43313 | 26,62 | 1,188 |
| 24 | 8,56 | 371,6 | 357,1000 | 10,3 | 787,8 | 0,45327 | 27,18 | 1,213 |
| 25 | 8,56 | 393,3 | 374,1000 | 10,0 | 788,1 | 0,47469 | 27,78 | 1,239 |
| 26 | 8,56 | 365,6 | 389,2000 | 10,6 | 787,8 | 0,49402 | 28,35 | 1,265 |
| 27 | 8,56 | 444,7 | 407,6000 | 9,9 | 787,8 | 0,51737 | 29,06 | 1,296 |
| 28 | 8,56 | 431,5 | 425,2000 | 9,5 | 788,4 | 0,53935 | 29,74 | 1,327 |
| 29 | 8,56 | 448,7 | 443,1000 | 13,1 | 788,0 | 0,56234 | 30,48 | 1,360 |
| 30 | 8,56 | 433,5 | 460,4000 | 9,5 | 788,2 | 0,58409 | 31,18 | 1,391 |
| 31 | 8,56 | 451,0 | 477,6000 | 9,8 | 788,0 | 0,60612 | 31,94 | 1,425 |
| 32 | 8,56 | 482,2 | 495,6000 | 12,7 | 788,2 | 0,62875 | 32,77 | 1,462 |
| 33 | 8,56 | 513,0 | 514,1000 | 12,7 | 788,2 | 0,65222 | 33,68 | 1,503 |
| 34 | 8,56 | 529,4 | 532,7000 | 12,7 | 788,6 | 0,67548 | 34,63 | 1,545 |
| 35 | 8,56 | 558,9 | 551,4000 | 12,6 | 788,1 | 0,69967 | 35,68 | 1,592 |
| 36 | 8,56 | 655,3 | 572,2000 | 12,6 | 788,1 | 0,72606 | 36,95 | 1,649 |
| 37 | 8,56 | 369,9 | 583,6000 | 10,4 | 788,5 | 0,74015 | 37,66 | 1,680 |
| 38 | 8,56 | 447,0 | 596,0000 | 13,0 | 789,0 | 0,75536 | 38,57 | 1,721 |
| 39 | 8,56 | 491,8 | 609,0000 | 12,8 | 788,6 | 0,77223 | 39,60 | 1,767 |
| 40 | 8,56 | 452,9 | 620,5000 | 12,5 | 788,5 | 0,78695 | 40,57 | 1,810 |
| 41 | 8,56 | 518,4 | 633,2000 | 12,7 | 788,8 | 0,80278 | 41,70 | 1,860 |
| 42 | 8,56 | 555,7 | 645,8000 | 12,6 | 788,5 | 0,81903 | 42,94 | 1,916 |
| 43 | 8,56 | 565,3 | 656,6000 | 15,6 | 788,8 | 0,83245 | 44,29 | 1,976 |
| 44 | 8,56 | 738,0 | 669,8000 | 21,9 | 788,6 | 0,84932 | 46,10 | 2,057 |
| 45 | 8,56 | 717,6 | 682,3000 | 13,0 | 788,8 | 0,86503 | 47,87 | 2,136 |
| 46 | 8,56 | 781,6 | 692,6000 | 18,8 | 788,1 | 0,87883 | 49,92 | 2,227 |
| 47 | 17,04 | 489,3 | 704,0000 | 1015,5 | 788,2 | 0,89314 | 52,50 | 2,342 |
| 48 | 17,04 | 637,5 | 716,4000 | 1018,7 | 788,0 | 0,90918 | 55,97 | 2,497 |
| 49 | 17,04 | 702,5 | 728,0000 | 1021,5 | 788,5 | 0,92328 | 59,88 | 2,672 |
| 50 | 17,04 | 934,4 | 739,6000 | 1033,7 | 788,6 | 0,93783 | 65,24 | 2,911 |
| 51 | 17,04 | 915,1 | 751,9000 | 1018,6 | 788,9 | 0,95311 | 70,46 | 3,144 |
| 52 | 17,04 | 910,0 | 760,0000 | 1024,6 | 789,4 | 0,96272 | 75,80 | 3,382 |

Tabla 63 - Datos de desorción del horizonte Bi del Perfil 7 - Cambisol

| | Tempo de equilibrio | Volumen (dosage) | Presión de equilibrio | Presión de Saturación | Presión Relativa | Volumen desorbido | montant desorbido |
|----|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | min | cm ³ | Torr | Torr | | cm ³ /g | mmol/g |
| 1 | 1024,6 | 8,56 | 760,0000 | 789,4 | 0,96272 | 75,80 | 3,382 |
| 2 | 15,9 | 17,04 | 751,8000 | 789,4 | 0,95233 | 73,70 | 3,288 |
| 3 | 1018,9 | 17,04 | 737,6000 | 789,4 | 0,93372 | 69,60 | 3,105 |
| 4 | 1018,9 | 17,04 | 721,3000 | 790,0 | 0,91432 | 65,68 | 2,931 |
| 5 | 1018,9 | 17,04 | 706,4000 | 788,9 | 0,89468 | 61,81 | 2,758 |
| 6 | 1018,9 | 17,04 | 690,7000 | 789,6 | 0,87538 | 58,06 | 2,591 |
| 7 | 1015,9 | 17,04 | 673,0000 | 789,0 | 0,85281 | 54,50 | 2,432 |
| 8 | 1021,9 | 17,04 | 655,3000 | 789,2 | 0,83051 | 51,05 | 2,278 |
| 9 | 1018,9 | 17,04 | 634,0000 | 789,0 | 0,80379 | 47,87 | 2,136 |
| 10 | 1015,9 | 17,04 | 610,1000 | 788,8 | 0,77271 | 44,93 | 2,005 |
| 11 | 1015,9 | 8,56 | 583,7000 | 789,6 | 0,73939 | 42,25 | 1,885 |
| 12 | 12,9 | 8,56 | 568,5000 | 789,4 | 0,71990 | 40,99 | 1,829 |
| 13 | 12,9 | 17,04 | 553,1000 | 789,7 | 0,70040 | 39,79 | 1,775 |
| 14 | 1015,9 | 17,04 | 522,6000 | 789,7 | 0,66178 | 37,65 | 1,680 |
| 15 | 1012,9 | 17,04 | 490,9000 | 789,7 | 0,62216 | 35,74 | 1,595 |
| 16 | 1015,9 | 17,04 | 459,4000 | 789,0 | 0,58175 | 34,03 | 1,518 |
| 17 | 1015,9 | 17,04 | 427,6000 | 789,7 | 0,54148 | 32,53 | 1,451 |
| 18 | 1012,9 | 17,04 | 397,2000 | 789,7 | 0,50315 | 31,16 | 1,390 |
| 19 | 1015,9 | 17,04 | 374,6000 | 789,4 | 0,47468 | 29,65 | 1,323 |
| 20 | 1015,9 | 17,04 | 356,8000 | 789,2 | 0,45205 | 28,07 | 1,253 |
| 21 | 1012,9 | 17,04 | 334,5000 | 789,3 | 0,42372 | 26,80 | 1,196 |
| 22 | 1009,9 | 17,04 | 309,4000 | 789,4 | 0,39193 | 25,79 | 1,151 |
| 23 | 1009,9 | 17,04 | 285,2000 | 789,4 | 0,36109 | 24,90 | 1,111 |
| 24 | 1009,9 | 17,04 | 261,8000 | 789,8 | 0,33169 | 24,13 | 1,076 |
| 25 | 1009,9 | 17,04 | 240,1000 | 789,3 | 0,30404 | 23,43 | 1,045 |
| 26 | 1006,9 | 8,56 | 220,2000 | 789,7 | 0,27894 | 22,78 | 1,016 |
| 27 | 2,1 | 17,04 | 209,4000 | 789,4 | 0,26525 | 22,51 | 1,004 |
| 28 | 1002,8 | 17,04 | 191,9000 | 789,4 | 0,24296 | 21,96 | 0,980 |
| 29 | 1002,5 | 17,04 | 175,9000 | 789,8 | 0,22275 | 21,45 | 0,957 |
| 30 | 1002,2 | 17,04 | 161,0000 | 789,7 | 0,20394 | 20,99 | 0,936 |
| 31 | 1001,9 | 17,04 | 147,6000 | 789,4 | 0,18694 | 20,56 | 0,917 |
| 32 | 1002,5 | 17,04 | 136,2000 | 789,6 | 0,17253 | 20,13 | 0,898 |
| 33 | 1002,2 | 17,04 | 125,0000 | 789,4 | 0,15842 | 19,76 | 0,882 |
| 34 | 1001,8 | 17,04 | 114,8000 | 789,0 | 0,14537 | 19,42 | 0,866 |
| 35 | 1002,1 | 17,04 | 106,0000 | 789,7 | 0,13425 | 19,08 | 0,851 |
| 36 | 1001,6 | 0,00 | 97,4000 | 789,6 | 0,12338 | 18,79 | 0,838 |