



Colombia Forestal

ISSN: 0120-0739

colombiaforestal@udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José de
Caldas
Colombia

Ortiz Q., Luis Fernando; Ribeiro R. A., Cristina H.

Evaluación de parámetros geológicos para establecer correlaciones entre la vegetación
arbórea y los suelos en la Cuenca del Río Chiqueiro, Municipio de Govveia, Minas Gerais
(Brasil)

Colombia Forestal, vol. 9, núm. 19, noviembre, 2006, pp. 155-176

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423941362009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS GEOECOLÓGICOS PARA ESTABLECER CORRELACIONES ENTRE LA VEGETACIÓN ARBÓREA Y LOS SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO CHIQUEIRO, MUNICIPIO DE GOUVEIA, MINAS GERAIS (BRASIL)

Palabras clave: suelos, vegetación arbórea, Cerrado, estadística descriptiva y multivariada, restauración ecológica, río Chiqueiro, Minas Gerais, Brasil.

Key words: Soils, forest vegetation, descriptive and multivariate statistics, ecological restoration, Cerrado, río Chiqueiro, Minas Gerais, Brasil.

*Luis Fernando Ortiz Q¹.
Cristina H. Ribeiro R. A².*

RESUMEN

Teniendo en cuenta la estrecha correlación existente entre los suelos y la vegetación en el bioma de Cerrado no intervenido (Brasil), se buscó verificarla mediante estadística descriptiva y multivariada en la cuenca del río Chiqueiro, localizada en Cerrado intervenido. Para ello se crearon los índices Fisionómico-Estructural de la vegetación y el de Fertilidad de Suelos. Igualmente se calculó el índice de valor de importancia para 40 especies arbóreas, con el propósito de establecer su alteración poblacional y determinar, en función de su distribución e importancia ecológica, las que pueden ser utilizadas en programas de estabilización de vertientes y recuperación de suelos. Este trabajo es pionero en el análisis estadístico que aborda la correlación de suelos y vegetación en zonas de Cerrado degradado.

ABSTRACT

Statistical evaluation of geological and ecological parameters in order to establish correlations between forest cover and soil type in

the Chiqueiro river basin, Gouveia municipality, Minas Gerais (Brazil).

Taking into account the close relationship between soil and vegetation in the Cerrado (Brazil), we look for this relation, employing descriptive and multivariate statistics, employing data from Chiqueiro river at Cerrado. We estimate, for 40 forest species, indices related with its ecological importance in order to evaluate possible population alterations and its role as candidate species for ecological restoration. This is a pioneer work regarding the statistical correlation between soils and vegetal cover in the Cerrado.

INTRODUCCIÓN

El bioma de Cerrado, donde se localiza la cuenca del río Chiqueiro, corresponde al segundo en extensión del territorio brasileño y su área nuclear es 1,8 millones de km² y comprende el 21% de extensión del país (Ribeiro y Walter, 1998). En función de la diversidad de climas y de los mosaicos geológicos-litológicos regionales y locales, en este dominio se desarrollan

1 Profesor Asistente, Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Email: ferortiz3@hotmail.com

2 Profesora Titular, Departamento de Geografía, Instituto de Geociencias, Universidad Federal de Minas Gerais-Brasil. Email: chaugust@igc.ufmg.br

diferentes tipos de suelos. Ribeiro y Walter (1998) mencionan que existe una estrecha correlación entre el desarrollo de la vegetación y las características químicas de los suelos de esta provincia biogeográfica. Goodland y Ferri (1979), a partir de trabajos realizados en Cerrado no degradado, mencionan que la concentración de Mg, Ca y K determinan los gradientes de vegetación que se presentan en este bioma, evidenciando la correlación de estos cationes con las características fisionómicas de la vegetación. Esta conclusión los llevó a plantear conjuntamente con Eiten (1994) la teoría del clímax edafológico de la vegetación de Cerrado.

De la misma manera, mediante trabajos realizados en Cerrado no intervenido, Arens (1958) y Arens *et al.* (1958) encontraron que los altos contenidos de aluminio unidos a las características ácidas de los suelos condicionan el crecimiento de la vegetación, por lo cual propusieron la teoría del escleromorfismo oligotrófico para la vegetación de esta provincia biogeográfica.

En este documento se analizan y discuten los resultados obtenidos sobre la correlación entre las características fisionómicas estructurales de la vegetación de la cuenca del río Chiqueiro y las características físico-químicas de sus suelos. Dicha correlación se estableció contrastando el Índice Fisionómico-Estructural y el Índice de Fertilidad de Suelos calculados para la cuenca.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Chiqueiro pertenece al municipio de Gouveia y se localiza en la depresión de la gran unidad morfoestructural, denominada Sierra del Espinazo, en la porción centro norte del Estado de Minas Gerais-Brasil (**Figura 1**). Sus suelos se desarrollan sobre vertientes con relieves colinares suaves, que han evolucionado a partir de intensos procesos de intemperismo sobre rocas granitoides, metasedimentarias, metabásicas y metavolcánicas.

Debido a la variabilidad de los aspectos geomorfológicos, edafológicos, de patrón de drenaje

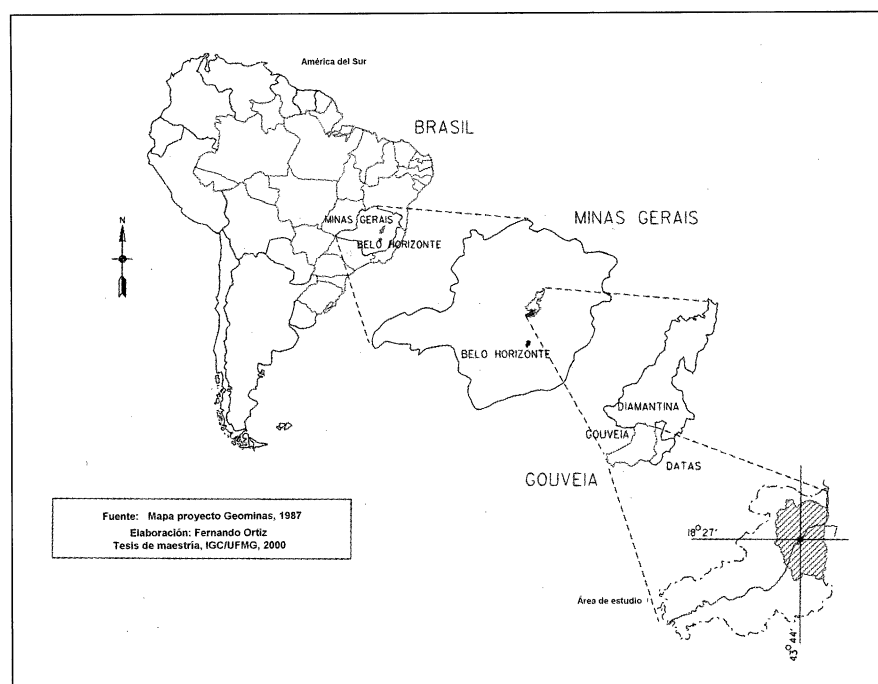


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio

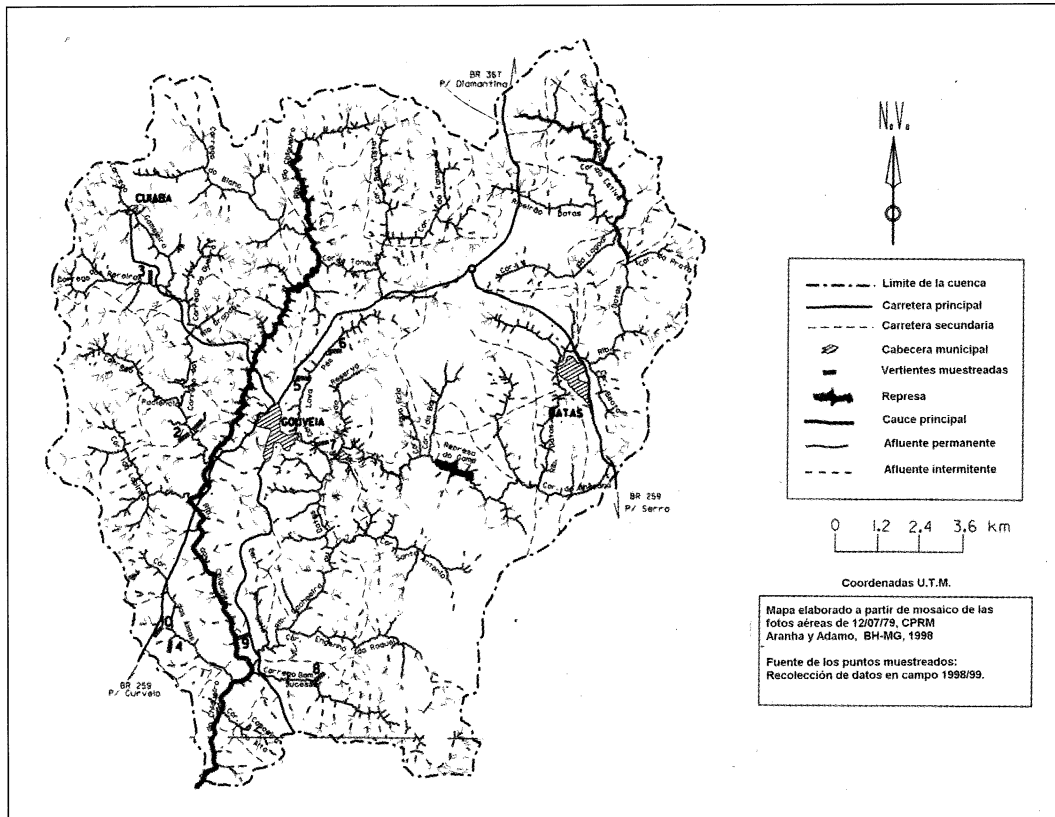


Figura 2. Mapa de drenaje de la cuenca del río Chiquero y localización de vertientes muestreadas, Municipio de Gouveia, MG

y climatológicos, en la cuenca se encuentran las formaciones vegetales típicas de Cerrado correspondientes a Campo litólico, Campo de altitud, vegetación de cerrado típico, bosque de interfluvio y bosque de galería. Estas formaciones están muy alteradas debido a la actividad ganadera que se viene desarrollando en la cuenca desde finales del siglo XVIII.

El clima del área estudiada se caracteriza por presentar dos estaciones bien definidas: una seca (de mayo a septiembre) con temperaturas bajas, y otra húmeda (de agosto a abril) con temperaturas altas. De acuerdo a Nimer (1989), este clima corresponde al tipo CWb, mesotérmico de Kopen. El promedio anual de temperatura es de 19,40°C y el de precipitación es de 1.290,1 mm. Cerca del 41,7% del total de las precipitaciones ocurren en los meses de noviembre y diciembre.

METODOLOGÍA

FOTOINTERPRETACIÓN

Durante la etapa preparatoria de campo se elaboró un mapa preliminar de unidades geoecológicas de la cuenca, con escala 1:25.000, a partir de la fotointerpretación de patrones fenosistémicos de coberturas y geoformas. Se identificaron y localizaron la red de drenaje, las zonas de cárcavamiento y las zonas dedicadas a actividades agropecuarias y mineras. Así mismo, y siguiendo la metodología propuesta por Troppmair (1995), se realizaron tres perfiles geoecológicos en sentido este-oeste en las partes alta, media y baja de la cuenca.

SITIO GEOMORFOLÓGICO

Se seleccionaron diez vertientes como unidades muestrales localizadas en la parte alta, me-

dia y baja de la cuenca. Se adoptó la categoría de Sitio geomorfológico para el levantamiento de la información en las vertientes seleccionadas. Esta categoría corresponde a unidades de vertiente que morfológicamente presentan uniformidad interna y son, externamente, delimitadas por discontinuidades de gradiente. Tales unidades constituyen la base para el agrupamiento de unidades mayores correspondientes a los sistemas de terreno, que son ecológicamente representativas y sirven para realizar mapeamientos (Augustin, 1985).

En cada una de las diez vertientes se realizó un transecto de declividad y, a partir de rupturas significativas de su gradiente, que marcan variaciones geo-ecológicas, se identificaron los sitios geomorfológicos localizados en las partes alta, media y baja de cada vertiente.

OBTENCIÓN DE DATOS DE SUELOS

En el centro de cada sitio geomorfológico se abrió una trinchera de 1 x 0,80 m hasta alcanzar el horizonte C, aproximadamente a 2 m de profundidad. Para cada perfil se identificaron sus respectivos horizontes en los cuales se evaluaron las siguientes características: espesor, color, estructura, porosidad, cohesión, friabilidad, pegajosidad, plasticidad y actividad biológica. Los suelos se clasificaron siguiendo las normas establecidas por la Sociedad Brasileña de Ciencias del Suelo (1998).

En cada perfil se tomó una muestra de suelo para determinar suma de bases (S), capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de bases (V), saturación de aluminio (Al), pH, calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), materia orgánica (MO) y textura.

OBTENCIÓN DE DATOS DE VEGETACIÓN

Cada sitio geomorfológico fue dividido en cuatro cuadrantes de 20 x 20 m, en los cuales

fueron recolectados los datos de altura total, DAP, área basal y cobertura de las copas de todos los individuos arbóreos cuyo diámetro fuese superior a 5 centímetros y su altura superior a 1,8 metros. Este muestreo se realizó combinando el método del vecino más cercano y del cuadrante OEA (1982). En total fueron muestreados 592 individuos arbóreos distribuidos en un área de 4,8 hectáreas en las diez vertientes seleccionadas.

Para cada especie se calculó el índice de valor de importancia con el propósito de obtener información sobre aquellas que, por su distribución y valor ecológico, puedan ser utilizadas para la conservación de suelos y restauración de paisajes degradados. Igualmente, con este índice se evaluaron las especies que han sufrido una reducción significativa por acción antrópica y cuya estabilidad poblacional puede estar en riesgo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el propósito de establecer la relación entre las características físico-químicas de los suelos y las características fisionómico-estructurales de la vegetación arbórea en la cuenca del río Chiqueiro, el agrupamiento para el análisis estadístico de los datos geoecológicos fue realizado teniendo en consideración el tipo de suelo identificado. Inicialmente se llevó a cabo un análisis de estadística descriptiva para observar el comportamiento general de los datos de suelos y vegetación, identificar valores que corresponden a elementos típicos o atípicos y cuantificar la variabilidad presente en los parámetros evaluados.

El análisis de componentes principales se realizó utilizando la matriz de correlación muestral, donde los componentes son combinaciones lineales de las variables estandarizadas por las respectivas medias y las desviaciones del patrón. Este análisis permitió calcular dos índi-

ces y establecer la relación entre los suelos y la vegetación. El primero fue llamado Índice Fisionómico-Estructural (IFE), y el segundo Índice de Fertilidad de Suelos (IFS).

El coeficiente de correlación de Pearson fue calculado para auxiliar la identificación de relaciones entre las variables analizadas. Teniendo en cuenta los resultados de este análisis y los de la estadística descriptiva, se seleccionaron el Índice fisionómico-estructural, el índice de fertilidad de suelos, el porcentaje de materia orgánica, el porcentaje de arcilla, la concentra-

ción de aluminio y el pH para realizar los tests Test-t y de Mann Whitney en un nivel de significancia del 95% y así obtener conclusiones con base en el comportamiento de las medias y las medianas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **Tabla 1** se presentan los cinco tipos de suelos, la vertiente, el sitio geomorfológico o posición en la vertiente donde fueron reportados, el material de origen y la localización topográfica.

Tabla 1. Agrupamiento de las variables geoecológicas

Tipo de suelo	Vertiente	Posición en la vertiente o sitio geomorfológico	Material de origen	Localización topográfica
1. Latosuelo rojo-oscuro intenso	2 4	1, 2, 3 1, 2	Rocas metabásicas	Interfluvio
2. Latosuelo rojo oscuro	5 6 8	1, 2 1, 2 1, 2	Granitos, esquistos, gneis	Interfluvio
3. Latosuelo rojo-amarillo	3 10	1, 2 1, 2, 3	Granitos, esquistos y gneis	Interfluvio
4. Cambisuelo	16 7 9 6	1, 2, 3 1, 2, 3 1, 2, 3 3	Granitos y esquistos	Interfluvio
5. Suelo Glei	3 4 5 8	3 3 3 3	Sedimentos aluviales	Fondo de valle

ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Cantidad de muestras de suelos tomadas por cada uno de los cinco tipos de suelos identificados:

- ⇒ Latosuelos rojo-oscuro intenso (1) 5 muestras
- ⇒ Latosuelos rojo-oscuro (2) 6 muestras
- ⇒ Latosuelos rojo-amarillo (3) 5 muestras
- ⇒ Cambisuelo (4) 10 muestras
- ⇒ Suelos Glei (5) 4 muestras

El análisis de la estadística descriptiva (**Anexo 1**), permite constatar que no existe diferencia significativa entre las medias y las medianas de los parámetros químicos y texturales en los diferentes tipos de suelos identificados. Solamente hay diferencia de estas dos medidas de tendencia central respecto a los contenidos de K.

En relación al comportamiento de las medias en los agrupamientos, se observa que los latosuelos rojo-oscuro intenso típicos de rocas

metabásicas (1) y los suelos Glei (5) tienen los mayores contenidos de S, CIC, Ca, Mg, M.O. y arcilla. Estos valores disminuyen progresivamente de latosuelos amarillo-oscuros (2) a cambisuelos (4).

Los suelos Glei tienen los mayores valores de P y K, así como los latosuelos rojo-oscuros intenso (1) tienen los mayores contenidos de arcilla. Estos dos tipos de suelo presentan los menores contenidos de pH.

Los latosuelos amarillo-oscuros intensos tienen los menores valores de saturación de aluminio, en tanto que los latosuelos rojo-amarillos tienen el mayor valor.

Teniendo en cuenta los valores del coeficiente de variación, se puede afirmar que con excepción del calcio y el magnesio, los datos de los otros parámetros presentan homogeneidad.

Igualmente, a partir del análisis de las medias, se observa que los datos de los parámetros químicos y texturales de los suelos de la cuenca del río Chiqueiro presentan un patrón de comportamiento en el cual los mayores valores corresponden a los suelos 1 y 5, y los menores a los suelos 2, 3 y 4, respectivamente. Los bajos valores del coeficiente de variación para pH y la poca variabilidad de sus medias en los distintos agrupamientos confirman las características ácidas de estos suelos.

Cantidad de árboles por cada uno de los cinco tipos de suelos identificados

- ⇒ Latosuelo rojo-oscuro intenso (1): 88 árboles
- ⇒ Latosuelo rojo-oscuro (2): 117 árboles
- ⇒ Latosuelo rojo-amarillo (3): 61 árboles
- ⇒ Cambisuelo (4): 253 árboles
- ⇒ Suelos Glei (5): 71 árboles

La estadística básica de los datos de vegetación (**Anexo 2**) permite identificar que la media y la

mediana presentan valores diferentes en todas las variables medidas del estrato arbóreo, correspondiendo las mayores diferencias con los parámetros de cobertura de las copas y la densidad de la vegetación.

Los latosuelos rojo-oscuros intensos (1) y los suelos Glei (5) tienen los mayores valores de la mediana de altura total, (DAP), área basal y cobertura de las copas; de la misma forma, los cambisuelos presentan los valores más bajos de estos parámetros.

Los coeficientes de variación para todos los parámetros de la vegetación arbórea, en los distintos suelos, oscilan entre 40% y 133%, lo que evidencia la alta heterogeneidad de estos datos. Esta fuerte variación de los datos del estrato arbóreo puede ser un indicativo del grado de alteración que, históricamente, ha sufrido este elemento del paisaje en la cuenca estudiada.

Con relación a las medias de los parámetros fisionómico-estructurales del estrato arbóreo, se pudo identificar un patrón de comportamiento en el cual los mayores valores de altura total, DAP, área basal y cobertura de las copas ocurren en los suelos 1 y 5, y los menores en el tipo 4. Al contrastar este patrón con el establecido para el comportamiento de las medias y las medianas correspondientes a las características físicoquímicas de los suelos, se puede observar que son muy similares, lo que estaría indicando que sí existe correlación entre los suelos y la vegetación en la zona de estudio.

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Índice fisionómico-estructural

Las variables utilizadas para la construcción del índice fisionómico-estructural fueron: altura total, DAP, área basal y cobertura de las copas, debido a que son considerados los pará-

metros más apropiados para hacer la clasificación de la vegetación de Cerrado.

En la **Tabla 2** se presentan los resultados del porcentaje de variabilidad total, explicada por cada uno de los componentes principales para los parámetros del estrato arbóreo evaluados.

Tabla 2. Componentes principales para los datos de vegetación

Variable	CP1	CP2	% Acumulada
Altura total	-0,254	1,288	0,991
DAP	-0,297	-0,204	0,937
Área basal	-0,281	-0,742	0,933
Cobertura de las copas	-0,277	-0,207	0,920
% de variabilidad	0,811	0,879	0,920

Analizando la proporción de la variabilidad total de los datos correspondientes al estrato arbóreo, se observa que los componentes 1 y 2 explican juntos el 92% de la variabilidad total y que el componente 1 explica 81,1% de esa variabilidad. Teniendo en cuenta lo anterior, se escogió este último para la construcción del índice fisionómico-estructural de la vegetación arbórea en el río Chiqueiro:

Índice fisionómico-estructural:

0,254 (Altura total) + 0,297(DAP)

+ 0,281(Área basal) + 0,277(Cobertura de las copas)

En la **Figura 3** se observa el comportamiento, en conjunto, de los datos correspondientes al estrato arbóreo, con relación a los dos componentes.

A partir del análisis de la **Figura 3**, se puede afirmar que el índice fisionómico-estructural es determinado por todas las variables de forma constructiva, y que puede ser considerado como un índice de información basado en todos los parámetros evaluados de la vegetación arbórea.

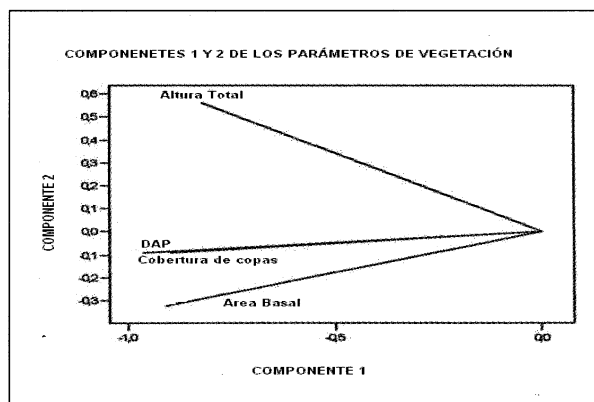


Figura 3. Componentes principales de los datos de vegetación.

Índice de fertilidad de suelos

Para la formulación del índice de fertilidad de suelos, se realizaron análisis preliminares de correlación de Pearson, con el objetivo de seleccionar aquellas variables que sintetizaran las características químicas de los suelos. Las variables escogidas fueron la capacidad de intercambio catiónico y la suma de bases, debido a que presentan una correlación significativa con Ca, Mg, K, P, MO, como se puede observar más adelante.

Los resultados del porcentaje de variabilidad dados por cada uno de los componentes principales para las características de fertilidad de los suelos son:

Tabla 3. Componentes principales de los datos de suelo

Variable	CP1	CP2	% Acumulada
Suma de bases	0,540	1,323	1,000
Capacidad de intercambio catiónico	0,540	-1,323	1,000
% de variabilidad	0,857	0,143	1,000

El análisis del porcentaje y variabilidad para las medidas de suma de bases y capacidad de intercambio catiónico permite afirmar que el componente 1 explica el 85,7% de la variabili-

dad total de estos parámetros y el componente 2 explica solamente el 14,3%.

Teniendo en consideración los valores encontrados para la variabilidad, fue seleccionado el componente 1 para la formulación del índice de fertilidad de suelos correspondiente a la cuenca del río Chiqueiro:

Índice de fertilidad de suelos:

$$0,540(\text{Capacidad de intercambio catiónico}) + 0,540 (\text{Suma de bases})$$

A partir del análisis de la **Figura 4**, se puede concluir que la capacidad de intercambio catiónico y la suma de bases contribuyen de manera constructiva y con los mismos valores medios absolutos a la construcción del índice de fertilidad, tanto en el primero como en el segundo componente.

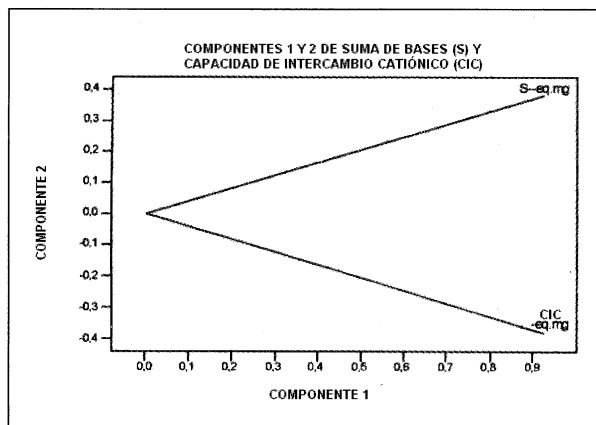


Figura 4. Componentes principales de los datos de suelos

Correlación de Pearson

En este estudio fueron consideradas correlaciones cuyos valores fueran iguales o superiores a 50%. Los valores de p-valor, inferiores a 0,05 para las distintas correlaciones, permiten afirmar que estas correlaciones son confiables (**Anexo 3**).

De acuerdo con los resultados de la correlación entre las variables químicas, existe una relación positiva y significativa de la suma de bases (S) con:

- Capacidad de intercambio catiónico (71,4%). Esta correlación es alta por el hecho de que (S) es uno de los componentes para el cálculo de CIC, o sea, para determinar la condición de fertilidad del suelo. Su relación es directamente proporcional, a mayores cargas negativas en las superficies de las partículas es mayor la retención de cationes.
- Calcio (73,1%) y magnesio (72,2%). Estos altos valores estarían indicando la importante participación de estos dos cationes en la condición de fertilidad de los suelos de la cuenca. De acuerdo con Primavesi (1987), el efecto del nutriente calcio depende del equilibrio entre los demás cationes, entre los cuales se observa la importancia del magnesio, lo que explicaría la proximidad de los valores de correlación entre estos dos macronutrientes.

Otra correlación positiva encontrada (55,6%) se refiere a la suma de bases y la materia orgánica. Esta relación es ampliamente analizada en la literatura sobre suelos (Primavesi, 1987). Se ha considerado que la materia orgánica en el área de Cerrado está muy relacionada con los demás elementos que constituyen el suelo (Pereira & Peres, 1986); esto explicaría la correlación significativa de este parámetro con la capacidad de intercambio catiónico (78,5%), la arcilla (57,3%), el calcio (55,2%) y el porcentaje de cobertura herbácea del suelo (52,9%).

Las correlaciones altas y negativas del pH con la materia orgánica (-61,7%), el índice de fertilidad de suelos (-57,2%) y el porcentaje de cobertura herbácea del suelo (-52,7%), revelan que la fertilidad de los suelos de la cuenca del río Chiqueiro está fuertemente influenciada por este elemento.

La correlación positiva (56,9%) entre el calcio y la arcilla evidencia la importancia de esta fracción textural en la cantidad del calcio. Tal correlación es explicada por la capacidad de las arcillas de retener cationes, lo que evita la lixiviación de los macro y micronutrientes por la lluvia (Resende *et al.*, 1996).

Al comparar las correlaciones entre las variables de la vegetación y las de los suelos, se encontró que la altura total de los árboles tiene correlación positiva con el calcio (57,2%), la capacidad de intercambio catiónico (53,0%), la suma de bases (55%) y el Índice de Fertilidad de Suelos (54%). Igualmente, se encontró que el índice fisionómico-estructural está correlacionado con el magnesio (63,5%), el potasio (59%) y el índice de fertilidad de suelos (36,69%).

El análisis de los resultados obtenidos a partir de la correlación de Pearson confirma la interdependencia entre los suelos y la vegetación arbórea en la cuenca, identificada mediante la estadística descriptiva. Las correlaciones encontradas entre el magnesio, el calcio, el

potasio, y las características de la vegetación arbórea, en la zona de estudio, que corresponden a Cerrado degradado, corroboran los hallazgos encontrados por Goodland & Ferri (1979) sobre la importancia que tienen estos tres cationes en la determinación de los tipos de vegetación existentes en el Cerrado natural.

Las altas correlaciones de los índices fisionómico-estructural y de fertilidad de suelos con sus respectivos parámetros son evidencia del carácter integrador de estos dos índices.

Test-t para comparar las medias del Índice Fisionómico-Estructural (IFE)

El objetivo de este test es determinar si las medias referentes al IFE de la vegetación arbórea pueden ser consideradas iguales o no con relación a los cinco tipos de suelos identificados.

- Test de Hipótesis Índice Fisionómico-Estructural (IFE)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ vs } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Se acepta H_0 cuando $\alpha > 5\% < \alpha$ se rechaza.

Tabla 4. Test-t de medias del IFE según tipo de suelos

Tipo de suelos	Valor T observado	Intervalo de confianza de 95% para ($\mu_1 - \mu_2$)	Valor-p observado
1 y 2	3,23	(1,169; 4,916)	0,002
1 y 3	5,10	(3,56; 8,16)	0,000
1 y 4	5,20	(2,822; 6,318)	0,000
1 y 5	-0,04	(-2,66; 2,55)	0,966
2 y 3	2,93	(0,380; 2,023)	0,005
2 y 4	3,67	(0,504; 1,686)	0,000
2 y 5	-4,81	(-5,450; -2,253)	0,000
3 y 4	1,01	(-0,322; 0,981)	0,316
3 y 5	-6,84	(-5,581; -3,054)	0,000
4 y 5	-7,51	(-6,972; -4,046)	0,000

De acuerdo con los valores-p altos (mayores al 5%) de la **Tabla 4**, se puede concluir que los latosuelos rojo-oscuros intensos (1) y los suelos glei (5) no tienen diferencia respecto a las medias del índice fisionómico-estructural; igualmente, no existe diferencia en los valores de este índice para los latosuelos rojo-amarillos (3) y los cambisuelos (4).

Los valores-p bajos (inferiores al 5%) encontrados permiten afirmar que existen diferencias en las medias del Índice Fisionómico-Estructural de los latosuelos rojo-oscuros intensos (1) con los latosuelos rojo-oscuros (2), los latosuelos rojo-amarillos (3) con los cambisuelos (4); de los latosuelos rojo oscuros con los latosuelos rojo-amarillos; de los cambisuelos con los suelos glei (5); de los suelos Glei con los latosuelos rojo-amarillos y con los cambisuelos.

Estos resultados confirman el patrón de comportamiento de las características fisionómicas

y estructurales de la vegetación arbórea del río Chiqueiro, identificado en la estadística descriptiva y la correlación de Pearson, donde los mayores valores de los tres parámetros correspondientes a altura total, DAP y cobertura de las copas están en los suelos tipo 1 y 5, mientras que los menores valores se presentan en los suelos 3 y 4.

Test Mann Whitney para la comparación de las medianas de los suelos

El propósito de este test es establecer si las medianas de: índice de fertilidad de suelos (IFS), arcilla, pH, contenido de aluminio y materia orgánica existentes en los distintos tipos de suelos son o no iguales.

- Test de hipótesis del índice de fertilidad de suelos (IFS)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ vs } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Se acepta H_0 cuando $\alpha > 5\% < \alpha$ se rechaza.

Tabla 5. Test de medianas del IFS según tipo de suelos

Tipo de suelo	Valor W observado	Intervalo de confianza de 95% para $(\mu_1 - \mu_2)$	Valor-alpha observado
1 y 2	11462,0	(0,1998;0,4104)	0,0000
1 y 3	7706,0	(0,9936;1,7601)	0,0000
1 y 4	23276,0	(1,2906;1,5012)	0,0000
1 y 5	3916,0	(-1,3875;-1,1663)	0,0000
2 y 3	12912,0	(0,2376;0,5508)	0,0000
2 y 4	31668,0	(0,9288;1,0638)	0,0000
2 y 5	6903,0	(-1,7983;-1,2689)	0,0000
3 y 4	12989,0	(0,3347;0,6912)	0,0000
3 y 5	1891,0	(-2,0410;-1,7389)	0,0000
4 y 5	24310,0	(-2,7327;-2,1870)	0,0000

Como todos los valores de α de la **Tabla 5** son menores de 5%, se puede afirmar que las medianas del índice de fertilidad son diferentes en los distintos agrupamientos; por tanto,

la fertilidad también es diferente en los cinco tipos de suelos identificados en la cuenca del río Chiqueiro.

- Test de Hipótesis para pH

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ vs } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Se acepta H_0 cuando $\alpha > 5\% < \alpha$ se rechaza.

Teniendo en cuenta los valores de la **Tabla 6**, se puede afirmar que no existen diferencias de los

valores de las medianas de pH entre los latosuelos rojo-oscuros intensos (1) y los suelos Glei (5), igualmente entre los latosuelos rojo-amarillos (3) y los suelos Glei. De acuerdo con los resultados obtenidos, en general los suelos de la cuenca tienen diferencias en relación con el pH.

Tabla 6. Test de las medianas de pH según tipo de suelo

Tipo de suelo	Valor W observado	Intervalo de confianza de 95% para $(\mu_1 - \mu_2)$	Valor-alpha observado
1 y 2	5303,5	(-0,4000;0,2000)	0,0000
1 y 3	5973,0	(-0,2000;0,0000)	0,0123
1 y 4	4936,0	(-0,6000;-0,5000)	0,0000
1 y 5	6625,5	(-0,1000;0,1000)	0,1515
2 y 3	11849,5	(0,1000;0,2000)	0,0000
2 y 4	12194,0	(-0,2000;-0,2000)	0,0000
2 y 5	13476,5	(0,2000;0,3000)	0,0000
3 y 4	15311,0	(2,2488;2,7096)	0,0000
3 y 5	4346,0	(-0,1000;0,1000)	0,1804
4 y 5	38892,0	(0,3000;0,5000)	0,0000

- Test de Hipótesis para arcilla

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ vs } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Se acepta H_0 cuando $\alpha > 5\% < \alpha$ se rechaza.

Los valores de “ α ” menores de 5% (**Tabla 7**) muestran las diferencias de las medianas en los diferentes tipos de suelos en relación con

Tabla 7. Test de medianas para porcentaje de arcillas según tipo de suelos

Tipo de suelo	Valor W observado	Intervalo de confianza de 95% para $(\mu_1 - \mu_2)$	Valor-alpha observado
1 y 2	13768,0	(10,000;13,000)	0,0000
1 y 3	9092,0	(14,000;21,000)	0,0000
1 y 4	18012,0	(17,999;20,000)	0,0000
1 y 5	9105,5	(6,000;9,999)	0,0000
2 y 3	11910,0	(4,999;7,999)	0,0000
2 y 4	24780,0	(4,999;10,000)	0,0000
2 y 5	10253,0	(-6,000;0,000)	0,0219
3 y 4	7818,0	(2,999;6,000)	0,0135
3 y 5	2743,0	(-13,001;-6,001)	0,0000
4 y 5	13955,0	(-11,999;-9,999)	0,0000

el contenido de arcillas. Teniendo en cuenta la importancia de las arcillas en la intensidad de los procesos de intercambio catiónico, la retención de agua, la resistencia a la erosión y la fijación del fósforo (Resende *et al.*, 1995), es evidente la diferencia de fertilidad y susceptibilidad a la degradación de los cinco tipos de suelos identificados.

- Test de Hipótesis para materia orgánica

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ vs } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Se acepta H_0 cuando $\alpha > 5\% < \alpha$ se rechaza.

En general, existen diferencias entre los valores de la mediana correspondientes a la materia orgánica en los diferentes tipos de suelos. De acuerdo con la **Tabla 8**, los contenidos de materia orgánica son iguales solamente en los latosuelos rojo-oscuros intensos (1) y los rojo-oscuros (2). La materia orgánica es considerada uno de los componentes más importantes del suelo. Según Pereira & Peres (1986), en estado no oxidado es la fuente de energía y de nutrientes para desencadenar la actividad microbiana. Con la intensificación de esta activi-

Tabla 8. Test de medianas para la materia orgánica según tipo de suelo

Tipo de suelo	Valor W observado	Intervalo de confianza de 95% para $(\mu_1 - \mu_2)$	Valor-alpha observado
1 y 2	8636,0	(-0,0500;0,0100)	0,3057
1 y 3	9284,0	(0,4200;0,5200)	0,0000
1 y 4	23276,0	(0,9400;1,0500)	0,0000
1 y 5	5840,0	(-0,2600;-0,1000)	0,0000
2 y 3	13884,0	(0,9900;1,0400)	0,0000
2 y 4	32487,0	(0,4400;0,5300)	0,0000
2 y 5	9323,0	(-0,2601;-0,0801)	0,0000
3 y 4	14183,0	(0,4500;0,5500)	0,0000
3 y 5	2501,0	(-0,6600;-0,5199)	0,0000
4 y 5	25060,0	(-1,2100;-1,0700)	0,0000

dad, se liberan nutrientes fundamentales en el crecimiento de las plantas, como fósforo, potasio, hierro, calcio, magnesio y nitrógeno. La materia orgánica también es identificada como la parte del suelo más importante en el proceso de intercambio catiónico y en la generación de bioestructura edáfica, debido a sus características cementantes (Primavesi, 1987).

- Test de Hipótesis para saturación de aluminio

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ vs } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Se acepta H_0 cuando $\alpha > 5\% < \alpha$ se rechaza.

Entre la mayoría de los suelos existe diferencia respecto a las medianas de saturación de aluminio. Solamente existe equivalencia de dicho parámetro entre los cambisuelos y los suelos Glei. La comparación de las medianas de este elemento confirman la existencia de diferencias químicas y, por tanto, de fertilidad en los suelos analizados en el presente estudio. **Tabla 9.**

En resumen, el análisis de los resultados del Test-t de medianas y del test de Mann Whitney de medias muestra que existen diferencias significativas entre los cinco tipos de suelos

Tabla 9. Test de medianas para porcentaje de saturación de aluminio según tipo de suelo

Tipo de suelo	Valor W observado	Intervalo de confianza de 95% para ($\mu_1 - \mu_2$)	Valor- α observado
1 y 2	6460,0	(-15,002;-4,001)	0,0000
1 y 3	4196,0	(-18,001;-14,001)	0,0000
1 y 4	7764,0	(-15,000;-13,000)	0,0000
1 y 5	5163,0	(-15,999;-9,001)	0,0000
2 y 3	8949,0	(-11,000;-6,999)	0,0000
2 y 4	17199,0	(-7,998;-3,002)	0,0022
2 y 5	10067,0	(-4,999;-0,999)	0,0058
3 y 4	10434,0	(2,999;7,000)	0,0008
3 y 5	5088,0	(3,002;6,001)	0,0000
4 y 5	31250,0	(-2,001;6,000)	0,1511

identificados en la cuenca, respecto a las características evaluadas: fisionómico-estructurales de la vegetación arbórea y las características físicoquímicas de los suelos.

Índice de valor de importancia para las especies arbóreas identificadas

En la **Tabla 10** se muestran los índices de valor de importancia en forma decreciente para cada una de las cuarenta especies arbóreas identificadas en la cuenca del río Chiqueiro.

Los datos de la **Tabla 10** muestran que las cinco especies arbóreas más importantes de la vegetación de interfluvio en la parte central de la cuenca del río Chiqueiro son *Eugenia dysenterica* (cagaitera), *Kielmeyera coriacea* (pau-santo), *Hymenaea coubaril* (jatobá), *Byrsonima verbascifolia* (murici), y *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão) que representan 69,25% del total de los árboles y 54,94% del área basal. Estos porcentajes evidencian la importancia de estas especies en la composición florística de la cuenca.

Eugenia dysenterica presenta el mayor índice de valor de importancia (78,9%). Al comparar este IVI con el de *Hymenaea coubaril* (25,2%), segunda especie más importante, se observa que es aproximadamente tres veces superior, lo que confirma su amplia distribución en los cinco tipos de suelos identificados en la parte central de la cuenca.

La gran diferencia del IVI de *Eugenia dysenterica* evidencia el grado de alteración antrópica que históricamente ha sufrido la vegetación arbórea de la cuenca, debido a que en el cerrado natural su IVI no es de los más altos (Fielfili *et al.*, 1997). Esta especie, por su alta tasa de reproducción, ocupa los espacios de otras una vez alterada la cobertura natural de Cerrado. Otra causa que explica su alto IVI es el manejo selectivo que le dan los campesinos en los sistemas productivos pecuarios como fuente de forraje y sombra para el ganado. *Eugenia dysenterica* es una de las especies que en función de su distribución e importancia ecológica puede ser utilizada para la estabilización de vertientes y conservación de suelos, conjunta-

Tabla 10. Índice de Valor de Importancia para las especies arbóreas

	Especie	N	Área basal	Dominancia relativa	Densidad relativa	Frecuencia relativa	IVI
1	<i>Eugenia dysenterica</i>	185	2,599	30,266	31,250	17,450	78,966
2	<i>Hymenaea coubaril</i>	47	0,681	7,924	7,939	9,396	25,260
3	<i>Kielmeyera coriacea</i>	67	0,460	5,359	11,318	3,356	20,032
4	<i>Byrsonima verbascifolia</i>	62	0,543	6,318	10,473	2,013	18,804
5	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	49	0,431	5,024	8,277	5,369	18,670
6	<i>Tapirira guianensis</i>	21	0,851	9,909	3,547	1,342	14,799
7	<i>Qualea grandiflora</i>	25	0,170	1,980	4,223	5,369	11,572
8	<i>Byrsonima sp1</i>	4	0,297	3,459	0,676	6,711	10,846
9	<i>Copaifera langsdorffia</i>	4	0,211	2,501	0,676	6,040	9,217
10	<i>Sheffera sp1</i>	37	0,175	2,032	6,250	0,671	8,953
11	<i>Schinus Therebenthifolius</i>	5	0,134	1,564	0,845	4,698	7,107
12	<i>Protium heptaphyllum</i>	9	0,373	4,341	1,520	0,671	6,533
13	<i>Erioteca sp</i>	6	0,378	4,396	1,014	0,671	6,081
14	<i>Callisthene sp</i>	8	0,186	2,164	1,351	1,342	4,858
15	<i>Kielmeyera sp1</i>	6	0,099	1,157	1,014	2,685	4,855
16	<i>Tabebuia ochracea</i>	3	0,118	1,373	0,507	2,685	4,564
17	<i>Myrtaceae sp2</i>	6	0,031	0,358	1,014	2,685	4,056
18	<i>Myrtaceae sp4</i>	3	0,154	1,796	0,507	0,671	2,974
19	<i>Myrtaceae sp3</i>	2	0,049	0,566	0,338	2,013	2,917
20	<i>Myrsine sp</i>	3	0,034	0,396	0,507	2,013	2,916
21	<i>Monimiaceae</i>	1	0,016	0,020	0,169	2,685	2,873
22	<i>Plenkria populnea</i>	2	0,036	0,414	0,338	2,013	2,766
23	<i>Fabaceae</i>	1	0,045	0,521	0,169	2,013	2,704
24	<i>Sheffera sp2</i>	3	0,006	0,072	0,507	2,013	2,592
25	<i>Bowdichia virgilioides</i>	3	0,088	1,029	0,507	0,671	2,207
26	<i>Dalbergia nigra</i>	3	0,078	0,902	0,507	0,671	2,080
27	<i>Annona coriacea</i>	2	0,091	1,062	0,338	0,671	2,071
28	<i>Aegiphila sp.</i>	4	0,059	0,685	0,676	0,671	2,032
29	<i>Eremantus sp.</i>	4	0,046	0,536	0,676	0,671	1,883
30	<i>Myrtaceae sp5</i>	2	0,013	0,152	0,338	1,342	1,832
31	<i>Myrtaceae sp1.</i>	1	0,016	0,191	0,169	1,342	1,702
32	<i>Aspidosperma sp</i>	1	0,016	0,188	0,169	1,342	1,699
33	<i>Caseara sylvestris</i>	1	0,003	0,030	0,169	1,342	1,541
34	<i>Acosmium dasycarpum</i>	4	0,013	0,151	0,676	0,671	1,498
35	<i>Ocotea sp</i>	1	0,038	0,441	0,169	0,671	1,281
36	<i>Zanthoxylum sp</i>	2	0,018	0,207	0,338	0,671	1,216
37	<i>Spareina sp</i>	1	0,032	0,368	0,169	0,671	1,208
38	<i>Piptocapha sp</i>	2	0,005	0,056	0,338	0,671	1,065
39	<i>Byrsomina sp2</i>	1	0,004	0,049	0,169	0,671	0,889
40	<i>Connarus sp</i>	1	0,004	0,041	0,169	0,671	0,881
	Total	592	8,587808	100	100	100	300

mente con las otras cuatro especies identificadas como más importantes.

Los bajos valores de IVI para *Piptocapha* sp. (candeia) (1,0%), *Aspidosperma* sp. (peroba branca) (1,699%), *Bowdichia virgilioides* (sucupira vermelha) (2,2%), *Copaifera langsdorffia* (pau-de-olho) (9,2%), y *Qualea grandiflora* (pau de terra) (11,5%), confirman la reducción de individuos de estas especies en la cuenca del río Chiqueiro, mencionadas por sus moradores en el trabajo de campo. De acuerdo con las entrevistas realizadas, fueron identificadas como causas de esta reducción su utilización en construcción de casas, elaboración de muebles, la quema de pasto naturales en el Cerrado, construcción de cercas y su uso como combustible.

De acuerdo con Fielfili *et al.* (1997), estas cinco especies reportan en el Cerrado natural de Brasil central los valores más altos de IVI, por lo cual necesitan manejo especial en programas de recomposición de la cobertura vegetal que promuevan su estabilidad poblacional y contribuyan en la restauración de las vertientes y de los suelos en la cuenca.

CONCLUSIONES

Los bajos valores de saturación de bases y las altas concentraciones de aluminio encontrados permiten clasificar los cinco tipos de suelos de la cuenca del río Chiqueiro como distróficos y álicos. La baja fertilidad es consecuencia del fuerte intemperismo que han sufrido los suelos por la acción del clima húmedo tropical, generando una intensa lixiviación y transformando los minerales de arcillas tipo montmorillonita (2:1), que retienen bastantes iones, en el tipo caulinita y gibsitita (1:1), encontrados por Augustin (1995) en la cuenca y que retienen pocos iones.

El intemperismo también estimula la concentración de aluminio en cantidades que pueden

llegar a ser tóxicas para el desarrollo de la vegetación (Eiten, 1994). La lixiviación es favorecida por la estructura y profundidad de estos suelos, ya que los bajos valores de pH encontrados hacen que los granos de arcilla se agreguen en granos mayores de arena (Goodland & Ferri, 1979), favoreciendo la infiltración del agua y el arrastre de los cationes.

Otra consecuencia del intenso intemperismo, asociado a los bajos valores de pH encontrados, son los bajos valores de capacidad de intercambio catiónico y la suma de bases para los suelos de la cuenca. De acuerdo con Rodríguez (1977), los contenidos de CIC de 8,5 y 9 mE/100g y de (S) 0,9 y 0,8 en el horizonte A de los latosuelos son considerados como muy bajos. Los encontrados varían para CIC entre 3,7 y 8,5 y para S entre 0,40 y 0,88 en los cambisuelos y en los suelos Glei, respectivamente.

El análisis estadístico de las características físico-químicas de los suelos y las fisionómico-estructurales de la vegetación arbórea permitió establecer diferencias significativas entre los distintos tipos de suelos, a pesar de ser distroáficos, álicos y arcillosos. Se encontró un patrón de comportamiento en el cual los parámetros edáficos y de vegetación medidos, van decreciendo de la siguiente manera: suelos Glei procedente de sedimentos aluviales (5) → Latosuelos rojo-oscuros intensos originados a partir de rocas metabásicas (1) → latosuelos rojo-oscuros desarrollados a partir de esquistos, granitos y gnies (2) → latosuelos rojo-amarillos procedentes de granitos y esquistos (3) → cambisuelos originados de granitos y esquistos (4).

A partir de las correlaciones establecidas entre los suelos y la vegetación, se levanta la hipótesis de que en el área de Cerrado degradado correspondiente al río Chiqueiro, a pesar del gran control antrópico en la distribución de la vegetación; continúa existiendo una fuerte interacción entre las características físico-quí-

micas de los suelos y las del estrato arbóreo. Estas interacciones corroboran las teorías del escleromorfismo oligotrófico en el bioma de Cerrado propuesta por Arens (1958) y Arens *et al.* (1958), y del clímax edáfico de la vegetación de Cerrado, formulada por Goodland y Ferri (1979) y Eiten (1994), a partir de trabajos desarrollados en Cerrado natural.

La comparación de los índices de valor de importancia encontrados para las especies arbóreas del río Chiqueiro, con las especies encontradas por Goodland y Ferri (1979) y Heiseke (1976) en Cerrado natural del Triangulo Minero y de la parte Central de Minas Gerais, respectivamente, evidencian la gran alteración antrópica que ha sufrido la vegetación de la cuenca, ya que en el cerrado natural, las diferencias de valor del IVI entre las especies dominantes son pequeñas, al contrario de las encontradas en la cuenca. Igualmente la especie *Eugenia dysenterica* (cagaitera) no es reportada entre las especies con mayor IVI por los autores mencionados, que incluyen muestreos en Curvelo, ciudad muy próxima a Gouveia en donde se localiza la cuenca.

Los bajos valores del IVI encontrados para las especies *Qualea grandiflora*, *Bowdichia virgilioides*, *Acosmium dacycarpum*, *Aspidosperma tomentosum*, *Byrsonima verbascifolia* y *Kielmeyera coriacea* confirman su reducción poblacional, ya que son consideradas del grupo de las doce especies típicas del bioma de Cerrado en Brasil Central (Fielfili *et al.*, 1997).

El número de especies encontradas (40 en 4,8 hectáreas) es muy bajo, ya que en el Cerrado no degradado de Brasil central, según Fielfili *et al.* (1997) es común encontrar entre 50 y 80 especies por hectárea. El valor anterior puede ser entendido como una evidencia de la fuerte alteración que ha sufrido la vegetación de la cuenca a lo largo de dos siglos y cuya expresión es la pérdida de la riqueza florística y

la biodiversidad del estrato arbóreo en el área estudiada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arens, K. 1958.** O cerrado como vegetação oligotrófica. Bol. Fac. Fil. Ciênc. e Letr. USP. 224 Botânica 15: 59-77.
- Arens, K., Ferri, M. G., Coutinho, L. M. 1958.** Papel do fator nutricional na economia da agua de plantas do Cerrado. Ver. Biol. Lisboa 1:313-324.
- Augustin, C.H.R.R. 1985.** A geografia física: o levantamento integrado e avaliação de recursos naturais. Boletim de Geografia Teorética, 15 (29-30): 141-153.
- Augustin, C.H.R.R. 1995.** Geoökologische Studien im südlichen Espinhaço Gebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien Unter Besonderer Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung. Tese de doutorado: 147 p. Universidade de Frankfurt Frankfurt, Alemanha.
- Barbosa, S. A., Nascimento, V. I. 1994.** Processos culturais associados a vegetação do cerrado. cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Pinto, Maria N. (Org.). Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2da edición, p 155 – 170.
- Fielfili, J.M., Silva Junior, M.C., Rezende, A.V., Nogueira, P.E. 1997.** Comparação do Cerrado (sensu stricto) nas Chapadas Pratinha e dos Veadeiros. Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. Universidade de Brasília Departamento de Ecologia. p 6-11.
- Goodland, R., Ferri, G.M. 1979.** Ecologia do Cerrado. Editora da Universidade de São Paulo. Livraria Itatiaia Editora LTDA.

- Heiseke, D.R. 1976.** Estudos de tipologia florestais de Cerrado. Centro de Pesquisa Florestal da Região de Cerrado, Belo Horizonte-MG. PNUD/FAO/IBDF/BR – 45. SÉRIE TÉCNICA No 7. Brasília.
- Nimer, E. 1989.** Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE-Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2ed.
- Organización de los Estados Americanos (OEA). 1982.** Metodología para el estudio de la vegetación. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D.C.
- Pereira, J., Peres, R.J.R. 1986.** Manejo da matéria orgânica. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Goedert, Wenceslau. J (Editor).
- Primavesi, A. 1987.** Manejo Ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. Livraria Nobel S.A. São Paulo.
- Resende, M., Sans, L.M., Durães, M.O.F. 1996.** Veranico e sua inter-relação com sistemas solo/água/planta/atmosfera nos cerrados. XXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo- Os Solos nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. Viçosa/MG: SBSCS; UFV, Pp. 157-167.
- Resende, M., Curi, N., Resende, B.S., Corrêa, F.G. 1995.** Pedologia: base para a distinção de ambientes. NEPUT. Viçosa.
- Ribeiro, J. F., Walter, B. B. 1998.** Fitofisionomias do bioma cerrado. Cerrado ambiente e flora. EMBRAPA. Pp. 89 -166, Planaltina, D.F.
- Rodriguez, E.T. 1977.** Mineralogia e gênese de uma seqüência de solos dos cerrados no Distrito Federal. 101 p. Tesis de maestria. Porto Alegre, UFRS.
- Troppmair, H. 1995.** Biogeografia e meio ambiente. Rio Claro.

Anexo 1. Estadística descriptiva de las características químicas según tipo de suelo

Variables	Tipo de suelo	N	Media	Mediana	Desvío patrón	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
S	1	5	0,83	0,84	0,19	0,23	0,59	1,20
	2	8	0,49	0,57	0,14	0,29	0,30	0,63
	3	8	0,44	0,44	0,08	0,18	0,31	0,53
	4	7	0,41	0,38	0,13	0,31	0,27	0,90
	5	4	0,88	0,99	0,28	0,32	0,55	1,18
CIC	1	5	5,75	5,96	0,37	0,06	5,14	6,07
	2	8	5,55	5,67	0,56	0,10	4,40	6,20
	3	8	4,81	4,84	0,50	0,10	4,17	5,33
	4	7	3,77	3,62	0,87	0,23	2,40	4,97
	5	4	8,53	7,88	2,53	0,30	6,50	13,36
V	1	5	14,57	16,00	3,71	0,25	10,00	22,00
	2	8	8,74	10,00	2,32	0,27	5,00	11,00
	3	8	9,05	9,00	1,12	0,12	7,00	10,00
	4	7	11,31	11,00	2,97	0,26	8,00	21,00
	5	4	10,34	9,00	2,64	0,25	8,00	15,00
Ph	1	5	4,64	4,60	0,20	0,04	4,40	4,90
	2	8	4,91	5,00	0,17	0,03	4,60	5,10
	3	8	4,71	4,90	0,32	0,07	4,20	5,10
	4	7	5,13	5,10	0,24	0,05	4,60	5,80
	5	4	4,69	4,80	0,23	0,05	4,30	5,00
Ca	1	5	0,48	0,45	0,12	0,26	0,30	0,65
	2	8	0,23	0,30	0,13	0,59	0,02	0,40
	3	8	0,16	0,10	0,09	0,59	0,05	0,30
	4	7	0,10	0,05	0,07	0,73	0,05	0,25
	5	4	0,43	0,40	0,11	0,27	0,30	0,55
Mg	1	5	0,10	0,07	0,08	0,81	0,02	0,28
	2	8	0,05	0,05	0,02	0,30	0,03	0,07
	3	8	0,05	0,05	0,02	0,38	0,02	0,07
	4	7	0,05	0,04	0,05	0,92	0,02	0,25
	5	4	0,10	0,08	0,08	0,78	0,04	0,27
K	1	5	100,39	86,00	34,76	0,35	67,00	182,00
	2	8	82,51	89,00	17,73	0,21	55,00	103,00
	3	8	94,66	94,00	15,96	0,17	74,00	120,00
	4	7	102,41	114,00	33,01	0,32	37,00	177,00
	5	4	138,8	141,00	61,74	0,44	81,00	250,00
P	1	5	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	2	8	1,30	1,00	0,46	0,35	1,00	2,00
	3	8	1,38	1,00	0,49	0,35	1,00	2,00
	4	7	1,17	1,00	0,38	0,32	1,00	2,00
	5	4	1,96	1,00	1,56	0,80	1,00	5,00
MO	1	5	2,12	2,13	0,09	0,04	2,02	2,27
	2	8	2,12	2,12	0,15	0,07	1,81	2,29
	3	8	1,66	1,63	0,16	0,10	1,49	1,93
	4	7	1,13	1,08	0,37	0,32	0,43	1,93
	5	4	2,25	2,15	0,56	0,25	1,10	2,98

Anexo 1. Continuación. Estadística descriptiva de las características químicas según tipo de suelo

Variables	Tipo de suelo	N	Media	Mediana	Desvío patrón	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Sat. Al	1	5	41,25	44,00	11,42	0,28	20,00	51,00
	2	8	51,37	54,00	12,39	0,24	25,00	68,00
	3	8	60,69	62,00	5,10	0,08	50,00	65,00
	4	7	53,54	57,00	14,39	0,27	12,00	66,00
	5	4	55,85	59,00	10,24	0,18	45,00	72,00
Arena gruesa	1	5	11,09	10,00	1,99	0,18	9,00	15,00
	2	8	10,18	8,00	3,45	0,34	6,00	15,00
	3	8	15,69	13,00	5,45	0,35	9,00	25,00
	4	7	20,60	19,00	6,24	0,30	12,00	31,00
	5	4	15,13	14,00	4,40	0,29	11,00	23,00
Arena fina	1	5	20,65	20,00	5,69	0,28	14,00	33,00
	2	8	32,06	35,00	3,95	0,12	27,00	39,00
	3	8	29,97	30,00	7,19	0,24	17,00	40,00
	4	7	29,29	26,00	7,51	0,26	26,00	52,00
	5	4	23,38	24,00	7,70	0,33	14,00	32,00
Limo	1	5	12,60	11,00	5,50	0,44	5,00	20,00
	2	8	13,29	14,00	3,68	0,28	6,00	21,00
	3	8	15,20	13,00	3,90	0,26	12,00	23,00
	4	7	15,03	16,00	2,25	0,15	9,00	19,00
	5	4	13,90	12,00	6,64	0,48	8,00	26,00
Arcilla	1	5	55,36	57,00	4,61	0,08	45,00	59,00
	2	8	44,47	43,00	3,27	0,07	41,00	49,00
	3	8	39,15	36,00	6,88	0,18	32,00	51,00
	4	7	35,09	39,00	6,19	0,18	23,00	45,00
	5	4	47,59	49,00	6,67	0,14	39,00	57,00
IFS	1	5	3,55	3,66	0,17	0,05	3,23	3,73
	2	8	3,26	3,22	0,35	0,11	2,54	3,69
	3	8	2,84	2,85	0,31	0,11	2,42	3,15
	4	7	2,25	2,16	0,50	0,22	1,49	2,92
	5	4	5,08	4,89	1,48	0,29	3,81	7,84

Anexo 2. Estadística descriptiva de los datos de vegetación

Variables	Tipo de suelo	N	Media	Mediana	Desvío patrón	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
(DAP)	1	88	0,17	0,14	0,11	0,64	0,05	0,73
	2	117	0,11	0,10	0,05	0,46	0,05	0,43
	3	61	0,12	0,12	0,05	0,40	0,05	0,25
	4	161	0,09	0,08	0,04	0,40	0,04	0,29
	5	71	0,16	0,14	0,08	0,49	0,06	0,50
Área basal	1	88	0,03	0,02	0,05	1,80	0,00	0,42
	2	117	0,01	0,01	0,02	1,31	0,00	0,15
	3	61	0,01	0,01	0,01	0,83	0,00	0,05
	4	161	0,01	0,01	0,01	0,97	0,00	0,06
	5	71	0,03	0,01	0,03	1,12	0,00	0,20
Altura total	1	88	5,56	5,00	2,45	0,44	2,20	15,50
	2	117	3,58	3,00	1,67	0,47	1,80	9,00
	3	61	4,36	4,10	2,17	0,50	2,00	11,20
	4	161	3,46	3,25	1,16	0,34	1,80	8,00
	5	71	8,06	7,00	6,51	0,81	2,80	55,00
Cobertura	1	88	20,20	11,56	26,91	1,33	0,72	156,25
	2	117	9,45	6,76	10,34	1,09	0,56	85,56
	3	61	12,31	7,29	12,60	1,02	0,72	50,41
	4	161	7,01	4,62	8,37	1,19	0,30	75,63
	5	71	22,07	20,00	18,75	0,85	1,10	115,56
% Cobertura	1	88	21,68	18,78	13,65	0,63	6,96	46,93
	2	117	11,68	10,78	2,63	0,23	6,76	16,12
	3	61	9,62	6,36	8,16	0,85	2,49	24,08
	4	161	14,10	10,69	7,26	0,51	2,68	23,62
	5	71	24,14	26,31	5,70	0,24	14,32	29,71
Densidad arbórea	1	88	125,14	112,50	46,67	0,37	75,00	187,50
	2	117	141,14	162,50	65,92	0,47	27,00	218,75
	3	61	77,15	75,00	8,14	0,11	62,50	87,50
	4	161	277,50	175,00	198,10	0,71	75,00	543,70
	5	71	124,38	106,25	42,37	0,34	75,00	175,00
CHS	1	5	59,32	60,00	14,78	0,25	30,00	80,00
	2	8	39,30	38,00	16,58	0,42	20,00	60,00
	3	8	52,15	55,00	8,78	0,17	38,00	60,00
	4	7	27,55	25,00	14,51	0,53	8,00	65,00
	5	4	53,82	65,00	14,17	0,26	30,00	65,00
IFE	1	88	10,76	6,07	13,94	1,30	0,80	81,33
	2	117	5,41	4,05	5,51	1,02	0,72	44,69
	3	61	6,55	3,95	6,40	0,98	0,80	26,46
	4	161	3,87	2,71	3,63	0,94	0,61	21,29
	5	71	11,89	10,73	9,79	0,82	1,34	60,00

Anexo 3. Correlación de Pearson

	S	CIC	Ph	Ca	Mg	K	P	M.O
CIC	0,714 0,000							
pH	-0,402 0,000	-0,575 0,000						
Ca	0,825 0,000	0,535 0,000	-0,494 0,000					
Mg	0,721 0,000	0,37 0,000	-0,001 0,983	0,314 0,000				
K	0,603 0,000	0,593 0,000	-0,113 0,008	0,073 0,092	0,646 0,000			
P	0,374 0,000	0,684 0,000	-0,255 0,000	0,082 0,059	0,265 0,000	0,619 0,000		
M,O	0,556 0,000	0,785 0,000	-0,617 0,000	0,569 0,000	0,2 0,000	0,272 0,000	0,301 0,000	
Sat. Al	-0,288 0,000	0,244 0,000	-0,135 0,001	-0,462 0,000	-0,243 0,000	0,200 0,000	0,310 0,000	0,077 0,068
Arcilla	0,279 0,000	0,258 0,000	-0,467 0,000	0,569 0,000	-0,14 0,002	-0,303 0,000	-0,277 0,000	0,573 0,000
DAP	0,449 0,000	0,349 0,000	-0,347 0,000	0,378 0,000	0,371 0,000	0,216 0,000	0,128 0,002	0,27 0,000
Area basal	0,387 0,000	0,231 0,000	-0,195 0,000	0,275 0,000	0,399 0,000	0,232 0,000	0,09 0,033	0,168 0,000
Al. total	0,55 0,000	0,53 0,000	-0,447 0,000	0,44 0,000	0,372 0,000	0,361 0,000	0,324 0,000	0,303 0,000
Cobertura	0,42 0,000	0,305 0,000	-0,269 0,000	0,33 0,000	0,384 0,000	0,222 0,000	0,133 0,002	0,223 0,000
Den. Arb	-0,339 0,000	-0,333 0,000	0,266 0,000	-0,482 0,000	-0,22 0,000	0,116 0,006	-0,119 0,005	-0,455 0,000
I.F.E	0,472 0,000	0,351 0,000	-0,226 0,000	0,358 0,000	0,435 0,000	0,277 0,000	0,183 0,000	0,246 0,000
IFS	0,771 0,000	0,996 0,000	-0,572 0,000	0,59 0,000	0,424 0,000	0,613 0,000	0,667 0,000	0,781 0,000

P-Valor: Sub-índice

Anexo 3. Continuación. Correlación de Pearson

	S	CIC	Ph	Ca	Mg	K	P	M.O
	Sat.	Al Arcilla	-DAP	Área basal	Altura total	Cobertura	% Cobertura	Densidad Arbórea
Arcilla	-0,324 0,00							
DAP	-0,159 0,000	0,243 0,000						
Área basal	-0,178 0,000	0,127 0,005	0,904 0,000					
Al. total	-0,064 0,132	0,207 0,000	0,741 0,000	0,591 0,000				
Cobertura	-0,174 0,000	0,152 0,001	0,811 0,000	0,761 0,000	0,658 0,000			
Dens. Arb.	0,244 0,000	-0,22 0,000	-0,26 0,000	-0,186 0,000	-0,201 0,000	-0,266 0,000		
IFE	-0,206 0,000	0,199 0,000	0,746 0,000	0,711 0,000	0,644 0,000	0,895 0,000	-0,248 0,000	0,275 0,000
IFS	0,187 0,000	0,27 0,000	0,372 0,000	0,257 0,000	0,549 0,000	0,328 0,000	-0,344 0,000	0,431 0,000

P-Valor: Sub-índice