

Comparación de dos métodos de clasificación digital y aplicación al cartografiado de vegetación en el nordeste brasileño

I. Sá¹, R. De Antonio², J. Almorox² y A. de Souza¹.

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). BR 428 km 152. C.P. 23 Petrolina, FE. 56300-000 Brasil.

²Departamento de Edafología. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n 28040. España.

RESUMEN

La vegetación natural de la región semiárida del Brasil, denominada "Caatinga", ocupa alrededor de 573.000 km², lo que supone un 37 % de la superficie del Nordeste.

El presente trabajo tiene por objeto evaluar cuantitativamente la exactitud de dos procedimientos de clasificación para el procesamiento digital de imágenes de satélites: uno, no supervisado, mediante el algoritmo "Media K", y otro, supervisado, por medio del algoritmo "Maxver". La exactitud de las clasificaciones se evalúa mediante el análisis estadístico multivariante discreto, "kappa" K.

Los resultados obtenidos muestran que la utilización del método supervisado es eficaz para la discriminación de las formaciones de caatinga de la región y su consecuente cartografía a escala 1:100.000.

PALABRAS CLAVE: clasificación supervisada, clasificación no supervisada, estadístico kappa.

ABSTRACT

The natural vegetation of the Brazilian Semiarid region, named "Caatinga", occupies around 573,000 km², corresponding to 37 percent of the Northeast region.

The objective of this work was to evaluate the application of two classification procedures: one unsupervised, through the "MEDIA-K" algorithm; and the second one supervised, through the "MAXVER" algorithm.

The results obtained show the potential in using supervised classification for the mapping process of vegetation.

KEY WORDS: kappa coefficient, supervised classification, unsupervised classification.

INTRODUCCIÓN

La región semiárida del Nordeste brasileño se caracteriza por una gran diversidad ecológica. La vegetación predominante en la región es una estepa del trópico semi-árido, denominada "caatinga", que ocupa una extensión de 573.000 km², lo que supone un 37 % de la superficie total del Nordeste de Brasil. Las técnicas de teledetección suponen una gran ayuda al estudio de las variaciones temporales y espaciales de la vegetación, sobremanera cuando es necesario confeccionar mapas de vegetación en zonas amplias donde el trabajo de campo se hace difícil por su inaccesibilidad. El empleo de sensores remotos nos proporciona un método viable, rápido, eficaz y económico, para un inventariado racional de la vegetación.

El objetivo de este trabajo es el análisis de la fiabilidad de dos métodos de clasificación de la caatinga, con el fin de confeccionar un mapa de formaciones vegetales a escala 1:100.000. Para aplicar nuestro ensayo metodológico se ha elegido como área piloto una extensión de 225 km² localiza-

da en el Suroeste del Estado de Pernambuco, en el término de Petrolina (Figura 1). El área se corresponde con una celda de 15 km x 15 km, delimitada por los paralelos 9°00' S y 9°09' de Latitud Sur y los meridianos 40°25' y 40°34' de Longitud Oeste (proyección UTM).

Para la clasificación de las diferentes formaciones se han definido cuatro clases de alturas principales de los estratos dominantes (Howard y Schade, 1982):

- 1) arbórea, con más de 20 m de altura;
- 2) arbórea-arbustiva, entre 5 y 20 m
- 3) arbustiva, entre 2 y 5 m
- 4) arbustiva baja o herbácea, inferior a 2 m.

Así mismo, en cuanto al grado de cobertura del suelo por la vegetación, se definen cinco clases:

- 1) cerrada, con más del 80 % de cobertura
- 2) densa, entre un 40 y un 80 %
- 3) abierta, entre 10 y 40 %
- 4) dispersa, entre 2 y 10 %
- 5) ausente, inferior al 2 %.

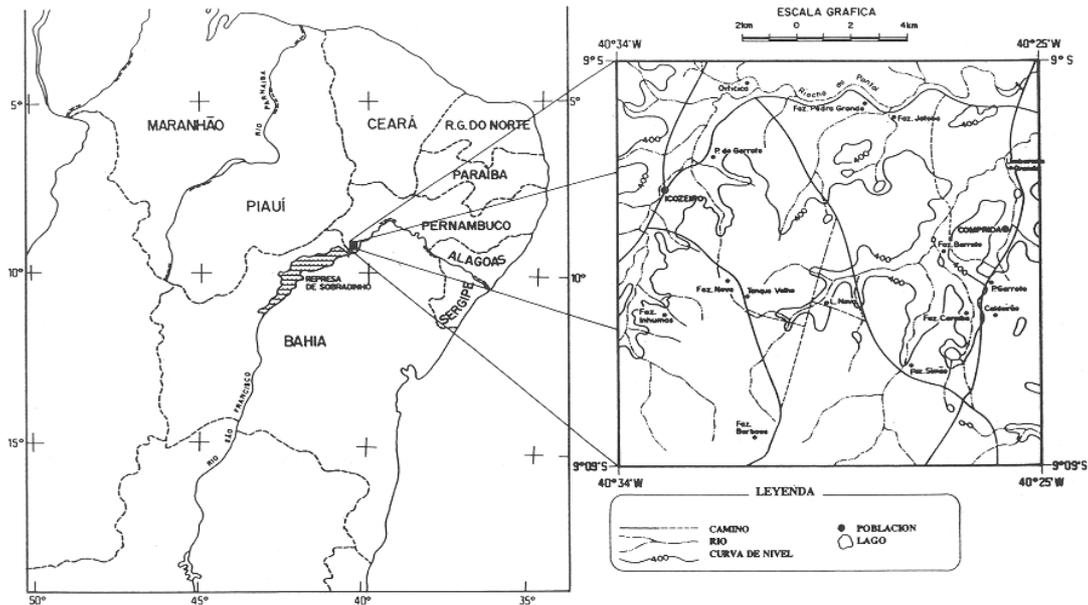


Figura 1. Mapa de localización

MATERIALES Y MÉTODOS

Información de partida

Se han utilizado como fuentes de información imágenes del satélite Landsat 5, fotografías aéreas y mapas topográficos.

Se tomaron datos del sensor TM/Landsat-5 (órbita 217, punto 66 del cuadrante Sur) correspondientes a las bandas 3 (0,63-0,69 μm), 4 (0,76-0,90 μm) y 5 (1,55-1,75 μm), del día 14 de septiembre de 1988. El tratamiento digital de las imágenes de satélite se realizó con el sistema SITIM-150 del laboratorio de Tratamiento de Imágenes Digitales del "INPE" (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*). Como base topográfica fueron utilizadas las hojas 1:100.000; SC. 24-V-D-I y SC. 24-V-CD-III, Petrolina e Itamotinga respectivamente, ambas publicadas en 1977 por la "Diretoria do Serviço Geográfico do Exército". También fueron utilizadas fotografías aéreas pancromáticas en blanco y negro a escala 1:15.000, tomadas en el mes de Septiembre de 1986. Dado el tiempo transcurrido en relación a la información orbital y ante la inviabilidad de realizar un nuevo vuelo, se verificó que no hubo modificaciones del paisaje relevantes.

Metodología

En primer lugar, se realizó una clasificación automática digital, empleando un método no supervisado, para definir las diferentes clases espectrales. Se utilizó el algoritmo de clasificación: MEDIA-K (Ribeiro et al., 1982). Por medio de esta técnica se determinan las relaciones naturales del conjunto de observaciones, dividiendo el espacio muestral en clases con características espectrales semejantes. El resultado es una clasificación preliminar explo-

ratoria previa a la fotointerpretación y al trabajo de campo.

Para la fotointerpretación se utilizaron fotografías aéreas en blanco y negro y las imágenes a color obtenidas mediante la unidad visualizadora del sistema de tratamiento de imágenes SITIM. Para este fin, se procedió al realce del contraste, a la corrección geométrica polinómica con 6 puntos de control, y a la transformación a los colores azul, verde y rojo, de las bandas espectrales del sensor 3, 4 y 5, respectivamente. También se delimitaron las coordenadas geográficas, se trazó la red hidrográfica y viaria; y, por último, se procedió a la identificación de las unidades de vegetación. Para ello se analizaron atributos propios del fotoanálisis de la vegetación, tales como: color, textura, tonalidad, forma y posición (Sabins, 1978).

El trabajo de campo consistió en el reconocimiento visual de las clases de vegetación previamente cartografiadas. Durante esta fase se identificaron las especies dominantes y se caracterizó su estructura vertical. La información se sintetizó en una ficha de campo para el análisis fitosociológico de la vegetación (Emberg, 1968).

El método supervisado parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio, ya adquirido en las fases previas. Para la clasificación supervisada se utilizó el algoritmo MAXVER (Velasco, 1979) que sigue el criterio de máxima verosimilitud. Para la localización de los campos de entrenamiento fue utilizada la clasificación automática realizada mediante el método no supervisado, y la información obtenida de la fotointerpretación y el trabajo de campo. Una vez seleccionadas las áreas de entrenamiento, el sistema calcula las estadísticas características de cada clase (Santos et al., 1979).

En la fase de asignación, se asocia a cada uno de los pixels de la imagen una de las clases previamente seleccionadas. El criterio empleado en este trabajo es el de la máxima probabilidad, por el cual un pixel se asigna a aquella clase con la que posee mayor probabilidad de pertenencia (Swain y Davis, 1978).

Análisis de la fiabilidad de la clasificación

Resulta de interés analizar las relaciones entre las diferentes clases. Para este análisis se utilizó la técnica de análisis categórico multivariante denominada kappa (κ) (Cohen, 1960). Este estadístico mide el grado de ajuste debido exclusivamente a la exactitud de la clasificación, y utiliza para el análisis la matriz de confusión. La matriz de confusión recoge los conflictos que se presentan entre las diferentes categorías, las columnas generalmente representan la información de referencia (verdad sobre el terreno) y las líneas el resultado de una clasificación visual o digital.

Para la elaboración de la matriz de confusión se tomó como referencia (clase real) la clasificación supervisada obtenida con el algoritmo MAXVER, que integra los tres niveles de adquisición de información (orbital, aérea y trabajo de campo). Esta información es comparada con el producto de la clasificación no supervisada obtenida por medio del algoritmo MEDIA-K (clase en el mapa). Los puntos test obtenidos para la fase de muestreo, y que constituyen la matriz de confusión, se obtuvieron por medio de un tipo de muestreo aleatorio estratificado en función de las clases, y aleatorio dentro de cada una de ellas. Para la estimación del tamaño de la muestra para cada una de las clases se empleó la expresión:

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2} \tag{1}$$

Donde:

n: número de puntos de verificación
t: t de Student (correspondiente a un determinado nivel de confianza)

CV: coeficiente de variación % (igual al cociente entre la desviación típica y la media)

E: nivel de error permitido %

La medida del estadístico kappa (κ) se obtiene por la expresión (Hudson y Ramm, 1987):

$$\kappa = \frac{\sum X_{ii}/N - \sum (X_{i+} \cdot X_{+i})/N^2}{1 - \sum (X_{i+} \cdot X_{+i})/N^2} \tag{2}$$

Y la varianza de kappa se obtiene por medio de la formulación:

$$\delta^2(\kappa) = \frac{1}{N} \left[\frac{\theta_1 \cdot (1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1) \cdot (2\theta_1 \cdot \theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2 \cdot (\theta_4 - 4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \tag{3}$$

$$\theta_1 = \sum_{i=1..n} \frac{X_{ii}}{N} ; \theta_2 = \sum_{i=1..n} \frac{X_{i+} \cdot X_{+i}}{N^2}$$

$$\theta_3 = \sum_{i=1..n} \frac{X_{ii} \cdot (X_{i+} + X_{+i})}{N^2} ; \theta_4 = \sum_{i=1..n} \sum_{j=1..n} \frac{X_{ij} \cdot (X_{i+} + X_{+i})^2}{N^3}$$

Los valores máximos y mínimos de kappa dependen del contenido de todas las celdas de la matriz de confusión y, no sólo, de los valores de la diagonal principal; de modo, que si todos los elementos que se encuentran fuera de la diagonal principal fueran iguales a cero, tendríamos concordancia completa, $\kappa=1$. Si todos los valores de la diagonal principal fueran nulos, estaríamos en un caso de completa discordancia, con $\kappa=-1$.

Para estudiar la significación de las diferencias entre las dos clasificaciones, se realiza un contraste de hipótesis (Fleiss, 1981). Siendo la hipótesis nula $H_0: \kappa=0$, y, la hipótesis alternativa $H_1: \kappa>0$. Se utiliza como estadístico de contraste la variable Z (ecuación 4), que para un nivel de significación de 0,05, le corresponde un Z crítico de 1,96:

$$Z = \kappa/S \tag{4}$$

Donde: Z: variable reducida
 κ : coeficiente de concordancia
s: desviación típica de κ

Además, del estadístico kappa, la matriz de confusión nos proporciona otras informaciones adicionales tales como:

$$\% \text{ Fiabilidad global} = \frac{n^\circ \text{ pixeles correctamente clasificados}}{n^\circ \text{ total de pixeles}} \times 100$$

$$\% \text{ Fiabilidad por clase} = \frac{n^\circ \text{ total pixeles correctamente clasificados en una clase}}{n^\circ \text{ total de pixeles de la clase}} \times 100$$

$$\% \text{ error de omisión} = \frac{X_{+i} - X_{ii}}{X_{i+}} \times 100$$

$$\% \text{ error de comisión} = \frac{X_{i+} - X_{ii}}{X_{i+}} \times 100$$

Land y Koch, 1977, asociaron a las concordancias observadas cinco clases de valores de κ :

- 0 < κ < 0,20 grado de concordancia pequeño o leve
- 0,21 < κ < 0,40 grado de concordancia satisfactorio
- 0,41 < κ < 0,60 grado de concordancia moderado
- 0,61 < κ < 0,80 grado de concordancia fuerte
- 0,81 < κ < 1 grado de concordancia casi perfecta

También, la medida de concordancia kappa puede ser utilizada de forma aislada para cada una de las clases mediante la expresión (Congalton et al., 1983):

$$\kappa_i = \frac{NX_i - X_{i+}X_{+i}}{NX_{i+} - X_{i+}X_{+i}} \quad (5)$$

Y la varianza de κ por: (6)

$$\delta_{\kappa_i}^2 = A + B$$

$$A = \frac{1}{N} \cdot \left(\frac{X_{i+} - X_{ii}}{N} \right) \cdot \left(\frac{X_{i+}}{N} \cdot \left(1 - \frac{X_{+i}}{N} \right) \right)^{-3} \cdot \left[\frac{X_{i+} - X_{ii}}{N} \cdot \frac{X_{i+} - X_{+i} - X_{ii}}{N} \right] \quad (6)$$

$$B = \frac{1}{N} \cdot \left(\frac{X_{i+} - X_{ii}}{N} \right) \cdot \left(\frac{X_{i+}}{N} \cdot \left(1 - \frac{X_{+i}}{N} \right) \right)^{-3} \cdot \left[\frac{X_{ii}}{N} \cdot \left(1 - \frac{X_{i+} - X_{+i} + X_{ii}}{N} \right) \right]$$

Para el contraste entre clases el test de hipótesis se realiza entre dos κ independientes, utilizándose un estadístico "Z" dado por:

$$Z' = \frac{\kappa_1 - \kappa_2}{[(\sigma_1)^2 + (\sigma_2)^2]^{0.5}} \quad (7)$$

Si el valor de Z' fuera menor que 1,96 no tendríamos diferencias significativas para un nivel de confianza del 95%; si fuera mayor que 1,96 habría diferencias significativas entre pares de clases discriminadas.

RESULTADOS

Como resultado de aplicar el método de clasificación no supervisado, y el método supervisado se definieron cinco clases como las más acertadas para la representación cartográfica de la vegetación a escala 1:100.000. Las 5 clases de vegetación identificadas para el área de estudio, son: Caatinga Arbórea Arbustiva Densa (AAD); Caatinga Arbustiva Densa (AD); Caatinga Arbustiva Abierta (AA); Caatinga Sub-arbustiva Abierta (SAA) y Caatinga Sub-arbustiva Dispersa (SAD).

Para evaluar el grado de concordancia entre los resultados obtenidos de las dos clasificaciones: 1) la que utiliza los tres niveles de información y se basa en el algoritmo MAXVER; y 2) la clasificación no supervisada; se utilizó el estadístico kappa.

Adoptando un nivel de confianza para el muestreo de un 95 % y un error muestral admisible del 15 %; obtenemos que necesitamos un número de muestras de (Snedecor, 1967; y Cochran, 1977):

$$S = 12,7$$

$$\text{Media} = 44,82$$

$$CV = 28,34$$

$$t = 2$$

$$n = 14,27$$

La tabla 1 muestra la matriz de confusión generada y utilizada en el análisis, así como los valores porcentuales de clasificaciones correctas, y los errores de omisión y comisión:

	AAD	AD	AA	SAA	SAD	TOTAL	% COMISION
AAD	11	0	0	0	0	11	0
AD	1	10	5	2	1	19	47
AA	3	5	7	0	0	15	53
SAA	0	0	3	9	2	14	36
SAD	0	0	0	4	12	16	25
TOTAL	15	15	15	15	15	75	
% CORRECTAS	73	67	47	60	80	65	
% OMISION	27	33	53	40	20		

Tabla. 1. Matriz de confusión generada.

CLASIFICACION NO SUPE RVISADA CLASIFICACION SUPERVISADA (MAXVER)

Los valores del estadístico kappa κ , de su varianza σ^2 , y del porcentaje de clasificaciones correctas θ_1 , son:

$$\kappa = 0,56$$

$$\sigma^2 = 0,005$$

$$\theta_1 = 65,33 \%$$

Estos valores revelan la existencia de un grado de concordancia moderado (Landis y Koch, 1977). Realizando el contraste de hipótesis de Fleiss, 1981, para estudiar la significación de las diferencias entre las dos clasificaciones, se obtuvo:

$$Z = 0,56/0,071 = 7,972.$$

Valor que al ser superior a 1,96 ($\alpha=0,05$) indica la existencia de concordancia significativa para un nivel del 95 % entre las clasificaciones comparadas.

Analizando la matriz de confusión se puede deducir que:

- La clase Caatin~ Sub-arbustiva Dispersa obtuvo el mayor porcentaje de clasificación correcta (80%), y, por consiguiente, el menor error de omisión (20%)
- La Clase Caatinga Arbustiva Abierta presentó el menor porcentaje de clasificación correcta (47%)
- Los mayores porcentajes de acierto se encontraron en las formaciones Arbustiva Arbórea Densa y en la Subarbustiva Dispersa, que son las que presentan valores extremos en términos de recubrimiento del suelo, es decir la menor cobertura (Caatinga Sub-Arbustiva Dispersa); y la mayor (Caatinga Arbórea Arbustiva Densa).
- El menor porcentaje de acierto corresponde precisamente a un nivel intermedio de cobertura (Caatinga Arbustiva Abierta).
- La inclusión de cinco puntos de la clase arbustiva abierta en la clase arbustiva densa muestra la semejanza espectral existente entre las dos clases en esta época del año. Evidenciada también por los cinco puntos de la clase arbustiva densa incluidos dentro de la clase arbustiva abierta.
- La inclusión de puntos pertenecientes a la formación Sub-Arbustiva Abierta en la clase Sub-Arbustiva Dispersa, se debe también a la semejanza puntual entre los patrones espectrales de ambas clases.

Con el propósito de analizar la concordancia de las clases de forma aislada, fue utilizado el procedimiento propuesto por Congalton et al., 1983 donde

la medida de concordancia kappa y de su varianza vienen dadas por las ecuaciones (5) y (6).

Con los coeficientes de concordancia kappa y las varianzas calculadas para todas las clases, se realizó el test de hipótesis de Fleiss, 1981. El resultado evidencia que los valores de la variable Z son mayores que 1,96 y, en consecuencia, significativos para todas las clases de forma aislada (Tabla 2).

CLASES DE FORMACIONES	κ	$\sigma^2(\kappa)$	$\sigma(\kappa)$	Zt
AAD	0,815	0,009	0,095	8,670
AD	0,470	0,015	0,122	3,852
AA	0,333	0,018	0,134	2,485
SAA	0,530	0,016	0,126	4,206
SAD	0,715	0,010	0,102	7,150
GLOBAL	0,566	0,005	0,071	7,972

Tabla 2. Resultados del estadístico, y test de hipótesis para las clases de formaciones en el área de estudio

Los valores del estadístico kappa obtenidos, para las diferentes clases de formaciones vegetales, pueden ser considerados, según Landis y Koch, 1977, satisfactorio para la clase Caatinga Arbustiva Abierta; moderados para las clases Caatinga Arbustiva Densa y Caatinga Sub-Arbustiva Abierta; fuerte para la clase de Caatinga Arbustiva Dispersa y casi perfecta para la clase de Caatinga Arbórea Arbustiva Densa. Por otro lado, el contraste de hipótesis para cada una de las clases revela la existencia de concordancia significativa ($\alpha=0,05$) entre las dos clasificaciones.

Se observa cómo las formaciones de Caatinga del área de estudio están divididas en dos grupos en función de los clasificadores. El primer grupo compuesto de las formaciones Arbórea Arbustiva Densa, Arbustiva Densa y Arbustiva Abierta; y un segundo grupo compuesto de las formaciones Sub-Arbustiva Abierta y Sub-Arbustiva Dispersa. La causa probable de esta división puede residir en el grado de cobertura del suelo por material leñoso, hecho ligado a la densidad de cobertura para estas clases.

En el caso de las formaciones del segundo grupo, por la pequeña cantidad de fitomasa aérea, la proporción de suelo expuesto influye en mayor medida en los clasificadores. Así, la clase Sub-Arbustiva Dispersa presenta un grado de concordancia mayor, al mostrar de forma más clara la superficie del suelo, en el que predomina una tonalidad clara.

Para el contraste entre clases, se han combinado éstas dos a dos, realizando un test de hipótesis por medio del estadístico de la ecuación (7). Los diez valores de Z' se reflejan en la Tabla 3:

COMBINACION	Z'	COMBINACION	Z'
AADxAD	2,226*	ADXSAA	0,341
AADXAA	2,933*	ADXSAD	1,549
AADXSAA	1,802	AAXSAA	1,068
AADXSAD	0,725	AAXSAD	2,283*
ADXAA	0,754	SAAXSAD	1,147

Tabla 3. Análisis entre clases, Valores de "Z"

Los clasificadores difieren significativamente a un nivel del 95 % cuando el valor de Z' es mayor que 1,96, siendo el valor superior a 1,96 al ser comparadas las clases AAD y AD; AAD y AA y AA y SAD.

Se evidencia que los clasificadores utilizados proporcionan diferentes niveles de información para estos pares de formaciones vegetales, es decir, la clasificación no supervisada y la clasificación supervisada que integra fotos aéreas y trabajo de campo, reflejan la diferenciación del grado de cobertura del suelo en esta época del año.

En la Figura 2 se muestra la distribución espacial de las clases de vegetación obtenida mediante la clasificación supervisada, así como la red de drenaje y de las principales carreteras.

CONCLUSIONES

Se ha empleado el estadístico kappa, para comparar cuantitativamente dos procedimientos de clasificación de la vegetación.

De los resultados obtenidos se concluye que:

- Hubo un grado de concordancia moderada, Landis y Koch, 1977 ($K=0,566$), cuando se compararon ambas técnicas para el conjunto de clases de formaciones vegetales. Por medio de un test de hipótesis fue comprobado estadísticamente a un nivel de significación del 95 %.
- Al analizarse las clases de formaciones de forma aislada, se constataron los siguientes grados de concordancia entre los dos tipos de clasificación: satisfactorio ($\kappa=0,33$) para la clase de Caatinga Arbustiva Abierta; moderada ($\kappa=0,470$ y $0,530$), para las clases Caatinga Arbustiva Densa y Sub-Arbustiva Abierta; fuerte ($\kappa=0,715$) para la clase de Caatinga Arbustiva Dispersa; y casi perfecta para la clase de Caatinga Arbórea Arbustiva Densa ($\kappa=0,815$). Este análisis también fue comprobado estadísticamente a un nivel de confianza del 95%.
- Mediante el contraste de hipótesis entre pares de clases de formaciones se verificó que la aplicación de los dos clasificadores difiere significativamente a un nivel del 95 %, al comparar las clases AAD y AD; AAD y AA y AA y SAD.

La utilización del método supervisado permite una mejor separación entre clases de vegetación. El uso combinado de informaciones orbitales, aéreas y de campo, junto al empleo del método supervisado, es eficaz para la discriminación de las formaciones de "caatinga" de la región y su consecuente cartografía a escala 1:100.000. El método es aplicable para un adecuado y acertado trabajo de clasificación y cartografiado de este importante ecosistema del Nordeste brasileño.

BIBLIOGRAFIA

- COCHRAN, W.G. 1977. *Sampling techniques*. 22 Ed. New York; Willey.

COHEN, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Education and psychological measurement*. XX (1).

CONGALTON, R.G.; ODERWALD R.G. y MEAD, R.A. 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 49: 1674-1678.

EMBERG, L.; GODRON, M.; FLOCH, E.L. y SAUVAGE, C. 1968. L'analyse phytosociologique de la végétation. In: GODRON, M. Code pour le relevé methodique de la végétation et du milieu: principes et transcription sur cartes perforées. Paris. Centre National de la Recherche Scientifique: 5987.

FLEISS, J.L. 1981. *Statistical methods for rates and proportions*. New York. N.Y. J. Willey.

HOWARD, W.D. y SCHADE, J. 1982. *Towards a standardizer hierarchical classification of vegetation for remotesensing*. FAO. RSC Series. Bulletin 11. Rome. FAO.

HUDSON, W D. y RAMN, C. W. 1987. Correct formulation of fue kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 53: 421-422.

LANDIS, J.R. y KOCH, G.C. 1977. The measurement of observer agreement of categorical data. *Biometrics*. 33: 159-174.

RIBEIRO, EA; li, FAM., MOREIRA, J.C. y DUTRA, LV. 1982. *Manual de usuarios dos sistemas de tratamento de imagens digitais*. São José dos Campos, INPE. 158 p.

SABINS, FF. 1978. *Remote sensing: principles and intelpretation*. San Francisco, CA, W.H. Freeman. 426p.

SNEDECOR, W.C. y COCHRAN, W.G. 1967. *Statistical methods*. 62 Ed. Iowa State Univesite Press.

SWAIN, P.H. y DAVIS, S.M. 1978. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York. McGraw-Hill.

VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C. y de SOUZA, R.C.M 1979. *Sistema Maxver: manual de descriç;do de programas*. São José dos Campos, INPE (1499-RPI/004).

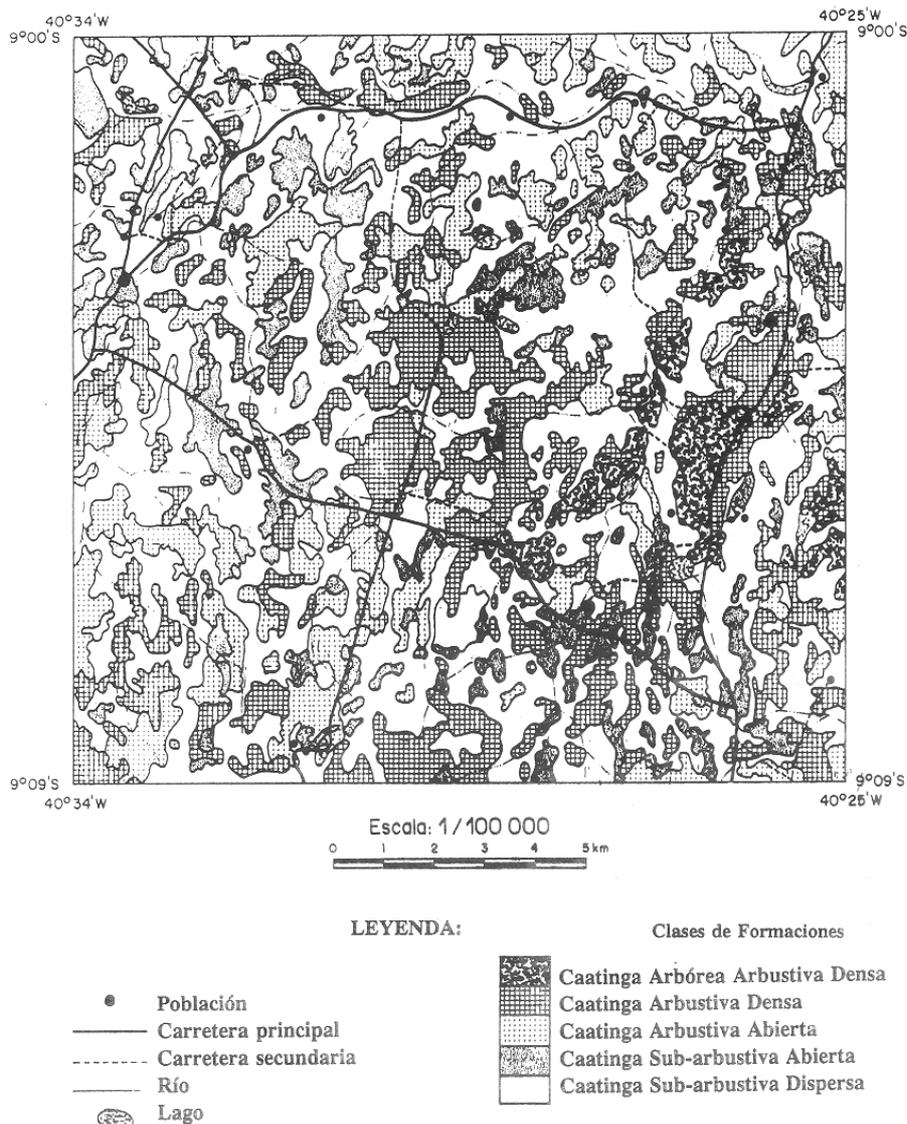


Figura 2. Distribución espacial de la vegetación: Cuenca del río Pontal (Petrolina).