

## II. CHANGES IN LAND COVER/LAND USE AS A POSSIBLE INDICATOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN A HILLSIDE ENVIRONMENT OF RIO CABUYAL IN CAUCA, COLOMBIA

Prepared by: *E. Bronson Knapp*, *P. Urbano*<sup>2</sup>, *W.B. Bell*<sup>3</sup>, and *J. E. Rubiano*<sup>4</sup>

### Introduction:

This research activity supports efforts for developing prototype interactive, computer-based decision-support systems to enhance community-scale participatory research and development. The objectives of this study were to quantify the evolution of land cover/land use (LC/LU) across 5392 ha in the case study site using using micro-computer based Geographic Information System (GIS) technology and advanced technology geographical databases. The changes in LC/LU were quantified in the traditional manner using airphoto interpretation for the years 1945/46, 1970 and 1991 at a working scale of 1:30000. The resolution of interpretation is approximately 3 ha. Soil taxonomic units were digitalized from 1:50000 government soils maps. Topographic data was derived from digital-ortho photographic interpretation and a digital terrain model. Control points were developed from extensive fieldwork. Quality of infrastructure and accessibility were defined as the euclidean distance from the principle settlement on the highway that divides the study area nearly in half.

Seven LC/LU types were studied; Natural forest (BN), pine plantation forest (BP), mature bush fallow (CD), improved pasture/fallow, multiple-cycle crops (CS), e.g., coffee, sisal, sugarcane, monocropped and intercropped cassava, intensive cropping (CL), e.g. horticultural crops, drybean, maize, burned/prepared land, overgrazed pasture/new fallow (RA), degraded land (SE), e.g., landslides, eroded pasture.

Results indicate that 77% of the area has slopes between 12 and 70%. Sixty-six percent of the area has poor access which is also where more than 90% of the forest is found. Even in 1946, only 9% of the area was forested, by 1970 the total area was 6% but by 1991 the area in natural secondary regrowth had climbed slightly to 7% with an additional 1% in pine plantation (Fig 1). Analysis across the three time periods shows land mapping units have been rotated into and out of different LC/LU types across time. Fig 3 shows changes in land use suitability for four periods using a government index which includes soil and slope data. On balance, the suitability proportions of LC/LU aggregated at the three dates seem to have changed little over the past 50 years.

Investigador Visitante - Unidad de Manejo de Tierras, CIAT

Jefe del Laboratorio SIG - Unidad de Manejo de Tierras, CIAT

Asistente de Investigación - Programa de Laderas, CIAT



31 AGO. 2004

109572

## **Antecedentes:**

El estudio de los cambios de uso de la tierra en la zona del Río Cabuyal forma parte del proyecto 'Desarrollo de Sistemas de Apoyo a las Decisiones' desarrollado actualmente por los programas de Laderas y Manejo de la Tierra en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

En la definición o selección de un uso de la tierra por parte de los agricultores, intervienen un conjunto de factores biofísicos y socioeconómicos que interactúan indistintamente según el peso o influencia que cada uno de ellos posea en cada circunstancia y momento del tiempo en particular. Es una consecuencia lógica, que el uso que se le da a la tierra tiene un impacto sobre los recursos naturales. Este impacto es el resultado de la acción de un uso determinado y de las prácticas de manejo y/o tecnología utilizadas y puede ser mayor o menor en la medida que corresponda o no con el potencial natural. La tecnología depende a la vez de otros factores entre los que se destacan la tenencia de la tierra (Blisborrow, et.al.), y rasgos de la población (Mwalyosi, R.) como la cultura, economía y aspectos demográficos. Así, un tipo de tecnología, de propiedad de la tierra, puede indirectamente inducir la pérdida de materia orgánica en el suelo, fluctuaciones en los caudales o en el balance hídrico así como el despoblamiento humano.

Cuando se estudian los cambios en el uso de la tierra, interesa conocer los factores asociados a dichos cambios. Las causas y posibles consecuencias del uso que se le da a la tierra es una información clave a la hora de tomar decisiones sobre el futuro de una región (Turner II, B.L., et.al.).

El análisis de los cambios de uso de la tierra puede ayudarnos a reconocer causas y efectos de alguno de los problemas de desequilibrio físico o social detectados en ecosistemas de ladera. El uso de los sistemas de información geográfica para este tipo de estudios es una herramienta básica para manejar la cantidad y complejidad de la información involucrada (Tan, Y.R. and Shih, S.F.).

## **2. Objetivos**

- A. Identificar y analizar los cambios de la cobertura del suelo ocurridos en la subcuenca del río Cabuyal a partir de fotografías aéreas de las series 1946, 1970 y 1991.
- B. Determinar la relación existente entre la pendiente y la accesibilidad con la cobertura del uso de la tierra de 1991.

## **3. Metodología**

El método seguido se fundamenta en el análisis de sistemas. Se han definido unos límites de un sistema (la subcuenca del río Cabuyal), en el que se encuentran unos subsistemas (fincas) que a su vez poseen unidades en su interior definidas como usos de la tierra.

Tanto los subsistemas fincas como los usos de la tierra interactúan entre sí y con el exterior y poseen una dinámica definida por la función que cumplen cada uno de ellos: producción de alimentos para el consumo y/o para el comercio, entre otras. Esta función también depende de componentes biofísicos como los tipos de suelos, geomorfología, clima, etc.

Desde el punto de vista socioeconómico, la densidad de población, tipo de propiedad, localización, la acción de las instituciones agrícolas, las políticas micro y macroeconómicas hacia el sector, etc, inciden notoriamente en la orientación o función de estos subsistemas. Este componente es parte de los objetivos pero no se desarrolla en el presente documento.

De igual modo la subcuenca en su conjunto cumple una función en relación con la cuenca mayor en que se encuentra: aporte de agua y sedimentos, y en general en el balance hídrico de la cuenca.

#### **4. Procedimiento:**

##### **4.1 Delimitación del área de la cuenca.**

En el presente estudio, los límites del sistema lo constituyen las 22 veredas que comprenden la cuenca hidrográfica del Río cabuyal en el municipio de Caldoño en el departamento del Cauca. Son 3200 has al interior de la divisoria de aguas y 7366 has considerando los límites administrativos locales (veredas).

Las alturas mínima y máxima son de 1200 y 2200 metros sobre el nivel del mar respectivamente. Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, en la subcuenca se encuentran las zonas de vida Bosque húmedo premontano y Bosque muy húmedo premontano. El área es atravesada por la vía Panamericana que comunica Cali con Popayán a la altura del corregimiento de Pescador.

##### **4.2 Colecta y preparación de la información básica biofísica:**

###### *- Selección de las fotografías aéreas de la zona.*

Previa revisión de las líneas de vuelo disponibles para la zona, se seleccionaron las series de fotografías que cubrían un mayor porcentaje de la subcuenca. Se seleccionaron las series de los años 1945/46, 1970 y 1991 para la fotointerpretación. La serie de 1991 se utilizó como herramienta de trabajo para el levantamiento del uso actual en 1994, contando al final con las series de 1946, 1970, 1991 y 1994. En el presente estudio no se ha considerado el uso de 1994 dadas las diferencias metodológicas al momento de definir los usos de la tierra, sin embargo, es utilizado para identificar la relación de éste con la accesibilidad y la pendiente. El área seleccionada para los análisis es de 5392 has. dado que el área útil de las fotografías no corresponde entre las diferentes series de tiempo.

- *Fotointerpretación y transferencia del uso de la tierra para las series de tiempo seleccionadas.*

La fotointerpretación fue llevada a cabo por un fotointerprete de la Corporación autónoma regional para el manejo de Recursos Naturales en el Valle del Cauca (CVC), con más de 20 años de experiencia en la zona. La transferencia se realizó sobre la cartografía 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), con el uso de sketchmaster también por técnicos de la CVC. La escala de trabajo fue de 1:25.000. Existen zonas que carecen de información por inexistencia de fotografías. Por otro lado, la escala y calidad de las mismas fue un limitante para la fotointerpretación, lo que incidió en el detalle y resolución de la información: 3 has. para cada polígono de uso del suelo.

- *Definición de tipos de uso de la tierra.*

De las bases de datos de cobertura del suelo de cada serie de tiempo se elaboró la estadística y variación porcentual. Los usos del suelo producto de la clasificación de campo y consignados en la fotointerpretación se agruparon por tipos, según la cobertura que ejerce sobre el suelo, con el fin de reducir el número de clases y facilitar su análisis. Las agrupaciones conformadas se presentan en la tabla 1.

- *Conversión a formato digital.*

Los mapas con las delineaciones de los usos de la tierra fueron digitalizados en el CIAT usando el módulo de digitalización de ARC/INFO y ATLAS/DRAW. Los archivos de datos de cada una de las series se transfirieron a ARC/INFO, donde se completaron los procesos de corrección y asignación de datos alfanuméricos.

- *Digitalización de la cartografía básica.*

Paralelamente, las líneas de contorno, ríos, vías y puntos geodésicos fueron digitalizados en el CIAT con base en la cartografía a escala 1:10.000 del área de trabajo. Vale la pena resaltar que esta cartografía no corresponde a restitución 1:10.000, sino a ampliaciones de la restitución 1:25.000.

El estudio de suelos llevado a cabo por la CVC y el IGAC con mapa fuente a escala 1:50.000 también fue digitalizado. En él se encuentran las diferentes asociaciones de suelos de la región definidas por criterios geomorfológicos y de características físicas y químicas de los sitios de muestreo. De los perfiles característicos de las asociaciones de cada unidad de suelos, se identificó la profundidad promedio de la capa arable así como la textura.

## **5. Manejo y análisis de la información:**

Los resultados derivados del presente estudio hasta la fecha se relacionan en los siguientes cinco puntos:

5.1 La información del medio físico (cartografía básica del IGAC) se utilizó en un primer momento para la generación del modelo de elevación digital con el fin de generar las coberturas de pendientes del suelo. El modelo de elevación digital es la estructura física digital del terreno necesario para la realización de simulaciones de procesos físicos que suceden sobre la superficie.

Del modelo se obtuvo un mapa de pendientes que se agruparon en 4 rangos y los cuales se distribuyen así:

PENDIENTE	AREA en has.	%
<=6%	396	5
>6 =<12%	737	10
>12 =<30%	2728	36
>30 =<70%	3117	41
>70%	584	8
Total	7560	100

El total del área aquí es levemente más alto, debido a requerimientos técnicos para la construcción del modelo de elevación. Las pendientes en esta región tienen la particularidad que se acrecientan en las partes bajas mientras que en las altas predominan pendientes suaves y onduladas.

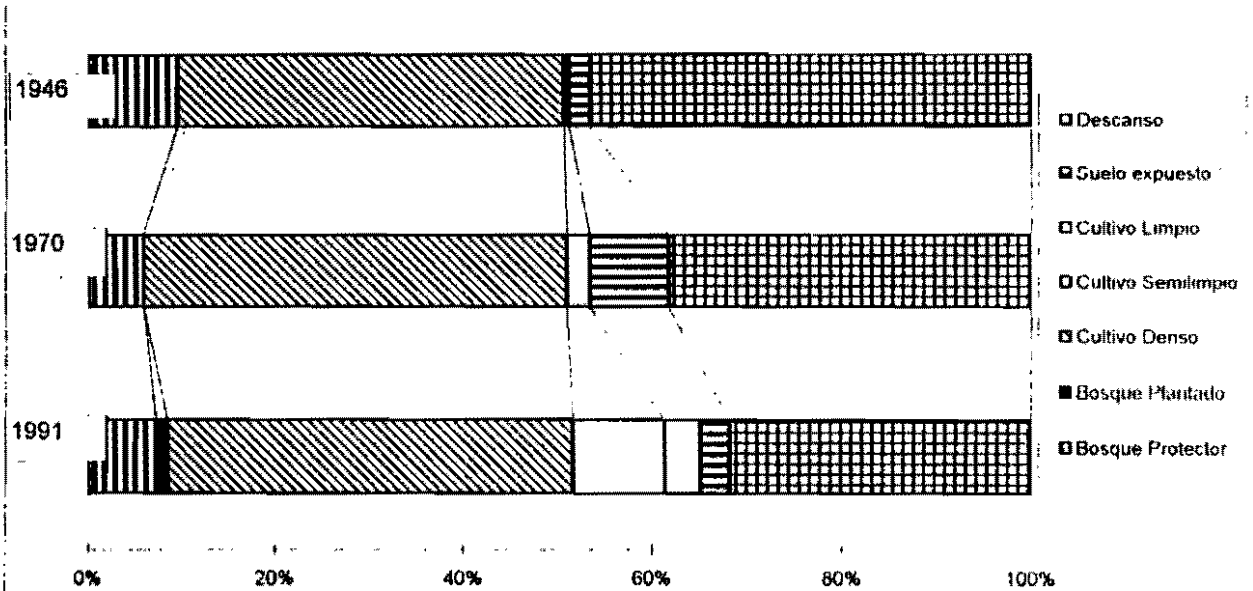
En la Figura 1 se resume esta información y en ella se puede apreciar que a lo largo de los 45 años que comprende el estudio no ha habido cambios muy significativos.

- El área dedicada al Bosque protector o Natural no ha variado en más del 2%. El Bosque plantado aparece en la última serie con un 1%, en razón de la introducción de plantaciones de Pino Kessia por parte de la Corporación Regional CVC a mediados de los años 80.
- Los cultivos Densos se han mantenido en el orden del 43 +/- 2%.
- Los cultivos semilimpios han aumentado un 8% desde 1970. En esta agrupación el café es el cultivo más representativo, muy en coherencia con la presencia que ha tenido el Comité de Cafeteros del Departamento promoviendo este cultivo en los últimos 20 años.

Fig 1. CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO - SUBCUENCA DE CABUYAL CAUCA - COLOMBIA

USO DEL SUELO	1991	1970	1946
Bosque Protector	394	318	510
Bosque Plantado	67	0	0
Cultivo Denso	2324	2429	2219
Cultivo Semilimpio	521	129	28
Cultivo Limpio	202	0	0
Suelo expuesto	170	452	124
Descanso	1714	2063	2510
TOTAL(has)	5392	5392	5392

USO DEL SUELO	1991	1970	1946
Bosque Protector	7	6	9
Bosque Plantado	1	0	0
Cultivo Denso	43	45	41
Cultivo Semilimpio	10	2	1
Cultivo Limpio	4	0	0
Suelo expuesto	3	8	2
Descanso	32	38	47
TOTAL(%)	100	100	100



- Los cultivos limpios entre los que se cuenta el frijol, la Yuca, el Tomate, etc., aparecen en la última serie con 4% del área. La ampliación y mejora de las vías de comunicación han permitido conectar esta región con los principales centros de comercio como Piendamó y Santander de Quilichao.
- En el caso del suelo expuesto, el área se incrementó hacia 1970 y volvió a iguales proporciones en 1991. Para este año el área en descanso se redujo en un 15% con relación a 1946.

5.2 De otro lado, se establecieron comparaciones entre duplas de series de tiempo así: 1946 - 1970, 1970 - 1994 para identificar el cambio de cada uno de las coberturas precedentes. Las diferentes coberturas del suelo para 1946 no cambian en más de la mitad al pasar a 1970. La excepción se presenta en los Bosques protectores que se ven reducidos en 1970 a la quinta parte de lo que eran en 1946.

- Sólo el 2% del área que en 1946 estaba en Cultivos Densos y en Descanso paso a ser Bosque protector en 1970.
- Una tercera parte de lo que estaba en Cultivos Densos y en Bosque protector pasó a Descanso en 1970.
- Todas las coberturas del suelo de 1946 tuvieron cambios hacia Cultivos Densos, especialmente aquellos que estaban en Bosque Protector y Descanso.
- Sólo en el caso de las áreas en descanso de 1946 se presentaron cambios hacia Suelo Expuesto en 1970.
- El suelo con Cultivos Semilimpios se mantiene en más del 90% pero áreas en Descanso y en Cultivos Densos fueron convertidas hacia este uso en 1970.
- Una pequeña parte del Suelo Expuesto de 1946 pasó a Cultivo Denso en 1970.

En el caso de la dupla 1970-1991 (Figura 2), los Bosques se reducen nuevamente en poco más de la tercera parte y las otras dos terceras partes pasan a ser ocupadas por Descanso y Cultivos Densos en forma similar a lo observado en la dupla 1946-1970.

- El área que se encontraba en Cultivo Denso da paso a áreas en Descanso y Cultivos Semilimpios y Limpios.
- Una cuarta parte del anterior área en Cultivos Semilimpios pasó a Cultivo Denso.
- Más de la mitad del área que estuvo en suelo expuesto pasó a ser ocupada por Cultivos Densos y Descanso. Un 5% como caso particular pasó a ser Bosque Protector.
- Los Cultivos Limpios sólo se generaron a partir de áreas diferentes a Suelo Expuesto y a Cultivos Semilimpios.
- De otro lado, Suelo Expuesto sólo aparece en áreas que estuvieron en Cultivo Denso.

Por otra parte, se identificaron los ciclos más comunes de las coberturas (por área) para el conjunto de las series de tiempo. En la Tabla 2 se presentan los ciclos o rotaciones más característicos. Los ciclos escogidos fueron aquellos que tenían la información para las tres series y aquellos que sumaban un área mayor de 60 Has. Los que sumaban menos de este valor se agruparon en el grupo "Otros", donde se presentan numerosas combinaciones pero en áreas en promedio no mayores de 1 Ha. La mayoría de las rotaciones tienen asociado el cambio de Cultivo Denso a Descanso o viceversa. Suelo Expuesto sólo aparece después de Descanso. A pesar de estar agrupados los usos del suelo, es notoria la diversidad de combinaciones que ocurren.

Con base en reconocimientos de campo se confirma el dinamismo en la rotación de cultivos y coberturas en tiempos no superiores a dos años, así como la tendencia general en el incremento de cultivos comerciales que conforman los grupos de cultivos limpios y densos.

5.3 La serie de tiempo de cobertura del suelo de 1994 se analizó en función de su correlación con la pendiente y la accesibilidad.

La Tabla 3 presenta los porcentajes de usos de la tierra en los diferentes rangos de pendiente. En todas las pendientes predominan los usos de la tierra Cultivos Densos y Descanso. Las áreas en bosque predominan en las pendientes por encima del 30%. Tanto los cultivos limpios como los semilimpios disminuyen en razón de la pendiente. El área en descanso aumenta proporcional a ésta. Suelo expuesto se encuentra en proporciones similares en todas las pendientes.

De otro lado, se generaron zonas de accesibilidad con base en la distancia euclidiana de cada punto (pixel) del interior de la subcuenca, a los centros de mercadeo y caminos más importantes. La pendiente se utilizó como criterio que limita la comunicación en línea recta. Todos los puntos adquirieron así un valor que luego de una reclasificación pasaron a formar parte de una de cuatro zonas de accesibilidad. Los porcentajes del área en cada una de las zonas se presentan a continuación:

NIVELES DE ACCESIBILIDAD	PORCENTAJE DEL AREA
BAJA	66
BAJA-MEDIA	17
MEDIA-ALTA	12
ALTA	6

Las coberturas con cultivos orientados al mercado, como son los cultivos limpios y semilimpios son las predominantes en las zonas de altas o media-alta según accesibilidad. Más del 90% del bosque total (Protector y Plantado) se encuentra en zonas de baja accesibilidad.



Las carreteras están ubicadas en las crestas de las laderas y los reductos de bosque que aún se conservan están en las hondonadas de las vertientes.

## 6. Conclusiones

Sobre la cobertura de la tierra:

- Existe una intensa dinámica de cambios en la cobertura de la tierra. La excepción la representa el área con Cultivos Densos que varía muy poco; sin embargo, en términos generales, las proporciones no cambian en forma notoria, lo que sugiere la existencia de estabilidad en el conjunto del sistema.
- El área con suelo expuesto no ha variado considerablemente, hubo un pequeño aumento en 1970 proveniente de áreas anteriormente en Descanso y Cultivo Denso.
- De igual manera, los Bosques Protectores no han variado proporcionalmente debido a la regeneración de áreas con una cobertura previa diferente (especialmente Descanso).
- Los cultivos limpios sólo aparecen en áreas que se encontraban en Descanso, Cultivo Denso o Bosque Protector.
- Existe una estrecha relación entre el uso de la tierra y los factores pendientes y accesibilidad.

Sobre la metodología:

Se identificaron puntos críticos para la realización de estudios de cambios de uso de la tierra con base en procedimientos convencionales (fotointerpretación con estereoscopio y transferencia a cartografía con Sketchmaster). Estos puntos, posibles fuentes de error o que limitan las inferencias que puedan establecerse son:

- La resolución de la fotointerpretación de fotografías a escala 1:30.000 no fue mayor a 3 has. Lo que dejó por fuera del estudio pequeñas parcelas de cultivos muy características de esta región. - El grosor en la delineación de las unidades de uso de la tierra es de una banda de 8 a 15 mts. que incide en la precisión del proceso de transferencia a la cartografía.
- Los tipos de unidades de cobertura de la tierra definidos en la fotointerpretación comprendieron un rango de tipos que incluyó desde cultivos específicos a sistemas de uso de la tierra lo que restringió la realización de comparaciones.
- Las coberturas definidas por la fotointerpretación reflejan únicamente la situación del instante en que fue tomada la fotografía y no propiamente el uso de la tierra para el año en mención, pues la cobertura vegetal a lo largo del año y para esta región cambia considerablemente.

- No todas las fotografías de cada serie de tiempo fueron tomadas el mismo año, para la parte norte de la serie de 1946, se recurrió a fotografías de 1945 lo que seguramente incidió en el tipo de cobertura identificado en la fotointerpretación.
- El uso de Sistemas de Información Geográfica es una herramienta clave para estudios de cambios de cobertura dada la versatilidad con que es posible manejar la información, realizar correcciones y ajustes, actualización y sobreposición de capas de datos.
- Para el manejo de las estadísticas extractadas de los datos, se recurrió a programas comerciales como Excel y SAS. Aunque el movimiento de archivos no es muy complejo, se hace necesario contar con este tipo de manejadores de datos en forma más cercana a las bases de datos geográficos.

Tabla 1. Agrupaciones de usos por cobertura y usos de la tierra según fotointerpretación.

USO AGREGADO	USOS EN FOTOGRAFIA
BN - Bosque protector	BN - Bosque Natural
BP - Bosque Protector - Productor	BP - Bosque Plantado
CD - Cultivos Densos	PNB (pasto natural con parcelas de árboles) PND (pasto enmalezado con parcelas de bosque) PC(pasto de corte) PN(pasto natural limpio)
CS - Cultivos Semilimpios	MS(cultivos en parcelas intercaladas de yuca, frijol, tomate, habichuela), CC(cafe), CT(citricos), FQ(fique), CN(caña de azucar)
CL - Cultivos Limpios	CL (cultivos limpios en parcelas intercaladas de yuca, tomate, habicuela, frijol..) YU (yuca), PR (tierras en preparación ) y Q (zonas quemadas)
SE - Areas de suelo expuesto	PNC(pasto natural con zona erosionada) y MR (miscelaneo rocoso), MC (misceláneo con cárcava)
RA - Descanso	RA (rastrojo), PNE (Pasto natural enmalezado)

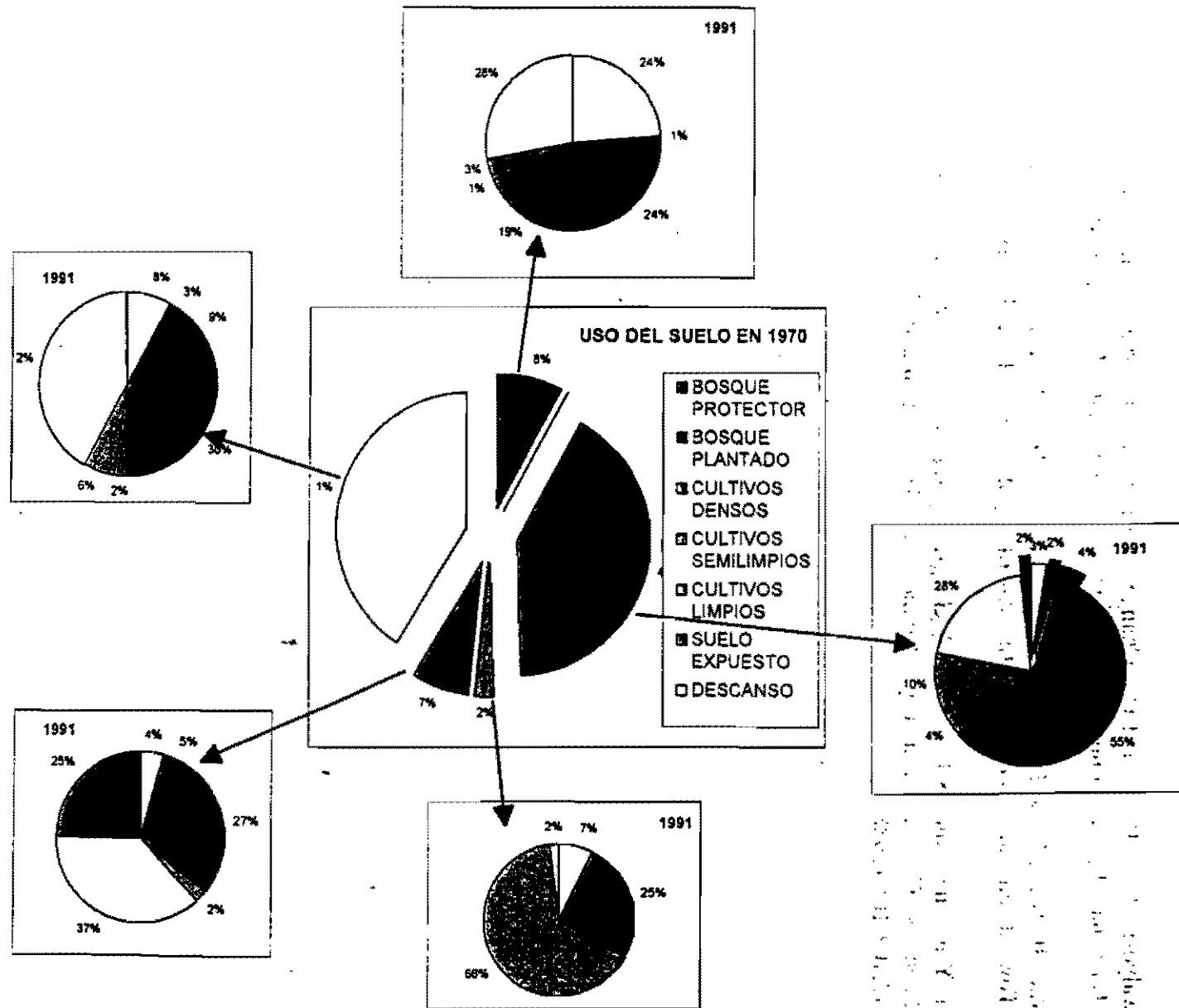
**Tabla 2. Ciclos de cambio en el uso de la tierra al interior de la subcuenca del río Cabuyal**

TIPO DE USO	AREA HAS.	FRECUENCIA
OTROS	962	976
CD/CD/CD	788	191
D/D/D	640	191
D/CD/CD	446	195
D/D/CD	385	189
CD/CD/D	243	131
CD/D/CD	238	164
CD/D/D	229	105
CD/CD/CS	1910	99
D/CD/D	190	138
D/SE/D	157	44
BP/CD/CD	150	73
D/D/BP	132	86
D/SE/CD	94	12
SE/SE/SE	89	3
CD/CD/CL	76	33
CD/D/CS	73	41
D/D/CS	71	42
D/CD/CS	71	70
BP/D/D	64	57
BP/D/CD	63	48

**Tabla 3. Porcentajes de Uso de la Tierra en rangos de pendiente**

Uso/ Pendiente	BOSQUE PROTECTOR	BOSQUE PLANTADO	CULTIVO DENSO	CULTIVO SEMILIMPIO	CULTIVO LIMPIO	SUELO EXPUESTO	DESCANSO
<6%	2.6	1.1	53.5	16.7	3.7	3.2	18.9
>6%- <12%	4.2	1.6	53.5	12.0	3.5	4.3	20.6
>12%- <30%	7.2	2.0	47.9	8.9	2.8	3.6	27.5
>30%- <70%	8.8	2.2	36.1	5.1	2.3	3.3	42.0
>70%	9.5	1.3	27.3	3.2	1.5	2.6	54.5

FIG. 2 CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA 1970 Y 1991  
SUBCUENCA DEL RIO CABUYAL - CAUCA - COLOMBIA



## 7. Bibliografia

- Blisborrow, R. E. and H.W.O. Okoth Ogeno, 1992 Population - Driven Changes in Land Use in Developing Countries. In: AMBIO Vol 23, No. 1, Feb. 1992.
- Mwalyosi, R.B. 1992 Land-Use Changes and Resource Degradation in South-West Masailand, Tanzania. In: Environmental Conservation, Vol 19, No. 2, Summer 1992.
- Turner II, B.L., W.B. Meyer and D.L., Skole. 1994. Global Land-Use/Land-Cover Change: Towards an Integrated Study. In: AMBIO Vol 23, No. 1. February 1994.
- Tan, Y.R., and Shih, S.F. 1988. A Geographic Information System for Study of Agricultural Land-Use Changes in St. Lucie County, Florida. In: Soil and Crop Society. Fla. Proc. 47:102-105 (1988).