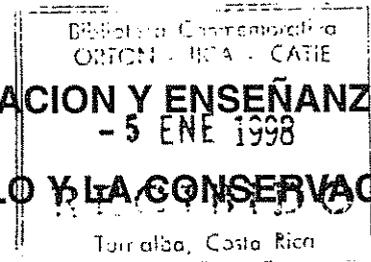


CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSTGRADO



**ANÁLISIS DE LA RELACION AMBIENTAL Y FINANCIERA DE LA
DINAMICA DEL USO DE LA TIERRA EN LA FINCA COMERCIAL DE CATIE,
TURRIALBA, COSTA RICA**

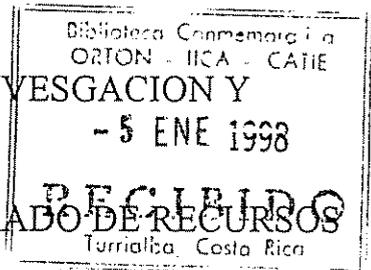
POR

MARCO JONATHAN LAINEZ ORDOÑEZ



Turrialba, Costa Rica
1997

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y
ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA MANEJO INTEGRADO DE RECURSOS
NATURALES AREA DE POSTGRADO.



ANÁLISIS DE LA RELACION AMBIENTAL Y FINANCIERA DE LA
DINAMICA DEL USO DE LA TIERRA EN LA FINCA COMERCIAL DE
CATIE, TURRIALBA, COSTA RICA.

Tesis sometida a la consideración del comité técnico académico del programa de estudios de postgrado en ciencias agrícolas y recursos naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza para optar al grado de

Magister Scientiae

por

Marco Jonathan Láinez Ordoñez

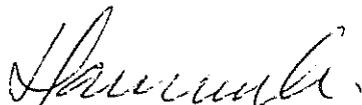
TURRIALBA, COSTA RICA

1997

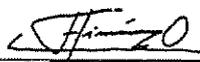
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la jefatura del Area de postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el comité asesor del estudiante como requisitos parciales para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



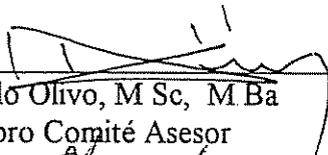
Jorge Faustino, Ph.D.
Profesor Consejero



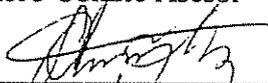
Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



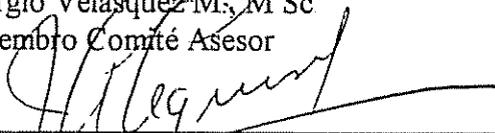
Octavio Ramírez, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



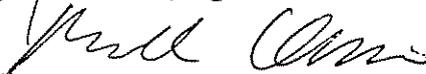
Rómulo Olivo, M.Sc., M.Ba.
Miembro Comité Asesor



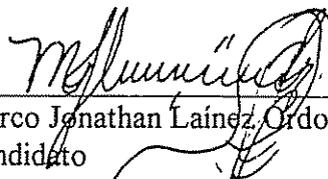
Sergio Velásquez M., M.Sc.
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre, Ph.D.
Jefe Area de Postgrado



Markku Kanninen, Ph.D.
Director, Programa de Enseñanza



Marco Jonathan Láinez Ordoñez
Candidato

DEDICATORIA.

“Instruye al niño en su camino y aun cuando fuere viejo no se apartara de el”

Proverbios 22:6

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

Filipenses 4:13.

A Dios, ser supremo que con su infinita gracia fortalece mi espíritu y alumbró mi entendimiento.

A mi hija Alba Stefania por llenar mi vida de ternura y alegría en los momentos más difíciles de arduo trabajo.

A mi esposa Leila Orellana por ser tan comprensiva y una ayuda idónea para mi vida personal como profesional.

A mi Abuela Lidia Hilda Aguilar por tener confianza en mí y apoyarme en todo lo que he emprendido, aconsejándome sabiamente siempre.

A mis padres Marco Tulio Láñez Naira y Alba Lidia Ordoñez Aguilar por ser mis forjadores, por medio de el ejemplo de honestidad y trabajo a lo largo de mi vida.

A mis hermanos (Jairo Enrique y Marco Tulio), tíos (Hilda Ordoñez, Fausto Aguilera, Cora Ordoñez), primos (Cora Praticia, Ramón Adolfo, Lidia María, Enma Lucía, Ana Lucía), y familiares en general por su aliento en todo momento.

A toda la gente que trabaja para producir la azúcar y el café que consumimos todos los días.

AGRADECIMIENTO

A mi consejero Jorge Faustino Ph.D., por ser además un buen amigo proporcionándome consejos importantes para mi vida personal como profesional ayudando a mi formación profesional siendo profesor en la especialidad de Manejo de cuenca hidrográficas.

A Rómulo Olivo M. Sc., miembro de mi comité, por su valiosos consejos y colaboración facilitando la recolección de la información de la finca de CATIE pertinente para la realización de este estudio.

A Octavio Ramírez Ph. D., miembro de mi comité, por su valiosa ayuda en la ejecución de los modelos predictivos de los rendimientos y sus comentarios acertados a cerca de la ejecución de este trabajo, y por ser profesor en el área de economía ambiental proporcionandome Conocimientos importantes en mi formación profesional.

A Francisco Jiménez Ph.D., miembro de comité por su apoyo conocimiento y amistad brindada y sus valiosos comentarios en la ejecución del trabajo.

A Sergio Velázquez M.Sc., miembro de comité por su apoyo conocimiento y amistad ayudando a la realización de los mapas temáticos y análisis espacial de la finca de CATIE con los sistemas de información geográfico SIG.

A Cristoph Kleinn y Jony Pérez por su valiosa colaboración en la realización de los análisis estadísticos e interpretación de los resultados.

A Marcos Chaves director ejecutivo de DIECA por su valiosa ayuda en la definición de los requisitos para la construcción de los modelos de caña.

A Guillermo Ramírez investigador de ICAFE y Floria Bertsh investigadora CIA por su valiosa ayuda en la definición de los requisitos para la construcción de los modelos de café.

A Arnoldo Barrantes, Max Pinar, Frank Jeiminson, por su colaboración en la obtención de la información de finca de CATIE.

A Roberto Castro, Oscar Ureña, por su colaboración en la obtención de la información de la finca de Atirro y Florencia.

A Alex Sanabria por su colaboración técnica en el laboratorio de SIG.

A mis compañeros del área de cuencas Eddy Morales, Yaquie Siles, Elvis Olivares, por ser bien unidos y demostrar solidaridad en todo momento.

A Lorena Jiménez secretaria de cuencas por llevar mi expediente y ayudarme desinteresadamente cuando le solicite.

A toda la mara Hondureña (Mina, Lorena, Mireya, Yaquie, Leila, Elena, Magi, Sinson, Rafa).

A programa de becas de Holanda y el departamento de becas de Recursos Naturales de Honduras a su ministro Ing. Ramón Villeda Vermudez a su director Lic Javier Mendoza García, y a mi amigo Mauricio Herrera Nuñez por su ayuda desinteresada en la obtención del financiamiento adicional para la realización de mis estudios en el CATIE .

A todos los expertos que con su valiosa y desinteresada colaboración aportaron sus conocimientos en la ejecución de los modelos de evaluación de tierras.

LAINEZ, M. J. 1997. Financial and environmental relation analysis of dynamic land use on CATIE's commercial farm, Turrialba, Costa Rica. Thesis M. Sc. Turrialba, C. R., CATIE.

Key words: land evaluation, physical aptness, expert systems, evaluation model, sustainable indicator, sustainability, financial analysis, canonic variable.

SUMMARY

This study evaluates the financial and environmental relation, on CATIE's commercial farm, located in Turrialba, Costa Rica. It's objective is to determine and characterize conflict areas, limited according to land use aptness, caused by change in use (from pastures to sugar cane and coffee); identify and evaluate impact effects on biophysical soil and water characteristics and yields influenced by change in use; evaluate financial profitability related to land use changes.

Areas with homogenous characteristics were identified by superimposing base maps of each of the indicators of biophysical soil characteristics, chemical characteristics [(pH, extractable acid, calcium, magnesium, potassium, phosphorus, nitrogen, CIC (CIC and bases) base saturation percentages, acid saturation percentages, nitrate (NH₄-N) and ammonia (NO₃-N), organic material], and physical characteristics [suitable density, texture]. The biological activity was evaluated by counting the soil's amount of worms, twelve homogeneous cartography units were found with these characteristics.

Based on these characteristics, with the canonic discriminant analysis and Kruskal Wallis' test, lands currently cultivated with coffee, sugar cane and pastures were found to present statistical differences for pH, calcium, extractable acid, magnesium and carbon, finding two canonic variables. The first one summarizes soil fertility formed by pH, calcium, magnesium, and carbon, influencing in a positive way and the extractable acid in a negative way. The second canonic variable summarizes the soil's biological activity, formed by worms and carbon, influencing in a positive way.

A comparative study was carried out with the results of soil analysis made during 1971 and 1997, finding that significant statistical negative changes existed at α of 0.01 for CIC and sodium, positive for phosphorous, potassium, base saturation and suitable density. These statistically detected changes don't influence technically to define fertility rank changes of those soils.

On four points of the farm, water samples were taken during May and October, through Kruskal Wallis' test statistical differences at α of 0.01 for nitrate NO₃-N and ammonia NH₄-N were found. Using as discriminant variable the sample month, identifying a decreasing tendency from May to October, which could be influenced by fertilizers applied.

The same analysis was made, using as discriminant variables the four sample points, finding significant statistical differences at α of 0.01 for solid, dissolved and interrupted totals. The entrance point presented the highest values, followed by the intermediate point and the farm's exit point, the lowest values were found at the forest point.

Studying sugar cane yields, sensibility was statistically verified by regression models for sugar cane harvest, harvest month, and soil aptness and plantation age variables. Through Fausmann's formula an optimal economic period was found to renew three-year old sugar cane. For coffee yields, sensibility was statistically verified by regression models for harvest year and plantation age variables.

By using global position systems (GPS) and geographic information systems (GIS), actual uses of the areas studied were identified up to June 1997: 35.8% of the farm is cultivated with sugar cane, 13.7% cultivated with coffee and the remaining 50.5% has other uses.

Evaluating physical aptness for mapped units cultivated with sugar cane, 62% of the area was found to have moderate aptness, 21% very apt and 17% lightly apt. Sugar cane cultivation system (*Sacharum officinarum*) of Pindar variety, demonstrated to have minor financial aptness than the Q86 variety. Cartography units cultivated with coffee (*Coffea arabica*) with the three expert systems; coffee with laurel, citrus fruits and macadamia: showed that 70% of these areas presented a moderate physical aptness, and the remaining 30% a light physical aptness. Agroforestry systems with coffee, laurel and poro demonstrated major economic aptness than the agroforestry systems with coffee-citrus and coffee-macadamia.

An "expost" financial analysis was carried out utilizing financial statements from 1984 to 1997, for this period, coffee cultivation present the highest financial indicators, followed by sugar cane and subsequently, by livestock production systems, which financially justifies land use change.

With the information provided by the biophysical soil and water characteristic analysis, coffee and sugar cane cultivation yields, physical and economic aptness, we can affirm that CATIE's farm, presents stable biophysical soil and water characteristics, and profitability through time, presenting characteristics of a potentially sustainable farm.

LAINEZ ORDOÑEZ, M. J. 1997. Análisis de la relación ambiental y financiera de la dinámica del uso de la tierra en la finca comercial de CATIE Turrialba Costa Rica.

Palabras claves: evaluación de tierras, aptitud física, sistemas expertos, modelo de evaluación, indicador de sostenibilidad, sostenibilidad, análisis financiero, variable canónica.

RESUMEN

El presente trabajo de evaluación de la dinámica del uso de la tierra a partir de indicadores de sostenibilidad ambientales y financieros, se realizó en la finca de comercial de CATIE, Turrialba, Costa Rica, con la finalidad de determinar y caracterizar las áreas en conflicto limitadas de acuerdo a la aptitud de uso ocasionadas por el cambio de uso de la tierra de pasto a caña y café, identificar y evaluar el efecto de los impactos sobre las características biofísicas del suelo, agua y los rendimientos influenciados por el cambio de uso, evaluar la rentabilidad financiera relacionada al cambio de uso de la tierra.

Se identificaron áreas con características homogéneas por medio de sobreposición de mapas bases de cada uno de los indicadores de las características biofísicas del suelo, características químicas [pH, acidez extraíble, calcio, magnesio, potasio, fósforo, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónica (CIC y bases), porcentajes de saturación de bases, porcentaje de saturación de acidez, nitrato (NH₄-N) y amonio (NO₃-N), materia orgánica], características físicas [densidad aparente, textura]. La actividad biológica fue evaluada por medio del conteo de lombrices en el suelo, con estas características se encontraron 12 unidades cartográfica homogéneas.

En base a estas características con el análisis discriminante canónico y la prueba de Kruskal Wallis se encontró que los suelos cultivados actualmente por café, caña y pastos presentaron diferencia para pH, calcio, magnesio, carbono, Encontrando dos variables canónicas. La primera resume la fertilidad del suelo compuesta por pH, calcio, magnesio, carbono, influyendo en forma positiva y la acidez extraíble en forma negativa. La segunda variable canónica resume la actividad biológica del suelo compuesta por lombrices y carbono influyendo en forma positiva.

Se efectuó un estudio comparativo de los resultados de los análisis de suelos realizados en 1971 y 1997 encontrando que existieron cambios negativos significativos estadísticamente a un α de 0.01 para CIC y sodio, positivos para fósforo, potasio, saturación de bases, y densidad aparente, estos cambios que estadísticamente se detectaron no influyen técnicamente para definir que los rangos de fertilidad de esos suelos han cambiado.

Se realizó muestreos de agua en cuatro puntos de la finca, realizando cuatro muestras desde mayo a octubre encontrando que al realizar el análisis estadísticos mediante la pruebas de Kruskal Wallis diferencias estadística a un α de 0.01 para nitrato NO₃-N, amonio NH₄-N, usando como variable discriminante el mes de ejecución del muestreo identificando una tendencia decreciente desde mayo a octubre influenciado por la aplicación de fertilizantes.

También se realizó el análisis usando como variable discriminante los cuatro puntos de muestreo encontrando que existió diferencias estadística significativas a un α de 0.01 para sólidos totales, disueltos y suspendidos, en donde el punto de la entrada presentó los valores más altos seguido de los punto intermedio y el punto ubicado en la salida de la finca, encontrándose los valores más bajo en el punto de muestreo en el bosque.

Al estudiar los rendimientos de caña se encontró que presentan sensibilidad comprobada estadísticamente por los modelos de regresión para las variables tipo de zafras, mes de cosecha, aptitud de la tierra y edad de la plantación, encontrándose por medio de la fórmula de Faussman un periodo óptimo económico para la renovación de la caña de 3 años. Para los rendimientos de café se encontró que estos presentan sensibilidad para las variables variedad, año de cosecha, y edad de la plantación comprobada estadísticamente por medio de los modelos de regresión

Se identificaron los usos actuales hasta junio de 1997 áreas en estudio por medio del sistema de posicionamiento global GPS y el sistema de información geográfica SIG, encontrando que el 35.8% de área total de la finca, se encuentra cultivada de caña, el 13.7% cultivada de café, y el 50.5% restante se encuentra destinada a otros usos.

Evaluando la aptitud física para las unidades de mapeo cultivadas de caña se encontró que 62% del área cultivada tiene una aptitud moderada, el 21% muy apta, y el 17% ligeramente apta. El sistema de cultivo de caña (*Sacharum officinarum*) variedad Pindar demostró tener una menor aptitud financiera que la variedad Q96. Las unidades cartográficas cultivadas de café (*Coffea arabica*) para los tres sistemas expertos, café con laurel, cítricos y macadamiasse encontró que el 70% de estas áreas presentaron una aptitud física moderada, y el 30% del área presentó una aptitud física ligera. El sistema agroforestal con café laurel y poró demostró una aptitud económica mayor que los sistemas agroforestales de café con cítricos, y café con macadamia.

Se realizó un análisis financiero ex post usando los estados financieros de 1984 - 1997 encontrando que para ese período los cultivos de café presentan indicadores financieros más altos seguido de caña y posteriormente de los sistemas de producción pecuario, lo que financieramente justifica el cambio de uso de la tierra.

Con la información proporcionada por los análisis de las características biofísica del suelo y el agua, los rendimientos de los cultivos café y caña, aptitud física y económica, podemos decir que la finca de CATIE, presenta características biofísica de suelo y agua estables, y rentabilidad a través del tiempo, presentando características de sostenibilidas.

RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- JUSTIFICACIÓN.....	2
II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	4
III.- HIPOTESIS.....	5
IV.-REVISION DE LITERATURA.....	6
4.1 - MANEJO DEL USO DE LA TIERRA.....	6
4.1.1.- <i>Capacidad y uso apropiado del la tierra.</i>	7
4.1.2.- <i>Planificación del uso de la tierra.</i>	8
4.1.3.- <i>Cambios del uso de la tierra como posible indicador del desarrollo sostenible.</i>	9
4.2.- SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y SU IMPORTANCIA EN LA EVALUACION DEL USO DE LA TIERRA.	11
4.3 - SISTEMAS AUTOMATIZADO PARA EVALUACIÓN DE TIERRAS (ALES).....	12
4.3.1.- <i>Procedimiento de evaluación de tierras en ALES</i>	13
4.3.1.1.- <i>Aspectos físicos.</i>	13
4.3.1.2.- <i>Aspectos biológicos.</i>	14
4.3.1.3.- <i>Aspectos económicos</i>	14
4.4 - ESTUDIO AMBIENTAL.....	15
4.3.1.- <i>Estudio de prefactibilidad ambiental.</i>	15
4.3.2.- <i>Estudio de factibilidad ambiental.</i>	16
4.3.3.- <i>Estudio de impacto ambiental.</i>	16
4.3.3.1.- <i>Impacto ambiental</i>	16
4.3.3.2.- <i>Impactos asociados a proyectos de inversión agrícola.</i>	18
4.3.3.3.- <i>Herramientas para predecir y evaluar impactos ambientales.</i>	19
4.4.- ANÁLISIS FINANCIERO EN PROYECTOS AGRICOLAS.	19
4.4.4.1 - <i>Medidas e indicadores de evaluación financiera que consideran el efecto del tiempo</i>	21
4.4.1.1.- <i>Valor actual neto (VAN).</i>	21
4.4.1.2.- <i>Tasa interna de retorno (TIR).</i>	22
4.4.1.3.- <i>Relación beneficio costo (B/C).</i>	24
4.4.2.- <i>Análisis de sensibilidad.</i>	25
V.- MATERIALES Y METODOS.....	26
5.1.- AREA DE ESTUDIO.....	26
5.1.1.- <i>Características biofísica del área de estudio.</i>	26
5.1.1.1.- <i>Roca madre</i>	26
5.1.1.2.- <i>Relieve</i>	27
5.1.1.3.- <i>Clima</i>	28
5.1.1.4.- <i>Vegetación</i>	28
5.2.- MATERIALES Y EQUIPO.....	31
5.3.- METODOLOGIA PARA EL ESTUDIO.....	31
5.4.- ETAPAS DE PROCEDIMIENTOS METODOLOGICOS.....	35
5.4.1.- <i>I ETAPA : Elaboración de los mapas requeridos para el estudio.</i>	35
5.4.2.- <i>II ETAPA : Recolección de los datos de las principales características biofísica del suelo y agua.</i>	38

5.4.3.- III ETAPA : Análisis de las características biofísica de las del suelo y de productividad de caña en los lotes de la finca de CATIE.....	39
5.4.3.1.- Descripción de la población.....	39
5.4.3.2.- Análisis de la productividad de las Areas en estudio.....	40
5.4.3.3.- Análisis de impactos del cambio del uso de la tierra sobre las características biofísica del suelo.....	44
5.4.4.- IV ETAPA : Análisis financiero de los diferentes sistemas de producción.....	45
VI.- RESULTADOS Y DISCUSION.....	47
6.1. ANALISIS DEL USO ACTUAL DE LA TIERRA.....	47
6.1.1.- Cultivo de caña.....	48
6.1.1.1.- Manejo del cultivo.....	49
6.1.2.- Cultivo de café.....	50
6.1.2.1.- Manejo del cultivo.....	51
6.1.3.- Otros usos de la tierra.....	52
6.1.2.- Mapa de uso actual de la tierra.....	53
6.2.- ANALISIS DE LA SITUACION DE LAS CARACTERISTICA BIOFISICAS DE SUELO Y AGUA COMO INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.....	55
6.2.1.- Análisis de las características biofísicas del suelo.....	55
6.2.1.1.- Comparación de las características del suelo para los diferentes tipos de uso de la tierra.....	55
6.2.1.2.- Análisis de la influencia de los años de cultivo sobre las características biofísica del suelo para los diferentes sistemas de cultivo.....	59
6.2.1.3.- Comparación puntual en el tiempo de las características biofísicas del suelo (1971 vrs 1997).....	65
6.2.3.- Análisis de las características biofísicas del agua en los sistemas de drenaje natural en la finca.....	68
6.2.3.1.- Análisis de las diferentes características en el tiempo de mayo a octubre.....	69
6.2.3.2.- Análisis de las características del agua estudiada para los diferentes puntos de muestreo.....	77
6.3.- ANALISIS DE LOS RENDIMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.....	81
6.3.1.- Análisis de los rendimientos de caña.....	81
6.3.1.1.- Análisis estadístico de los rendimientos de la caña.....	82
6.3.1.1.1.- Evaluación del modelo definitivo.....	84
6.3.2.- Análisis de los rendimientos de café.....	92
6.3.2.1.- Análisis estadístico de los rendimientos de café.....	93
6.4 - APTITUD DE USO DE LA TIERRA.....	96
6.4.1.- Unidades de mapeo homogéneas en la finca.....	97
6.4.2.- Sistemas Expertos.....	100
6.4.3.- Cualidades y requisitos de los uso de la tierra.....	101
6.4.3.1.- Cualidades y requisitos de uso de la tierra para caña.....	101
6.4.3.2.- Cualidades y requisitos de uso de la tierra para café.....	105
6.4.4.- Evaluación de aptitud física.....	109
6.4.4.1.- Aptitud física para caña.....	110
6.4.4.2.- Aptitud física para café.....	114
6.4.5.- Evaluación de aptitud económica.....	117
6.4.4.1.- Análisis de los indicadores financieros.....	117
6.4.4.3.- Análisis financieros expost de los tipos de uso de la tierra café, caña y pastos para producción pecuaria.....	127
6.4.4.4.- Análisis del turno optimo económico de renovación de los sistemas de cultivo café y caña.....	129
VII. CONCLUSIONES.....	131
VIII. RECOMENDACIONES.....	133
IX BIBLIOGRAFÍA.....	135
X. ANEXOS.....	140

INDICE DE CUADROS

Nº	TITULO	PAGINA
1	Valores de F y probabilidades en la comparación de las principales variables para los usos de la tierra: café, caña y pastos.	56
2	Estructura total de las variables canónicas en comparación para los tres diferentes usos de la tierra con las principales características biofísicas del suelo estudiadas.	57
3	Análisis de los resultados de la comparación univariada de las principales características biofísicas del suelo influenciado por los años de cultivo en las parcelas de café.	60
4	Estructura total de las variables canónicas para los cuatro diferentes grupos de edades de cultivo en los sistemas de café.	61
5	Análisis de los resultados de la comparación univariada de las características de suelos y estructura total de las variables canónicas usando como factor discriminante los años de cultivo en las parcelas de caña.	64
6	Análisis estadísticos de las variables comparadas entre 1971 y 1997.	65
7	Comparación de los valores promedios de las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas entre los muestreos de 1971 y 1997.	66
8	Análisis estadísticos para las características de agua estudiadas en cuatro puntos de muestreo comparadas en base al mes de muestreo de mayo, julio, Septiembre, Octubre de 1997.	69
9	Análisis estadísticos para las características de agua estudiadas, comparadas en base a los diferentes puntos de muestreo entrada, intermedio, salida, bosque 1997.	77
10	Resultado del análisis de varianza del modelo definitivo modificado.	85
11	Análisis estadísticos de los coeficientes individuales en el modelo.	86
12	Comparación de los diferentes escenarios con respecto a una situación ideal.	91

13	Resultado del análisis de varianza del modelo definitivo.	94
14	Análisis estadísticos de los coeficientes individuales en el modelo.	94
15	Áreas de la finca que conforman las unidades de mapeo homogenizadas en base a las principales características de la tierra.	98
16 a	Requisitos de uso de la tierra para caña variedad (Pindar y Q96) tecnificada en la finca de CATIE.	102
16 b	Requisitos de uso de la tierra para caña variedad (Pindar y Q96) tecnificada en la finca de CATIE.	103
17	Factores multiplicativos de los rendimientos proporcionales de azúcar para las variedades Pindar y Q96.	104
18 a	Requisitos de uso de la tierra para los sistemas de café con sombra tecnificado.	106
18 b	Requisitos de uso de la tierra para los sistemas de café con sombra tecnificado.	107
19	Factores multiplicativos de los rendimientos proporcionales para la producción de café en grano.	108
20	Resultados de los indicadores financieros para los sistemas de uso de la tierra (caña variedad Pindar y Q96) por unidad de mapeo.	118
21	Resultados de los indicadores financieros para los sistemas de uso de la tierra (café con macadamia, café con cítricos, café con laurel) por unidad de mapeo.	120
22	de aptitud financiera de las unidades cartográfica para los modelos evaluados.	121
23	Periodo óptimo de renovación de caña por escenarios.	130

INDICE DE FIGURAS

Nº	TITULO	PAGINA
1	Mapa del área de estudio.	30
2	Gráfica de áreas para los diferentes usos actuales de la tierra en la finca comercial de CATIE.	47
3	Gráfica de áreas para los diferentes sistemas de café cultivados en la finca de CATIE.	51
4	Mapa de uso actual de la finca de CATIE hasta junio de 1997.	54
5	Gráfica de la variable <i>canónica 1</i> vrs la variable <i>canónica 2</i> que nos ayudan a separar de mejor forma los suelos de acuerdo a los diferentes tipos de usos de la tierra.	59
6	Gráfica de la variable <i>canónica 1</i> vrs la variable <i>canónica 2</i> que nos ayudan a separar de mejor forma los suelos de acuerdo al factor discriminante años de cultivo en las parcelas de café.	63
7	Sólidos totales en los diferentes puntos de mayo a octubre de 1997.	70
8	Sólidos disueltos en los diferentes puntos de muestreo de mayo a octubre de 1997.	72
9	Sólidos suspendidos en los diferentes puntos de muestreo de mayo a octubre de 1997.	73
10	Contenido de amonio (NH ₄ -N) en los diferentes puntos de muestreo de mayo a octubre de 1997.	75

11	Contenido de Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) en los diferentes puntos de muestreo de mayo a octubre de 1997.	76
12	Características físicas en los diferentes puntos de muestreo de la finca.	78
13	Características químicas en los diferentes puntos de muestreo de la finca.	80
14	Escenarios más importantes para el cultivo de caña basado en el modelo de regresión.	88
15	Escenarios más importantes para el cultivo de café basado en el modelo de regresión.	95
16	Mapa de unidades de mapeo homogéneas.	99
17	Áreas de aptitud física para caña los modelos de caña variedad Pindar y Q96.	110
18	Mapa de la aptitud física para caña variedad (Pindar y Q96).	113
19	Aptitud física de las áreas evaluadas en la finca para los tres sistemas agroforestales de café.	114
20	Mapa de aptitud física para café con sombra.	116
21	Mapa de evaluación de aptitud económica para las áreas cultivadas de caña variedad Pindar.	123
22	Mapa de evaluación de aptitud económica para las áreas cultivadas de caña variedad Q96.	124
23	Mapa de evaluación de aptitud económica para las áreas cultivadas de café con cítricos y macadamia.	125
24	Mapa de evaluación de aptitud económica para las áreas cultivadas de café con laurel y poró.	126
25	Valores actuales netos por tipo de uso de la tierra (período expost 1984-1996).	127

26	Relación beneficio costo por tipo de uso de la tierra para el periodo expost 1984 - 1996.	128
----	----------------------------------------------------------------------------------------------	-----

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico, es con frecuencia, altamente dependiente de la sostenibilidad del medio ambiente y de los recursos naturales para proveer bienes y servicios que generan beneficios socioeconómicos. El desarrollo económico es frecuentemente acompañado por impactos adversos significativos en el medio ambiente, por lo cual se ha formado la creencia que el crecimiento económico y la conservación de los recursos son dos procesos antagónicos (Azqueta, 1995).

Los criterios del desarrollo sostenible y las alternativas de manejo del uso de la tierra demuestran, que es posible obtener un mayor beneficio económico sin deterioro de los recursos naturales que usamos; ésta debería ser la principal característica de un sistema de producción a nivel de finca para asegurar su rentabilidad continua y permanente.

Para verificar si una finca tiene un manejo adecuado, existen diferentes formas de analizarla entre las cuales está contrastar el uso actual con el uso potencial de la tierra. Esto permite identificar las áreas de sobre-uso y sub-uso de los recursos, lo que puede acarrear pérdidas de orden financiero en el caso de sub-uso por los costos de oportunidad que la tierra posee con base en otros sistemas de producción; graves problemas ambientales y pérdidas económicas en el caso de sobre-uso.

Actualmente los sistemas expertos de evaluación de uso de la tierra como (ALES) dan una mejor perspectiva del manejo que se le debe dar a una finca para determinados sistemas de producción ya que evalúa la aptitud física y económica a determinadas condiciones de mercado y manejo. Este tipo de método de evaluación de tierras permite establecer una mayor aplicabilidad en el futuro, ya que si las condiciones de mercado, manejo y otros factores cambian, que es lo normal, el sistema se ajusta, a una perspectiva de análisis dinámica.

Este trabajo pretende evaluar la rentabilidad financiera y sostenibilidad ambiental de los principales cambios de uso de la tierra que se han efectuado en la finca de CATIE en los últimos años. Se evaluó en forma cuantitativa las principales características biofísicas del suelo y de esta manera se identificaron los impactos ecológicos de las prácticas utilizadas en los sistemas productivos, su influencia y repercusiones tanto dentro como fuera de la finca.

En una finca o una plantación privada el interés básico está sujeto a determinar la rentabilidad de la inversión. En este caso se realizará un análisis financiero en lugar de un análisis económico, y se debe utilizar una tasa de descuento comercial y precios reales, corrientes y proyectados (Ritchers, 1995).

El análisis financiero de un sistema de producción en una finca determinada, complementado con información concerniente al estado dinámico de las características biofísicas de la base de los recursos naturales nos proporciona pautas para poder realizar un análisis de la eficiencia financiera y ambiental de un sistema de producción agrícola.

Todos estos conceptos relacionados con el propósito de lograr una producción con mayores beneficios económicos, sin deterioro de los recursos naturales encajan claramente dentro del concepto moderno de manejo sostenible del uso de la tierra, como sistema fundamental para el desarrollo global de un país, donde se planea el desarrollo del hombre sus actividades y relaciones con la naturaleza, considerando la finca como unidad de acción y manejo para el logro de los objetivos a nivel individual y de manejo global de todos los recursos relacionados con la producción agrícola y sostenibilidad ambiental.

1.1.- JUSTIFICACIÓN

Existe en la región centroamericana un acelerado proceso degradante de los recursos naturales influenciados por el uso de la tierra en forma inadecuada, lo cual afecta la productividad, rentabilidad, sostenibilidad social y ambiental.

Por lo tanto, es importante conocer cuales son las relaciones básicas entre la productividad y la conservación ambiental, a fin de poder tomar decisiones e implementar la aplicación de tecnologías apropiadas y eficientes en los diferentes sistemas de producción. Además en Centro América se está generando un proceso de degradación del suelo, el que en muchos casos se debe a conflictos de uso de la tierra (sub-uso, sobre-uso) (Leonard, 1987).

En relación a lo anterior se planteó lo siguiente:

JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Las alternativas u opciones tecnológicas que existen para manejar en forma sostenible los diferentes sistemas de producción, requieren ser evaluadas para conocer la eficiencia del uso de la tierra, su manejo, conflictos y efectos negativos sobre el ambiente. En los últimos años CATIE tomó la decisión de cambiar el uso de la tierra parte de su finca comercial, pasando de pastos o charrales a caña y café. Estos cambios ameritan un análisis de los efectos ambientales y las relaciones financieras que se producen.

Técnicamente es factible realizar una evaluación de cambios de uso de la tierra desde el punto de vista agronómico y biofísico, tal como de pastos a caña y café, mediante la evaluación automatizada de tierras con el programa (ALES), y de esta manera definir las áreas que se encuentran en los diferentes estados de aptitud física y económica de acuerdo al uso actual que se esta generando en la finca. También es factible determinar los efectos ocasionados por el cambio de uso de la tierra en las características biofísicas del suelo tales como pH, capacidad de intercambio de cationes, materia orgánica, fertilidad en base a elementos mayores (N, P, K, Ca, Mg), textura, densidad aparente como indicadores físicos, a nivel de finca para sustentar si la decisión fue apropiada o cuales serian los ajustes necesarios.

JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La finca del CATIE puede ser una pauta a seguir como ejemplo para lograr una producción sostenible en la zona, integrándose a los procesos de transferencia y extensión de técnicas de producción sostenible, permitiendo de esta manera facilitar la capacitación de técnicos y productores de manera práctica y directa sobre las tecnologías de manejo de la tierra y sus beneficios ambientales y económicos.

JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Desde el punto de vista económico fue importante la realización de este estudio ya que de esta manera se identificaron los sistemas de producción de la finca que tienen una mayor rentabilidad y sostenibilidad en el tiempo, determinando la optimización de los recursos disponibles para el desarrollo de la zona y del país. Con este estudio se evaluó la rentabilidad de las unidades de tierra en las cuales se ha dado el cambio de uso de pastos a caña y relacionar esta rentabilidad a cambios biofísicos y ambientales.

II.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO

OBJETIVO GENERAL.

- Analizar la sostenibilidad ambiental y económica del cambio de uso de la tierra en los sistemas de producción café y caña en la finca de CATIE, por medio del análisis de las principales características biofísicas del suelo, agua, aptitud física y financiera de la tierra y los rendimientos a lo largo del tiempo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar y caracterizar las áreas en conflicto limitadas de acuerdo a la aptitud de uso de la tierra ocasionadas por el cambio de uso de la tierra de pasto a caña y café, en la finca del CATIE.
2. Identificar y evaluar el efecto de los impactos sobre las características biofísicas del suelo, agua y los rendimientos influenciados por el cambio de uso de la tierra de pasto a caña y café, en la finca del CATIE.
3. Evaluar la rentabilidad financiera relacionada al cambio de uso de la tierra de pastos a caña y café, a nivel de finca.

III.- HIPOTESIS.

1. Los cambios de uso de la tierra de pastos a caña y café, en la finca del CATIE, no presentan conflictos de aptitud de uso de la tierra de tipo biofísico y económico, que limiten la sostenibilidad de la productividad de la finca.
2. No se presentan efectos desfavorables sobre las características biofísicas del suelo y agua, producidos por los cambios de uso de la tierra en los sistemas de producción agrícola de pastos a caña, en la finca del CATIE.
3. Los cambios de uso de la tierra de pastos a caña y café han incrementado la rentabilidad en las unidades de producción a nivel de finca en el CATIE.

IV.-REVISION DE LITERATURA.

4.1.- MANEJO DEL USO DE LA TIERRA.

Richters (1995), define el manejo del uso de la tierra como, la actividad cuya meta es la determinación, el establecimiento y el mantenimiento de una combinación socioeconómica relevante de sistemas de producción en una zona determinada, tomando en cuenta el uso potencial para un manejo sostenible que tiene la tierra en el lugar afectado.

La degradación de suelo no solo afecta a la agricultura y a los recursos hidráulicos, sino que además, altera otros sectores de la economía y en general a todo el medio ambiente. De ahí la necesidad de detener e invertir estos procesos degradantes mediante el manejo sostenible de los suelos, lo cual no sólo es de interés del medio rural sino también del medio urbano (Faustino, 1996).

Con el incremento de la población en la mayoría de los países latinoamericanos, la ampliación de la frontera agrícola provoca deterioro de los recursos naturales por el uso inadecuado al que se someten estas áreas, poniendo en peligro el patrimonio natural de las generaciones futuras.

Se ha visto que los problemas más graves con respecto al uso de la tierra ocurren al rededor de los límites de la frontera agrícola en las áreas marginales con pendientes fuertes, suelos poco profundos, lluvias con alto poder de erosión; para este tipo de agricultura marginal se presta poca atención, apoyo técnico, financiero, por parte del estado (Richters,1995).

Las principales necesidades para el manejo apropiado del recurso tierra se explican mediante dos factores:

- a).- La reducción cada vez más pronunciada de la disponibilidad del recurso tierra.
- b).- Los efectos negativos del uso inapropiado de la tierra más allá de un potencial sostenible.

4.1.1.- Capacidad y uso apropiado del la tierra.

La capacidad y uso de la tierra determina el potencial productivo que posee un terreno sin erosionarse y sin disminuir su capacidad de generar bienes y servicios. También representa un factor en la selección del tratamiento más adecuado de conservación. El uso potencial o uso óptimo toma en cuenta aspectos socioeconómicos y de fertilidad natural del suelo.

Establecer la verdadera capacidad del uso de la tierra es de vital importancia, pues ello hace posible la planificación del desarrollo sostenible de las siguientes actividades, por los que es necesario aplicar una metodología adaptada a las condiciones propias de el área Centroamericana.

Faustino (1996), afirma que el concepto básico para la explicación de un esquema de capacidad de uso es de no exceder la capacidad máxima del terreno incluyendo otros factores además del suelo como, clima, agua, vegetación, factores económicos y sociales.

Según la metodología propuesta por **SEPSA** (1992), la estructura de un sistema de clasificación de uso de las tierras comprende tres niveles a estudiar :

Clases de capacidad de uso.

Esta se define como grupos de tierras que presentan condiciones similares en el grado relativo de limitaciones y riesgo de deterioro para su uso en forma sostenible.

Subclases de capacidad de uso.

Las subclases son grupos de tierra dentro de la misma clase que tienen limitaciones adicionales del mismo tipo.

Unidades de manejo.

Constituye una subdivisión de las subclases de capacidad de uso que indica el o los factores específicos que limitan su utilización en actividades agropecuarias y forestales. Estas tierras son lo suficientemente homogéneas como para requerir sistemas de manejo y conservación similares.

Se recomienda que se produzcan los cultivos más intensivos (granos básicos, hortalizas, flores y otros) en las tierras donde hay menos riesgo de daño, como las tierras de menor pendiente o donde los suelos son más profundos. Por consiguiente, se recomiendan los usos más extensivos como (pastos, frutales, explotación forestal) en las laderas de pendientes más fuertes o donde los suelos son más superficiales y las tierras no soportan los usos agrícolas intensivos (Faustino, 1996).

Contrario a esto y según Mirjan (1996), los finqueros toman decisiones de uso de la tierra más que todo en base a las características físicas del suelo como color y otras características, según la experiencia de estos los colores les dan la información necesaria para determinar el uso potencial que se le debe de dar a un suelo.

4.1.2.- Planificación del uso de la tierra.

La planificación del uso sostenible de la tierra trata de lograr un cambio proyectado hacia el un mejor uso de los recursos socioeconómicos y biofísicos, para propiciar en general, un desarrollo ordenado de una región. El buen uso de los recursos incluye la aplicación sostenible de nuevos recursos, pero también la protección y recuperación de aquellos recursos sobreusados (Richters, 1995).

Con el fin de lograr el objetivo de un plan regional de uso sostenible de la tierra se debe tomar en cuenta una región geográfica específica, siendo el concepto de cuenca hidrográfica uno de los más usados e importantes para la planificación regional. Para la planificación del uso de la tierra es necesario poseer información de la capacidad natural de la tierra para que en el futuro las decisiones de cambio de uso de la tierra no ocasionen un efecto negativo sobre la base biofísica de los recursos naturales.

Jansen *et al.* (1993), proponen el sistema USTED (Uso Sostenible de Tierras en Desarrollo) el cual es una metodología para el análisis y planeamiento del uso sostenible de la tierra. Esta metodología incluye la colección, procesamiento y el análisis de la información pertinente al uso de la tierra, también la incorporación de esta información en un modelo multidisciplinario integrado.

Según Richters (1995), la cuenca hidrográfica brinda un contexto ambiental al desarrollo socioeconómico para la planificación del uso del suelo, siendo, esta área preferida desde del punto de vista de manejo de los recursos naturales, ya que fomenta la relación en cuanto al contexto ambiental y desarrollo socioeconómico.

4.1.3.- Cambios del uso de la tierra como posible indicador del desarrollo sostenible.

En la definición o selección del un uso de la tierra por parte de los agricultores intervienen un conjunto de factores biofísicos y socioeconómicos que interactúan ocasionando un efecto sobre los recursos naturales. Estos de acuerdo a la circunstancia y momento del tiempo son variables, presentando una influencia directa sobre las decisiones del tipo de uso de la tierra, lo que tiene un impacto sobre los recursos naturales (Urbano *et al.*, 1996).

Los cambios en el uso del suelo que se realizan en una área específica nos dan una pauta de la realidad socioeconómica que los agricultores perciben a través del tiempo, en

muchos caso estos cambios de uso del suelo son una de las principales causas degradadoras de los recursos, lo cual se ve con mayor frecuencia en las áreas de pendientes fuertes y de gran actividad hidrológica.

Los impactos, ya sean positivos o negativos, que se dan con un cambio de uso de la tierra son sin duda el resultado de la acción de un uso o implementación de prácticas de manejo de y/o tecnologías utilizadas, la severidad de dicho impacto esta íntimamente relacionado con el potencial natural de los recursos (Urbano *et al.*, 1996).

Según Jansen *et al* (1995), la sostenibilidad del uso de la tierra comprende dos aspectos importantes: la sostenibilidad de la productividad del sistema agrícola y la sostenibilidad simultánea de los usos no agrícolas de la tierra. Cuando se estudian los cambios de 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 *et al.*,1994).

Según el Banco Mundial (1992), la tasa de deforestación en Centro América es de un 3% por año, transformándose suelos de vocación forestal en suelos de uso agrícola. Este tipo de cambio trae consigo altos costos sociales en gran parte de la agricultura de la frontera agrícola, en laderas y en la ganadería extensiva. Estos incluyen la pérdida o degradación del suelo asociado con los sistemas de cultivo y el manejo de ganado, contaminación de suelo, aire y aguas por utilización excesiva de agroquímicos que tienen como resultado la reducción de los rendimientos (Leonard, 1987).

Normalmente muchos aspectos de los cambios de uso de la tierra se mantienen con muy poco entendimiento, sin embargo, las variables biofísicas de uso de la tierra, basado sobre métodos conocidos de evaluación de tierra (Van Diepen *et al.*, 1991) están mucho más desarrollados que la variables socioeconómicas. (Bilsborrow y Okoth Ogendo, 1992; Veldkamp y Fresco, 1995).

En particular los indicadores adecuados para cuantificar la dinámica del uso de la tierra, por ejemplo la conversión y modificación de la cobertura a través del tiempo no están disponibles; como resultado de esto ha sido muy difícil comparar las tasas de cambios en diferentes áreas y períodos (Stoorvogel, 1995).

4.2.- SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y SU IMPORTANCIA EN LA EVALUACION DEL USO DE LA TIERRA.

La función de un sistema de información es la de mejorar nuestra capacidad para tomar decisiones. Un sistema de información es la cadena de operaciones que nos lleva desde la planificación de la observación y recolección de los datos hasta su almacenamiento y análisis, y luego a la utilización de la información obtenida en algún proceso de toma de decisiones (Faustino, 1996).

El Sistema de Información Geográfico (SIG), en el concepto moderno, es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados con coordenadas espaciales o geográficas, utilizando medios computarizados o manuales. En otros términos, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos espacialmente referidos, como una serie de operaciones para trabajar con los datos.

Por ejemplo, los SIG se están utilizando en la realización de estudios de los hábitat de la vida silvestre, de la contaminación de fuentes no puntuales, el cambio del uso de la tierra, manejo de las plagas forestales, la erosión del suelo, análisis de aptitud de uso del suelo, y en modelación hidrológica y otra gran cantidad de uso que si se trabajan en una forma integrada, contribuyen a la búsqueda del ansiado desarrollo sostenible.

La información biofísica y socioeconómica puede ser representada en forma espacial con su respectiva variabilidad temporal, de manera que aspectos específicos relacionados con el uso de la tierra, recursos hídricos, sistemas de extensión, accesibilidad, etc. se expresan en mapas y la

interpretación cualitativa y cuantitativa sobre el manejo de los recursos naturales y el bienestar del hombre (Faustino, 1996).

A pesar de todo esto es sorprendente de que pocos o ningún trabajo ha sido publicados sobre los indicadores de dinámica del uso de la tierra (Stoorvogel, 1995).

Una de las razones más poderosas para implementar un enfoque automatizado de la planificación de recursos es la capacidad para cambiar con rapidez y facilitar las interrogantes, escenarios y supuestos. Los tipos de interrogantes están limitados únicamente por quienes elaboran las políticas y por los planificadores. Se puede realizar un análisis complejo en un tiempo breve (especialmente en comparación con el tiempo que se necesitaría para hacer cálculos manuales para un nuevo interrogante y luego confeccionar los mapas a mano), utilizando una combinación de análisis simple como la superposición de mapas y operaciones "booleanas" en SIG (Faustino y Velázquez, 1996).

4.3.- SISTEMAS AUTOMATIZADO PARA EVALUACIÓN DE TIERRAS (ALES).

El sistema (ALES) es un programa de computación que permite a los evaluadores de tierras construir **sistemas expertos** para sus evaluaciones, según el método presentado en el esquema de evaluación de tierras de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el cual puede ser usado tanto para evaluaciones a nivel regional y como para proyectos agrícolas. (Rossister *et al.* 1993).

Dado que cada modelo de evaluación de tierras es construido individualmente por cada investigador para satisfacer sus necesidades locales, por lo que no hay una lista fija de requisitos de usos de la tierra para evaluar los usos, ni tampoco una características de las cuales se infieren las cualidades, dichas características son definidas por el evaluador de acuerdo a los objetivos y las condiciones locales con esto se facilita la aplicabilidad de los sistemas de evaluación de tierras en diferentes circunstancias en diferentes puntos en el tiempo.

Según Rossister (1993), los objetivos del (ALES) son:

- Proporcionar una solución a la demanda de información proveniente de los bancos y otras agencias crediticias, ministerios gubernamentales, oficinas de desarrollo tanto urbanas como rurales. La finalidad de las agencias es planificar o recomendar el uso de la tierra de una forma racional y objetiva utilizando para ello las técnicas de **planificación de uso de la tierra**, principalmente para desarrollo agrícola.
- La planificación del uso de la tierra, tiene como propósito básico asegurar que cada una de las áreas sea usada de tal manera que provea el máximo beneficio social, incluyendo especialmente la producción de alimentos sin la degradación de los recursos. Dicha planificación tiene dos aspectos; el político y el racional. El político es necesario para iniciar la ejecución de la planificación del uso de la tierra, determinando sus objetivos, evitando los conflictos de intereses. La parte racional o técnica de la planificación asegura que los planes sean factibles, que los costos y retornos estimados sean precisos y que se hayan colectado la información necesaria para asegurar las estimaciones.

4.3.1.- Procedimiento de evaluación de tierras en ALES

El proceso de evaluación de tierras que (ALES) utiliza es el de la (FAO) con cuyos principios se construyen los sistemas expertos de evaluación de tierras para los diferentes tipos de uso de la tierra (TUT) que se desee.

4.3.1.1.- Aspectos físicos.

Según Moncada (1991), son referidos a la tierra misma, constituidas por la geomorfología y el uso de la tierra con las cuales se definen las unidades homogéneas o de mapeo de la tierra.

En estas unidades de mapeo homogéneas se determinan cada una de las características las cuales sirven para definir posteriormente la aptitud física de la tierra para un determinado tipo de uso de la tierra.

4.3.1.2.- Aspectos biológicos.

Un determinado tipo de uso de la tierra necesita diferentes características que definen las cualidades de la tierra, que un determinado tipo de uso necesita para poder producir cierta cantidad de rendimientos los cuales al compararse con los requisitos o aspectos físicos de la tierra definen por completo la aptitud física de la tierra para uno o mas tipos de uso.

Moncada (1991), afirma que para los aspectos biológicos es necesario identificar las clases primordiales de usos y determinar los más importantes rubros de interés para su evaluación.

4.3.1.3.-Aspectos económicos.

Según Rossister *et al* (1993), una evaluación física indica el grado de aptitud para un uso de la tierra sin considerar las condiciones económicas ya que trata de establecer la situación económica en un periodo de tiempo determinado, la evaluación económica de este sistema es mas que todo un análisis de el riesgo o factibilidad de un tipo de uso en una unidad cartográfica definida.

La evaluación económica nos da una información importante con la cual podemos definir que tipo de uso de la tierra nos convendría darle a cierta unidad de tierra para obtener el máximo beneficio económico, sin deteriorar los recursos que la tierra nos ofrece, asegurando de esta forma la sostenibilidad del sistema a través del tiempo.

4.4.- Estudio ambiental

Este tipo de estudio es crucial para la toma de decisiones de inversión, ya que este proceso se nutre, tanto de los análisis técnicos, económicos, financieros, socioeconómicos, como de ambientales.

El análisis ambiental en la formulación de proyectos es un proceso doble, por un lado encaminado a predecir las alteraciones que un proyecto o actividad puede producir en la salud humana y el medio ambiente y por el otro lado establecer los procedimientos y los criterios para la aprobación de las actividades o proyectos (GTZ - IICA, 1995).

Según (GTZ - IICA, 1995) el estudio ambiental completo consta de los siguientes pasos:

- Estudio de prefactibilidad ambiental.
- Estudio de factibilidad ambiental.
- Estudio de impactos ambientales.

4.3.1.- Estudio de prefactibilidad ambiental.

Este estudio permite la evaluación *a priori* de los efectos que una actividad agrícola puede desarrollar si son de fuerte repercusión o no.

Esta etapa trata de responder las preguntas básicas como:

- a) ¿ Es ambientalmente viable la actividad ?.
- b) ¿ Es susceptible de producir degradación importante al ambiente ?.

Según la metodología propuesta por GTZ - IICA (1995). este estudio debe de ser desarrollado paralelamente al estudio de prefactibilidad al proyecto o la actividad que a de ser evaluada, y reconocer en que forma ésta se adapta y aprovecha el contexto físico natural donde se encuentra asimismo, para determinar la prefactibilidad de un proyecto de inversión agrícola se usan listas de chequeo o preguntas claves a cerca de los procesos de la actividad

en estudio, otorgándole un valor binario (si=1, no=0), si el puntaje obtenido es mayor que uno, entonces, la actividad afectará de forma significativa.

4.3.2.- Estudio de factibilidad ambiental.

Para la validación de un proyecto es necesario determinar la factibilidad ambiental además de su factibilidad técnico - económica; permitiendo definir los estudios necesarios, entre ellos los relativos a la sección de tecnologías de cultivo, ubicación de la infraestructura así como las acciones o procesos unitarios. (GTZ - IICA, 1995.).

Según GTZ - IICA (1995.), los estudios de factibilidad ambiental son muy importantes ya que permiten.

- Realizar la primera evaluación ambiental del proyecto.
- Efectuar las comparaciones de uso potencial y actual de la tierra.
- Realizar una selección final de alternativas.
- Decir en base a impactos predefinidos, si hace falta un estudio mas detallado
- Análisis de procesos de actividades.
- Establecer las especificaciones detalladas, para la realización de la EIA.

4.3.3.- Estudio de impacto ambiental.

4.3.3.1.- Impacto ambiental.

Antes de analizar los diferentes estudios ambientales, es necesario fijar algunos conceptos básicos. Así un **efecto ambiental** es el resultado de un proceso (como la erosión de suelo, dispersión de contaminantes, o desplazamiento de personas), que es iniciado o acelerado por la acción directa o indirecta de la actividad del ser humano. Los efectos sobre el medio ambiente se clasifican en efectos físicos, biológicos, culturales y socioeconómico.

Un **impacto ambiental** es la acción que se produce, tanto sobre la salud y el bienestar del ser humano, como sobre la salud e integridad del ambiente, al ejecutar una actividad con respecto a una situación en la cual la actividad no se ejecutará. (GTZ - IICA, 1995).

Toda actividad que implica la utilización de recursos naturales lleva consigo el posible deterioro de los recursos, si no se toman medidas que minimicen o anulen los impactos ambientales, es claro decir que no toda actividad agrícola o de otro tipo representa un impacto negativo para el ambiente. Para que un impacto sea considerado como tal tiene que tener una cierta intensidad, que provoca un deterioro de las características naturales de los recursos.

La importancia del sector agropecuario en la economía de los países latinoamericanos es indudable representando el 10% del (PIB), porcentaje que sube a más de un 25% si consideramos la agroindustria, proporciona un 30% de los empleos totales, y aproximadamente un cuarto de las exportaciones de Latinoamérica (GTZ - IICA, 1995).

La actividad agrícola en la actualidad produce grandes impactos ambientales los cuales hoy en día no han sido evaluados en toda su magnitud, estos impactos dependen de muchos factores entre los cuales se encuentran: el tipo de cultivo, la escala de producción, las tecnologías empleadas, el área utilizada, los cambios y la intensidad de uso de la tierra, la capacidad de uso de la tierra para sostener esa actividad, la aplicación de agroquímicos y los incentivos económicos (GTZ - IICA, 1995).

El deterioro que los recursos naturales en la actualidad han sufrido es alarmante y la disponibilidad tanto como la calidad de muchos bienes y servicios se ha visto afectada.

Para cambiar esa tendencia, es imperativo que los recursos físicos, biológicos, sociales y culturales que podrían ser afectados por ejecución de proyectos de desarrollo agrícola y rural, como el desarrollo socioeconómico de corto, mediano y largo plazo puede verse afectado por el uso que se le de hoy a esos recursos.

Los impactos que una actividad agrícola le impone a la sociedad pueden ser negativos y positivos, por lo que al valorarse deberán ser considerados como costos o beneficios ambientales respectivamente (GTZ - IICA, 1995).

4.3.3.2.- Impactos asociados a proyectos de inversión agrícola.

Generalmente los impactos ambientales asociados a actividades de producción agrícola, se deben a las tecnologías no apropiadas usadas para la producción, por lo cual este rubro se ha considerado por la gran variedad de impactos como son, la contaminación por agroindustrias y el mal manejo de cuencas hidrográficas o bosques naturales. (GTZ - IICA, 1995).

Los impactos en el sector agrícola se pueden producir una sola vez o en forma continua hasta llegar a un proceso de degradación total en el cual las consideraciones de los expertos es que esos procesos son irreversibles en un corto y mediano periodo de tiempo.

El desarrollo sostenible de los recursos considera varios elementos entre los cuales destaca la preocupación por satisfacer las necesidades, para un bienestar de la población, buscando la equidad intergeneracional y el nexo entre la capacidad de desarrollo actual y la satisfacción de las necesidades de generaciones futuras, para lograr este ansiado desarrollo sostenible es imperativo desarrollar actividades productivas que minimicen o anulen por completo los impactos ambientales que ocasionan las actividades agrícolas.

Unido a lo anterior, la producción sostenible en el sector agrícola depende, en última instancia, de que los recursos de la tierra, agua, pastos y bosques se manejan con la mira de preservar su potencial productivo. Este potencial esta plasmado en la actividad biológica del suelo, el equilibrio ecológico de plantas e insectos y la calidad del agua y la atmósfera en el agroecosistema. Todos ellos se ven afectados por las tecnologías de producción y el manejo de recursos.

4.3.3.3.- Herramientas para predecir y evaluar impactos ambientales.

Una vez realizada la selección de efectos, se procede a la evaluación de impactos. Apoyándose en diferentes métodos, se realiza una medición de impacto que se considera que el proyecto o actividad genera o necesite ser estudiado.

Para realizar esta evaluación, no se dispone de métodos, universalmente aceptados ya que la EIA está aún en desarrollo metodológico. Su aplicación varía mucho en función de las características de la situación en estudio y de la disponibilidad de información existente, particularmente en el análisis de datos del medio biológico socioeconómico y la realidad del país. (GTZ - IICA, 1995).

La mayor parte de los estudios de evaluación de impacto ambiental que se encuentran en la literatura, son de proyectos grandes, para represas de generación hidroeléctrica, refinerías, carreteras, aeropuertos. Son relativamente pocos los estudios que se han realizado sobre el desarrollo rural, agricultura, manejo de cuencas y otras actividades agropecuarias.

Entre las metodologías conocidas para la evaluación de impactos ambientales tenemos: Lista de chequeo, Sobreposición de planos, Métodos matriciales (Leopold, Odun), Método de los indicadores, Método de modelaje (USLE).

4.4.- ANALISIS FINANCIERO EN PROYECTOS AGRICOLAS.

Por análisis financiero se entiende el estudio de los ingresos, costos y rentabilidad de empresas individuales, considerando todos los factores de producción como pagados a precios corrientes de mercado. Es un instrumento fundamental que permite determinar la capacidad financiera de la empresa para llevar adelante un proyecto. La proyección financiera, también llamada flujo de caja, o presupuesto origen y aplicación de fondos permite verificar si la empresa es capaz de generar los fondos requeridos para llevar a cabo el proyecto. Para realizar el análisis financiero de un proyecto, se debe partir de una

situación de sin proyecto (situación actual) hasta llegar a otra con proyecto evaluándose las consecuencias al ejecutarse el proyecto (Pérez, 1995).

Un análisis financiero de una actividad agropecuaria nos debe dar una pauta de la eficiencia de los sistemas de producción, tomando en cuenta que la actividad financiera está íntimamente ligada a las características naturales de la base de los recursos naturales.

Un análisis financiero nos puede servir como indicador socioeconómico para definir la relación que existe entre éstas y la dinámica del uso de la tierra por parte de los agricultores en una área determinada, ya que los factores socioeconómicos son de vital importancia en la planificación y uso de la tierra.

La decisión de inversión implica la asignación de capital entre opciones de inversión cuyos beneficios se obtendrán en un tiempo futuro. para una apropiada asignación de los recursos de capital, es de importancia fundamental la aplicación de un adecuado criterio de aceptación o rechazo de estas opciones de inversión (Osuna, 1993).

Ritchers (1995), afirma que el análisis económico de la aptitud de la tierra examina esta en términos financieros y económicos, sobre la base de costos y precios. En este análisis se distinguen dos etapas; el análisis del margen bruto de beneficios; el análisis de flujo de caja. El análisis del margen bruto, consiste en tomar el ingreso anual de un agricultor precedente de la venta de sus productos, sustraer sus costos de producción y sus gastos generales y obtener la utilidad o pérdida resultante. Cuando los costos de capital en cuanto a mejoramiento de la tierra son importantes, es necesario pasar a la etapa siguiente de análisis de costos / beneficios, cuya finalidad es comparar el gasto inicial de capital con las ganancias derivadas de este a lo largo del tiempo.

4.4.4.1.- Medidas e indicadores de evaluación financiera que consideran el efecto del tiempo.

Según (Aguirre, 1985; Osuna, 1993; Pérez, 1995), los principales indicadores financieros que consideran el efecto del tiempo son:

- a).- El Valor Actual Neto (VAN).
- b).- La Relación Beneficio Costo (B/C).
- c).- La Tasa Interna de Retorno (TIR).

4.4.1.1.- Valor actual neto (VAN).

Se define operacionalmente como el resultado de las diferencias entre los ingresos actualizados (valores positivos) y los costos actualizados (valores negativos) a una determinada tasa de descuento. Es decir que la tasa de descuento permite hacer comparables esos flujos, sean ingresos o costos (Pérez, 1995).

Con la técnica del (VAN) todos los flujos de fondos del proyecto o propuesta de inversión se descuentan a una tasa prefijada (Tasa Mínima Requerida de Rendimiento), poniéndolos de esta manera en términos de valor presente (Osuna, 1993).

El valor actual neto (VAN) se expresa algebraicamente de la siguiente manera.

$$VAN(i) = \sum \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t}$$

B_t (Beneficio en el tiempo t)

C_t (Costos en el tiempo t)

t (Tiempo)

i (Tasa de actualización)

La regla de decisión en esta técnica establece que si el (VAN) es igual o mayor que cero, el proyecto o propuesta de inversión se considera aceptable. Lo anterior equivale a decir que si a una tasa de descuento dada, el valor presente de los ingresos excede al valor presente de los egresos, entonces la inversión es rentable (Osuna, 1993).

El (VAN) es un buen indicador para realizar comparaciones entre dos sistemas de producción o dos sistemas tecnológicos siendo más factible aquel sistema que posee un valor presente neto mayor calculado a una tasa de descuento real si los precios de los costos y precios establecidos en términos corrientes.

En un sistema de producción el cálculo de los valores actuales netos infinitos nos pueden dar una pauta para determinar la sostenibilidad financiera si realizamos el análisis de la situación a largo plazo.

Si al calcular los valores actuales netos de una actividad productiva en forma infinita que demuestra una tendencia negativa en el tiempo, se podría decir que actividad no es sostenible en el largo plazo, al menos que se hagan correcciones a los procesos tecnológicos, porque de continuar en una forma infinita con un proceso de decrecimiento de los valores actuales netos llegara a un momento en el cual estos se vuelven iguales a cero a sea que los costos de producción de la actividad son iguales a los beneficios.

4.4.1.2.- Tasa interna de retorno (TIR).

La TIR es un índice de rentabilidad ampliamente aceptado. Matemáticamente, se define como la tasa de interés que causa en el flujo de fondos de un proyecto, que los ingresos en valores equivalentes en el tiempo. La TIR, se conoce usualmente como tasa de rentabilidad financiera o TIR (Osuna, 1993).

Según Pérez (1995), la TIR mide el rendimiento financiero de la inversión. La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN se vuelva cero. Es decir que los valores actualizados de las entradas sean iguales a los valores actualizadas de las salidas.

Su uso es apropiado cuando se trabaja con un proyecto independiente, con la limitante de que no toma en cuenta la escala del mismo; por lo tanto, no se recomienda para evaluar proyectos alternativos de inversión (Pérez, 1995).

Si se quiere evaluar la eficiencia financiera de dos actividades productivas en base a la TIR tendremos que escoger aquella actividad que soporta una tasa superior a la mínima requerida por un sistema bancario, el proyecto que soporte una tasa de interés mayor será la actividad con mayor factibilidad financiera.

La regla de decisión técnica de la TIR establece que la Tasa de Interna de Retorno es mayor que la Tasa Requerida de rendimientos, entonces el proyecto es financieramente aceptable (Osuna, 1993).

Pérez (1995), afirma que el criterio de decisión en base a la TIR es que esta sea superior al costo de capital del dinero o tasa de interés del mercado.

En el largo plazo la TIR nos permite establecer una buena medida de la eficiencia financiera relacionada con una actividad productiva. Si las tasas internas de retorno calculadas infinitamente decrecen y llegan a un punto de no soportar la tasa de interés de un sistema bancario, se concluiría de que el sistema nos es financieramente sostenible, por lo que se tendrá que buscar otra actividad productiva que si pueda soportar esa tasa de interés o sea que el costo de oportunidad de los recursos usados, en este caso tierra, para esa actividad sean mayores que esa de interés prefijada.

Para el calculo de la TIR no existe una fórmula establecida se toma como referencia la tasa de actualización cuando el VAN se hace cero o sea que es la tasa máxima de interés que un proyecto o actividad puede pagar en condiciones normales.

4.4.1.3. -Relación beneficio costo (B/C).

La relación beneficio costo es una variante del VAN que relaciona flujos de ingresos y costos actualizados pero en forma relativa. La tasa de actualización utilizada puede ser el costo de oportunidad del dinero. Es un indicador que tiene la limitación de no considerar el tamaño relativo del proyecto entre varias alternativas; es de menor utilidad en análisis de grandes inversiones, sobre todo cuando se tiene que comparar con inversiones pequeñas (Pérez, 1995).

La ventaja del B/C reside en que su interpretación es fácil, es una forma práctica y útil para determinar si un proyecto es recomendable o no; la regla de decisión consiste en encontrar si el VAN del flujo de ingresos es superior al valor actual de flujos de costos en la vida útil de un proyecto (Pérez, 1995).

Una actividad productiva u opción tecnológica que posea una relación beneficio costo mayor demuestra una mayor eficiencia financiera, ya que para ganar una determinada cantidad de dinero se necesita invertir menos, esa actividad en términos financieros es menos riesgosa por lo tanto podría ser mas factible.

Según Pérez (1995), para que el proyecto sea conveniente la relación beneficio costo debe de ser igual o mayor que la unidad. Si es igual a la unidad, indica que el VAN es igual a cero, si fuera menor significa que a la tasa de actualización utilizada, el valor actual de los ingresos sería menor que el valor actual de los costos con lo que no se estaría recuperando la inversión.

Si realizamos un análisis a través del tiempo futuro y se observa una tasa decreciente para la relación beneficio costo se puede afirmar que la actividad cada vez se vuelve **mas** riesgosa por lo tanto de no corregirse ese efecto a lo largo del tiempo la actividad se volvería insostenible en términos financieros.

La forma de cálculo de la relación beneficio / costo es la siguiente:

$$B/C = \frac{En (1+K)^n}{Sa (1+K)^n}$$

En (Entradas)

Sa (Salidas)

K (Tasa de actualización)

n (Tiempo)

4.4.2. -Análisis de sensibilidad.

Según Aguirre (1985), el análisis de sensibilidad de una inversión consiste en la modificación de algunos de los elementos del proyecto, y en calcular de nuevo los valores actuales netos, la tasa interna de retornos y la relación beneficio / costo observando los cambios que se producen y la dirección de éstos en los tres indicadores básicos de evaluación de inversiones. La sensibilidad puede definirse como la magnitud de cambios en los indicadores de evaluación en relación con un cambio introducido a las condiciones del proyecto original. La sensibilidad por lo tanto está relacionada con los precios de sombra ya que éstos son los posibles cambios a introducir en un proyecto.

Aguirre (1985), afirma que los elementos en los que más comúnmente se realiza un análisis de sensibilidad son:

- a).- El valor de la mano de obra.
- b).- El valor de la divisa.
- c).- Los coeficientes técnicos.
- d).- Los precios de los productos finales.
- e).- Los precios de los bienes y servicios.

Para la realización de un análisis de sensibilidad de una actividad productiva es importante realizar un estudio de los rendimientos a través del tiempo, e incorporándose

estos elementos para observar el comportamiento de los indicadores financieros. De esta manera se puede tomar decisiones sobre los procesos productivos, encaminándose siempre a mejorar las eficiencias de dichos procesos.

V.- MATERIALES Y METODOS.

5.1.- AREA DE ESTUDIO.

El presente estudio se realizó en la finca comercial de CATIE la cual se encuentra ubicado a 5 km en dirección sur-este de la ciudad de Turrialba, aproximadamente entre los paralelos 9° 52' 20" y 9° 54' 20" de Latitud Norte y los meridianos 83° 38' 40" y 83° 42' 00" de Longitud Oeste, y a una elevación sobre el nivel del mar que varía entre los 580 m y 990 m.(Instituto Geográfico de Costa Rica, 1963).

5.1.1.- Características biofísica del área de estudio.

La formación de los suelos y las características están determinadas por la intervención de cinco factores los cuales son: Roca madre, relieve, clima, organismos y tiempo (Aguirre, 1971).

5.1.1.1.- Roca madre.

Según Hardy, (1961) la región de Turrialba está atravesada por dos colinas que corren en dirección este-sureste, las cuales son parte de una corriente de lava andesítica y depósitos piroclásticos. Las colinas al norte de Turrialba se han originado por el volcán Turrialba, estas continúan en dirección este, atravesando el río Reventazón.

Según Aguirre (1971), en la región de Turrialba están presentes cinco formaciones geológicas que son las siguientes:

Periodo cuaternario.

FORMACIÓN	PERIODO	Edad geológica (millones de años)
Aluvial	Reciente /Actual	0 - 0,025
Lava joven	Pleistoceno	0,025 - 1,0

Periodo terciario

Aluvial viejo	Plioceno Medio	5 - 10
Aglomerado	Plioceno inferior	10 - 15
Lava vieja (Andesítica)	Plioceno inferior	10 -15

5.1.1.2.- Relieve.

El relieve de los suelos de la meseta central es extremadamente compleja, ya que una gran parte ha sido cubierta por materiales volcánicos recientes, muchas de las tierras aún no han alcanzado su forma estable (Aguirre, 1971).

Según Aguirre (1971), los suelos de la finca de CATIE, se clasifican en los siguientes grupos de relieve :

- La mayor parte de sus suelos son de topografía plana o casi plana, con pendientes de 1-3% las cuales se presentan en su mayor parte en las riberas de los ríos.
- Otra parte algo menor sobre terreno ondulado a lomerío con pendientes que varían entre 3 - 15%.
- Muy pocos sobre terrenos escarpados los cuales presentan pendientes que van entre 10% a 50% con declives pronunciados que van hacia el río Reventazón y Valle Turrialba.
- Una proporción muy pequeña sobre lomeríos a cerriles con cerros y lomas pronunciadas que fluctúan entre 5 - 30%.

- La menor proporción se encuentra sobre terrenos montañosos, son muy escarpados, con altos y bajos pronunciados en forma de cerros, donde los ríos han cortado cañones profundos, presentando pendientes que fluctúan entre 20 - 80%

5.1.1.3.- Clima.

El clima de la región es cálido y excesivamente lluvioso y húmedo por lo cual se ubica en la región del Bosque Premontano Muy Húmedo (Holdrige, 1978).

Los datos climatológicos obtenidos del departamento de climatología del CATIE, se obtienen de la estación meteorológica ubicada a una altura de 602 msnm. Sus puntos cardinales son 9° 53' 00" de Latitud Norte y 83° 39' 00" de Longitud Oeste.

La temperatura media mensual, es de 21,7 °C, siendo la media mensual máxima de 27,11 °C, y la mínima de 17.9 °C.

La precipitación media anual es de 2,619 mm, con una media mensual de 218 mm.

La humedad relativa de la zona se encuentra relacionada en forma directa con la precipitación y en forma inversa a la temperatura la cual presenta un promedio diario de 87,9%.

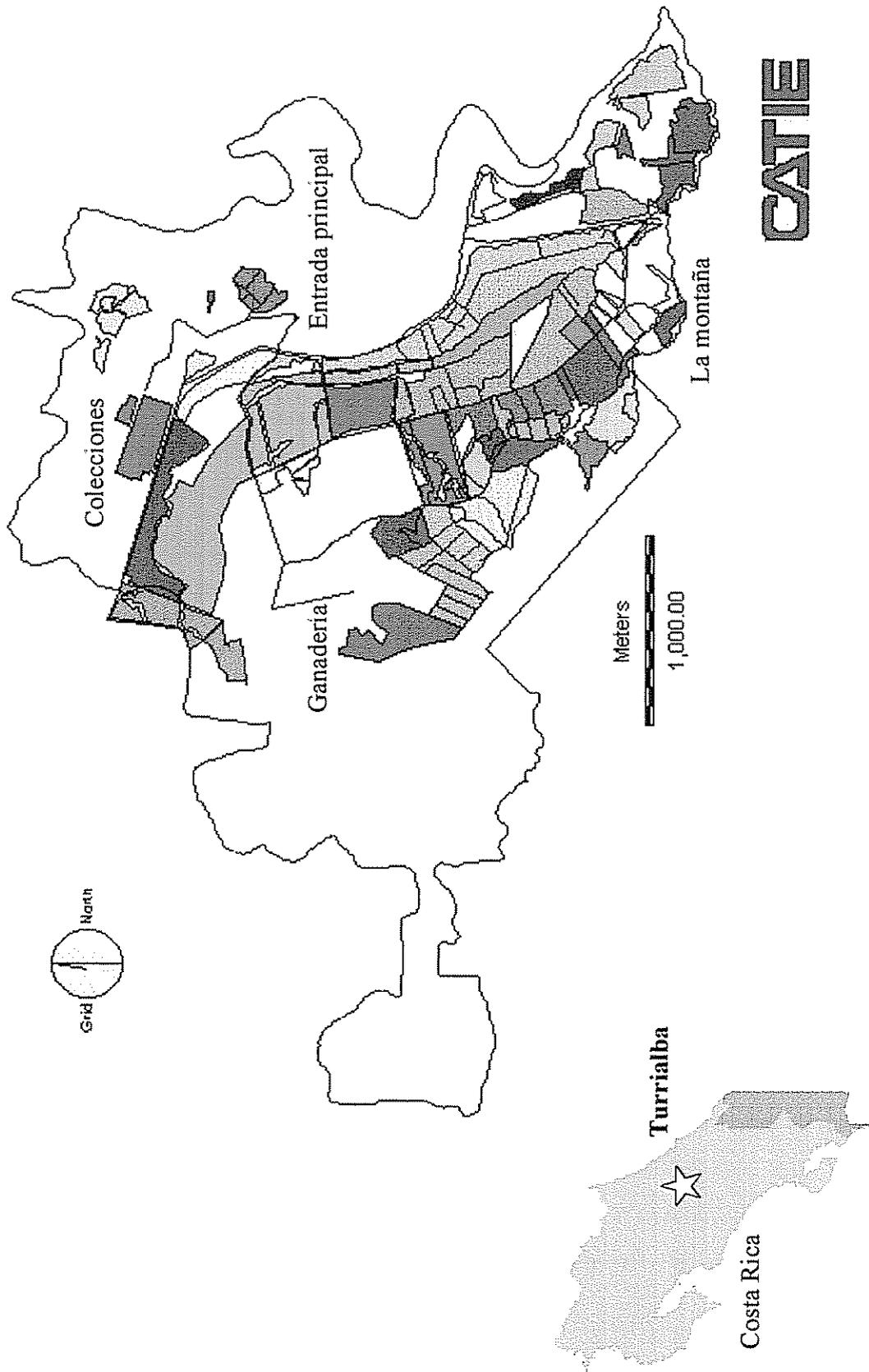
5.1.1.4.- Vegetación.

Gran parte de los terrenos que el CATIE actualmente ocupa, anteriormente pertenecieron al ingenio de Aragón, los cuales en ese tiempo fueron utilizados para cultivos de caña, café, pastos naturales en menor grado, charrales y bosque secundarios (Aguirre, 1971).

En la actualidad la finca comercial de CATIE se encuentran cultivada en su mayor parte, de caña de azúcar, en menor grado por café, pastos para la ganadería y plantaciones forestales en la parte oeste.

En las riberas del río Reventazón la vegetación es muy variada compuesta específicamente por charrales, bosque secundario y plantaciones forestales para investigación (Los Espabeles).

Finca de CATIE



CATIE

Figura 1. Mapa del área de estudio

5.2.- MATERIALES Y EQUIPO.

Entre los materiales y equipos utilizados para el trabajo de campo, gabinete y laboratorio:

a) **Materiales de campo** entre estos se usaron libreta de campo, pala, barreno para muestreo de suelos, barreno para muestreo de densidad aparente, recipientes para recolección de muestras de agua.

b) **Materiales de gabinete** entre estos se utilizaron GPS Sistema de posicionamiento global, mesa digitalizadora, computador, software IDRISI, ARC-INFO, TOSCA, GARMIN-PC100S2, impresora o ploter.

c) **Materiales de laboratorio** entre estos se tiene el suelo de las diferentes parcelas, para la realización de los análisis de laboratorio de las características biofísicas, y las muestras de agua para el análisis de las características biofísica en los diferentes tipos de muestreo.

5.3.- METODOLOGIA PARA EL ESTUDIO.

a) **Determinación del uso actual de la tierra e identificación de las áreas de estudio.**

El uso actual de la tierra en la finca de CATIE, hasta el año de 1992, se encontraba planteado en un mapa 1:10,000 realizado por el proyecto RENARM - CUENCAS, el mismo se actualizó, determinando el uso actual de la tierra para caña y café directamente en el campo, visitando cada una de las parcelas, con la ayuda del sistema de posicionamiento global GPS se recolectaron en coordenadas geográficas de cada lote, con lo que se construyeron los polígonos de formato vectorial, en combinación con el sistema de información geográfico SIG, y utilizando los paquetes de IDRISI para Windows Y

ARC/INFO, TOSCA, GARMIN - PC100S2 se procesó la información para la ejecución del mapa de uso actual de la tierra hasta junio de 1997.

Se realizó una fase de verificación de las áreas de caña y café para obtener mayor precisión en el cálculo de los rendimientos, analizándose el efecto del tiempo o años de cultivo sobre los rendimientos de café y caña.

La fecha de referencia para la determinación del uso de la tierra es junio de 1997. La información básica comprende al uso actual de la tierra para el año de 1992, a una escala de 1:10,000.

b) Identificación de la aptitud de uso de la tierra.

Para la determinación de la aptitud de uso de la tierra en los sistemas de producción se utilizó el Sistema de Información Geográfico SIG, mediante el programa IDRISI para windows, y el sistema automatizado de evaluación de tierras ALES Automated Land Use System, este es el más apropiado ya que utiliza la metodología de la FAO de evaluación de tierras definiendo la aptitud tanto física como económica en términos financieros.¹

El mapa de aptitud de uso de la tierra se realizó mediante el programa ALES para definir la aptitud física y económica de las diferentes sistemas de cultivos de la finca.

Con la ejecución de esto se cumplió el primer objetivo de la investigación con la que se pretendía definir la existencia de áreas de conflicto de aptitud de uso de la tierra , según IICA - GTZ (1995) la sobreposición de mapas temáticos de usos actuales y aptitud de la diferentes unidades de mapeo representan una muy buena opción para la evaluación de impactos ambientales en proyectos agrícolas.

¹ ARCE, J. 1997. Comunicación personal, Experto de evaluación de tierras. Turrialba, C.R. CATIE.

c) Análisis de la rentabilidad.

Para la determinación de la rentabilidad de los sistemas de producción de la finca se realizaron análisis financiero o evaluación de costos beneficios con base en indicadores financieros como (TIR, VAN, B/C). Según Aguirre (1985) estos indicadores son los mas importantes e indispensables para determinar la rentabilidad de una actividad agrícola por que estos consideran el efecto del tiempo. Esto se realizó mediante el uso de la hoja electrónica (EXCEL) para facilitar el manejo de los datos.

La tasa de actualización (6%) usada fue la tasa real de interés vigente en Costa Rica debido a que el análisis se realizó con precios corrientes.

La etapa anterior fue para probar la tercera hipótesis de esta investigación, comparando los resultados de los análisis financieros de los dos tipos de uso de la tierra.

e) Análisis de sostenibilidad y efectos de los impactos ecológicos.

La determinación de la sostenibilidad se realizó por medio de la metodología propuesta mediante indicadores de sostenibilidad por De Camino y Müller, (1993).

Según Urbano *et al*, (1996) el cambio del uso de la tierra es un posible indicador de sostenibilidad si se evalúan las características biofísicas del suelo.

En este trabajo se tomó como indicadores, las características biofísicas del suelo obteniendo la información de los análisis de suelos de las muestras recolectadas en las áreas de estudio, entre estas características se encuentran las siguientes:

Características químicas [pH, acidez extraíble, calcio, magnesio, potasio, fósforo, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónica (CIC y bases), porcentajes de saturación de bases, porcentaje de saturación de acidez, nitratos y amonio, materia orgánica].

Características físicas [densidad aparente, textura]. La actividad biológica fue evaluada por medio del conteo de lombrices en el suelo.

Para la determinación de los efectos de los impactos ecológicos de la finca dentro de la misma, se usó la metodología de indicadores de sostenibilidad usando las principales características que definen las condiciones biofísicas del suelo, en una forma cuantitativa, para determinar la eficiencia de los sistemas de producción, realizando de esta manera la caracterización de las áreas de cambio de uso en estudio.

Los impactos ecológicos de las actividades agrícolas de una finca se pueden definir mediante el uso de indicadores, como las características biofísicas del suelo IICA - GTZ, (1995). Como complementariedad a este estudio se realizó un muestreo de agua para analizar : nitrato ($N-NO_3^-$), amonio ($N-NH_4^+$), sólidos totales, disueltos y suspendidos.

Los muestreos de agua para la realización de los análisis de laboratorio, fueron hechos periódicamente cada dos meses desde marzo a octubre de 1997. Los puntos de muestreo estuvieron localizados en la parte alta, media y baja de los sistemas de drenaje naturales de las áreas actualmente cultivada en la finca del CATIE. Estos resultados se compararon con parámetros establecidos para diferentes usos. Con el propósito de tener un testigo dentro de la finca se tomó también una muestra en las áreas de protección zonas de bosques o plantaciones forestales.

También se analizó la presencia y actividad biológica en el suelo mediante el muestreo de lombrices en los tres sistemas de cultivos de café, caña y pastos.

Con esto se probó la segunda hipótesis del estudio que se refiere a el análisis del impacto del cambio de uso de la tierra de pastos a caña y café, por medio de las características biofísicas del suelo, análisis de agua y la actividad biológica de macrofauna del suelo. Estos análisis se realizaron en los lotes actualmente cultivados, para los sistemas de producción de pastos, caña y café.

5.4.- ETAPAS DE PROCEDIMIENTOS METODOLOGICOS

Para la mejor coordinación del trabajo se realizaron las siguientes etapas metodológicas algunas de las cuales son complementarias.

5.4.1.- I ETAPA : Elaboración de los mapas requeridos para el estudio.

a) Mapa de uso actual.

Para determinar las zonas de la finca en la cual se encuentran las áreas nuevas de café y caña, se tomó como referencia el mapa de uso actual realizado anteriormente, a una escala de 1: 10,000, siendo este debidamente actualizado con los nuevos cambios que se han dado desde 1992 hasta junio de 1997 para el cultivo de caña y café. Mediante el uso de un sistema de posicionamiento global, trabajando en modo diferencial la que permite corregir las posiciones, para tener un menor error en la ubicación de los puntos.

Los datos de los puntos geográficos de la finca tomados con el **GPS**, se transfirieron mediante el software **GARMIN - PC100S2**, este transforma los puntos en formato vectorial los cuales se agregan al mapa original mediante el programa **TOSCA**, en el cual se editan los vectores para obtener el mapa final en formato vectorial.

Después de tener el mapa en formato vectorial se realizó una transformación al programa (**ARC-INFO**) para poder identificar cada uno de los polígonos que forman los lotes por medio de un código (**ID**), y de esta forma relacionarlas con las diferentes variables de la base de datos.

El mapa que se realizó en **ARC-INFO**, se transformó a formato de imagen mediante el programa **IDRISI** para Windows facilitando el análisis espacial de los datos y realizar los mapas finales que proporcionan información final de la situación actual de las áreas de estudio.

Con el programa de **IDRISI** para Windows al realizar los análisis correspondientes se obtuvieron los siguientes mapas finales.

- Con el comando **Asaing** se asignan los valores correspondientes de variables como (tipo de uso de la tierra, área, datos de las características físicas y químicas del suelo), para obtener los mapas temáticos de tipo de uso de la tierra, y cada una de las características físicas y químicas del suelo.
- Con los diferentes mapas de valores asignados para cada una de las características de la tierra se realizó una reclasificación las imágenes con el comando **Reclass**, obteniendo los mapas para cada una de las características físicas y químicas del suelo, con los rangos de valores o diferentes escalas para una de las características dentro de la finca.
- Obteniendo los mapas reclasificados se realiza una homogeneización de estas áreas para todas las principales características de la tierra y así obtener el mapa de unidades de mapeo homogéneas en las que se realizó el estudio de aptitud de uso para los diferentes tipos de usos presentes en la finca del CATIE.

b) Mapa de aptitud de uso de la tierra.

Esta etapa también se realizó mediante el uso de sistema de información geográfico con los programas de **IDRISI** para Windows y el Sistema Automatizado de Evaluación de Tierras ALES. Para la realización de este mapa se realizaron las siguientes fases :

- Definición de las cualidades de uso de la tierra para los sistemas de cultivos en estudio, mediante las entrevistas a los expertos.
- Definición de las características y rangos de aptitud para los usos de la tierra que conforman las cualidades, mediante la consulta a los expertos.

- Construcción de los modelos mediante la incorporación de los datos de las cualidades y requisitos de los usos de la tierra, insumos y productos.
- Construcción de los árboles de decisión para definir los rangos de aptitud de las cualidades de uso de la tierra.
- Construcción de los árboles de decisión para definir los rangos de aptitud física a partir de las cualidades de uso de la tierra.
- Construcción de los árboles de decisión para definir los rangos de aptitud económica a partir de los rangos de aptitud física, de los diferentes sistemas de uso de la tierra que se encuentran en evaluación.
- Introducción de los datos de los requisitos de uso de la tierra que definen la cualidades de las diferentes unidades de mapeo perfectamente homogeneizadas.
- Evaluación previa de los modelos para los sistemas de producción de café y caña en la finca de CATIE, para realizar los afinamientos de los modelos construidos.
- Evaluación final de los modelos para los diferentes sistemas de producción en la finca del CATIE en las diferentes unidades de mapeo.
- Definición de la aptitud física y económica de los diferentes tipos de uso de la tierra para café y caña en las unidades de mapeo en las áreas de estudio.
- Importar los resultados de la evaluación final de las unidades de mapeo de **ALES** a **IDRISI** mediante la interface **ALIDRIS**, para la construcción del mapa de aptitud física y económica de la finca de CATIE, para los diferentes tipos de uso de la tierra.

Esto sirvió para obtener la información necesaria para poder probar la hipótesis numero 1 del trabajo, donde se definirán presencia o ausencia de conflictos de la tierra, ya que según Urbano *et al*, (1996) esto se puede usar como indicador de un desarrollo sostenible en base a la planificación del uso de la tierra.

5.4 2.- II ETAPA : Recolección de los datos de las principales características biofísica del suelo y agua.

En esta etapa, se obtuvieron las muestras de suelos para cada uno de los lote, para la realización de los análisis de suelos en el laboratorio, para obtener la información del estado actual de las características biofísica tales como: pH, acidez extraíble, calcio, magnesio, potasio, fósforo, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónica (CIC y bases), porcentaje de saturación de bases y acidez, nitrato(N-NH₄), amonio (N-NO₃), materia orgánica, textura, densidad aparente mediante el muestreo especial con el barreno cilíndrico. También se realizó el conteo de lombrices en el suelo para cada uno de los lotes de la finca .

Se recolectaron muestras de agua para determinar el grado de impacto del cambio de uso de la tierra de pastos a caña y café, muestreando cada dos meses desde marzo a octubre de 1997, se evaluaron las siguientes variables nitrato (N-NO₃⁻), amonio (N-NH₄⁺), sólidos totales, sólidos disueltos.

Estos datos también se recolectaron en seis parcelas de pastos escogidas como testigo para poder realizar las comparaciones entre estos dos sistemas de producción agrícolas y evaluar el impacto del cambio de uso sobre las características biofísica del suelo.

También se revisó los archivos de CATIE sobre análisis de suelos de estudios que se habían realizado anteriormente en dichas áreas de interés, para poder darle más consistencia espacial a los datos y de esta forma mejorar los análisis estadísticos de las características biofísicas como indicadores de sostenibilidad.

5.4.3.- III ETAPA : Análisis de las características biofísica de las del suelo y de productividad de caña en los lotes de la finca de CATIE.

5.4.3.1.- Descripción de la población.

La población a estudiar fueron los lotes de caña y café de la finca del CATIE en los cuales se han producido los cambios de uso de la tierra de pastos a caña. Estos lotes fueron organizados en grupos por años de uso de la tierra para el cultivo de caña y café después del cambio y por edades o número de cosechas de la caña y café realizadas en esos lotes.

Dentro de la finca de CATIE hasta junio de 1997, existían 25 lotes de caña de los cuales por disponibilidad de la información de rendimientos se pueden analizar 23, las edades de los lotes son variadas, así como también sus áreas.

Las estructuras de edades de cambio de uso de la tierra o tiempo de sembrar caña o café en los lotes de la finca son las siguientes.

- a) Lotes de caña sembrada en 1977 con 20 años de cultivo (grupo 1).
- b) Lotes de caña sembrada entre 1992 a junio de 1997 con 1 a 5 años de cultivo (grupo 2).
- d) Lotes de café viejos que tienen entre 35 a 50 años de cultivo (grupo 3).
- e) Lotes de café moderadamente viejos que tienen entre 15 a 35 años de cultivo (grupo 4).
- f) Lotes de café nuevos con 4 a 5 años de cultivo (grupo 5).
- g) Lotes sembrados en junio de 1997 (grupo 6).

En el estudio también se usaron como testigos seis lotes de la finca del CATIE escogidos al azar, que sirvieron como comparación para el análisis ambiental para las características del suelo, con lo que se trató de determinar el efecto de los años de cultivo sobre las características del suelo, esto permite evaluar la segunda hipótesis del estudio.

5.4.3.2.- Análisis de la productividad de las Areas en estudio.

En esta etapa partimos de los datos proporcionados por la administración de la finca en donde se efectuó un estudio mediante los registros del período de 1993-1997 para caña y el periodo de 1995 - 1996 para café, este análisis se realiza para identificar si existe diferencias estadísticas en la producción, debido al número de años de cultivo en forma continua.

Esto se logró haciendo un análisis de regresión con el objetivo de detectar si el tiempo de cambio de uso de la tierra para la producción de caña afecta o no los rendimientos que pueden obtenerse, *ceteris paribus*².

Para lo cual se probó los siguientes modelos de regresión.

a) Modelo de regresión muestral.

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 D_5 + b_6 D_6 + b_7 D_7 + v_8 V_8 + v_9 V_9 + v_{10} V_{10} + v_{11} V_{11} + v_{12} V_{12} + m_{13} M_{13} + m_{14} M_{14} + m_{15} M_{15} + m_{16} M_{16} + m_{17} M_{17} + m_{18} M_{18} + a_{19} A_{19} + a_{20} A_{20} + u$$

El cual esta expresado por las siguientes variables.

Y= Rendimiento

X₁= Años de cultivo.

X₂= Edad de la caña.

D₃= Zafra93.

D₄= Zafra94.

D₅= Zafra95.

D₆= Zafra96.

D₇= Zafra97.

M₁₃= Mes de cosecha (Enero).

M₁₄= Mes de cosecha (Febrero).

M₁₅= Mes de cosecha (Marzo).

M₁₆= Mes de cosecha (Abril).

M₁₇= Mes de cosecha (Mayo).

M₁₈= Mes de cosecha (Junio).

A₁₉= Aptitud de uso (Moderadamente apto).

A₂₀= Aptitud de uso (Ligeramente apto).

² *Ceteris paribus*, Todos los demás factores que intervienen en el proceso se mantienen constantes.

V_8 =Variedad (Pindar).

V_9 =Variedad (Q96).

b_0 =Intercepto.

V_{10} =Variedad (Barbados).

V_{11} =Variedad (47).

U =error.

V_{12} =Variedad (Q68).

Para la evaluación de los modelos de regresión en el caso de caña se utilizaron los datos de las fincas comerciales de CATIE periodo 1993 - 1997, Florencia 1997, Atirro 1997 para que de esta manera se pueda obtener mayor precisión en la estimación de los coeficientes de las variables en estudio. Para café se utilizaron los datos de la finca de CATIE de 1995 - 1996 para todos los lotes que se encuentran en periodo de cosecha.

Con este modelo se evaluó los datos de todos los lotes de la finca del CATIE donde se haya dado el cambio del uso de la tierra de pastos a caña y café, evaluando conjuntamente las variables años de cultivo del lote y edad de la caña cultivada, tratando de aislar el efecto de estas dos variables estimando para cada variable los coeficientes individuales que indican y explican el efecto sobre el rendimiento en forma independiente.

Con la peculiaridad de que en este modelo de regresión se incluyeron solo los datos de rendimientos de lotes de cultivo de caña que han sido renovados, esto se plantea de esta manera para tratar de aislar el efecto de la edad de la caña cultivada y la variable tiempo de cultivar caña, para diferenciar mejor el efecto de estas sobre el rendimiento.

Con estas variables se trató de encontrar el modelo que más se ajuste a los datos, tomando en cuenta los supuestos de la regresión tratando de determinar en forma correcta el efecto de los años de cultivo sobre los rendimientos en el tiempo.

Se usó la prueba de F para determinar la significancia del modelo de regresión como un todo también analizó los indicadores estadísticos como el R^2 , cocientes de (t) asociados a los diferentes coeficientes del modelo.

Las hipótesis para probar para la prueba de F fueron las siguientes:

$H_0: b_1 = b_2 = b_3 = \dots = b_k = 0.$

$H_a: \text{al menos un } b_k \neq 0.$

Estas pruebas se realizaron a un α de 0.05 - 0.01 o sea a un 95% y 99% de confianza. Si rechazamos la hipótesis nula concluimos que el modelo de regresión es significativo a ese nivel de confianza o sea que al menos un coeficiente de la variable b_k expresa cierta variabilidad de Y.

De no rechazar la hipótesis nula concluimos que no se encontró evidencia estadística para decir que el modelo de regresión con las variables independientes propuestas explicaron, al menos una proporción, de la variabilidad observada en la variable dependiente o sea el rendimiento.

Las evaluaciones de los coeficientes individuales se realizaron mediante una prueba de (t) dándole una mayor importancia al coeficiente que define la variable años de cultivo de caña en el lote. Para el cual las pruebas de hipótesis de (t) para este coeficiente individual fue realizada teniendo cuidado de hacerla para una cola ya que lo que nos interesaba es la probabilidad de encontrar evidencias estadísticas para demostrar si existe o no un efecto negativo de los años de cultivo sobre el rendimiento.

Las hipótesis para la prueba de (t) de los coeficiente individual años de cultivo fueron las siguientes:

$H_0: b_k = 0.$

$H_a: b_k < 0.$

Las hipótesis se probaron a un α de 0.01 y 0.05 o sea un nivel de confianza de 99% y 95% respectivamente, si rechazamos la hipótesis nula significa que a ese nivel de confianza existe un efecto negativo de la variable que estamos evaluando sobre el rendimiento, si

ocurre lo contrario significa que no existe evidencias estadística para decir que el efecto de una de las variables es negativo a ese nivel de confianza

Para las demás variables las pruebas de hipótesis se realizaron para dos colas las cuales se definen de la siguiente manera:

$$H_0: \beta_k=0. \quad H_a: \beta_k \neq 0.$$

Para el estudio de estos modelos de regresión se exploraron la posibilidad de existencia de multicolinealidad, entre las variable analizadas.

También se efectuó la prueba de multicolinealidad por el procedimiento de **índice de condición de SAS**, y el factor de inflación de la varianza **FIV** y la **Tolerancia** lo cual se realizan en el diagnostico de Multicolinealidad de SAS.

También se probó la posible existencia de los fenómenos estadísticos como heterosedasticidad. Dicho fenómeno ocurre cuando no se cumple el supuesto de que $\text{Var}(U_i) = \sigma^2$ este fenómeno se exploró por medio de la prueba de Breuch Pagan.

La autocorrelación fue otro fenómeno que se estudio en los modelos, el cual ocurre cuando se viola el supuesto de que $\text{Cov}(U_i, U_j) = 0$ ($i=1, \dots, n$ y para todos los $j \neq 0$). Este fenómeno se probó con las pruebas de Durwin Watson.

Estos modelos de regresión nos sirven para evaluar si la cantidad de años cultivados en caña o tiempo del cambio de uso de la tierra tiene un efecto sobre la degradación de las características biofísicas del suelo, que a su vez, está relacionada con la productividad de los diferentes lotes en la finca del CATIE. Con lo que se contribuye a probar la segunda hipótesis del estudio y cumplimos parcialmente el objetivo segundo del estudio.

5.4.3.3.- Análisis de impactos del cambio del uso de la tierra sobre las características biofísica del suelo.

Para esta etapa se efectuaron análisis de los suelos de los lotes de caña y café en estudio y los respectivos testigos de pastos. De esta manera se determinó si el tiempo de cambio de uso de la tierra tiene efecto sobre el deterioro de las características biofísicas del suelo.

En esta etapa se realizó el análisis de los impactos ecológicos del cambio de uso de la tierra sobre las características biofísicas del suelo, así como el efecto sobre la calidad de agua y la actividad biológica de la fauna macroscópica del suelo (lombrices).

El procedimiento estadístico fue el siguiente:

Se realizó una **prueba de F** o sea un análisis de varianza realizado por el procedimiento (**Proc GLM**) de (SAS) mediante un diseño completamente al azar con siete tratamientos definidos de acuerdo a las edades de cambio de uso de la tierra, realizando este análisis para cada una de la características biofísicas del suelo descritas anteriormente.

Con la **prueba de F** se detectó diferencias entre los grupos por variables o características individuales.

Este análisis de las características biofísicas del suelo nos sirvió para detectar cuales de las características separan o distinguen mejor los grupos ya establecidos de acuerdo a la edad de cambio de uso de la tierra y la edad de la caña cultivada en este.

La prueba de F no se pudo aplicar porque no se cumplieron los supuestos requeridos, además se realizó la prueba de **Kruskall Wallis** efectuada por el **Proc Npar1way** de SAS, redefiniendo los grupo de parcelas de acuerdo a la edad.

Los lotes viejos que cambiaron de uso de la tierra antes de 1975 son catorce y los que cambiaron de uso de la tierra después de 1990 siendo siete lotes teniendo siempre como testigo cinco de pasto.

Para un análisis conjunto de las características y de los grupos definidos por edad de cambio de uso y edad de caña cultivada se realizó un análisis discriminante canónico por medio del **Proc Candis** de SAS. Este análisis se realizó con el objetivo de detectar cuales de las características o combinaciones de características separan o distinguen mejor los grupos ya establecidos de acuerdo a la edad de cambio en el uso de la tierra y edad de la caña cultivada.

Estos procedimientos estadísticos sirvieron como base para cumplir el segundo objetivo de la investigación que tiene como propósito estudiar el efecto sobre las características biofísicas influenciados por el cambio de uso de la tierra de pastos a caña y café en la finca del CATIE.

5.4.4.- IV ETAPA : Análisis financiero de los diferentes sistemas de producción.

La ejecución del análisis financiero de los sistemas de cultivo café y caña respectivamente, se realizaron mediante los datos proporcionados por la administración de la finca de CATIE.

La primera fase fue la determinación de los costos y beneficios de la finca del CATIE para café y caña, con los cuales se determinaron el flujo de caja o análisis de costos y beneficios.

La siguiente fase fue el cálculo de los indicadores de evaluación financiera como (VAN, TIR, B/C), los cuales fueron calculados en hojas electrónicas para facilitar el procedimiento.

En la realización del análisis de sensibilidad de cada uno de los casos de evaluación financiera se tomaron en cuenta como parámetros de sensibilidad, el valor de la mano de obra, el valor de la divisa, los coeficientes técnicos, los precios de los productos finales, los precios de los bienes y servicios, ya que según (Aguirre, 1985), son los principales factores indicadores de sensibilidad de proyectos agrícolas.

Como el efecto del número de cosechas fue negativo sobre el rendimiento, se ajustó el análisis financiero así como sus indicadores para explorar o proyectar en cuanto tiempo el (VAN, TIR, B/C), demuestran que la producción del cultivo de caña y café se volvería insostenible financieramente.

Para lograr una optimización de las ganancias o beneficios netos de una actividad agrícola como el cultivo de caña, se realizó el cálculo de los valores actuales netos en forma infinita para un cantidad de periodos de renovación de la caña, todos actualizados a una misma tasa. Después se procedió a realizar una actualización de los valores actuales netos de los diferentes periodos posibles mediante la formula de Fausmann de la siguiente manera :

$$VAN^* = \frac{VAN}{1+e^{-r}}$$

VAN* = Valor actual neto por turno óptimo.

VAN = Valores actuales netos de los posibles periodos de renovación de la caña.

(r) = tasa de actualización.

(t) = longitud del turno tiempo en años.

(e) = base de logaritmos naturales.

El turno de tiempo óptimo para renovación de la caña se identificará para aquel período que presente el VAN más alto, siendo este el turno óptimo económico de renovación de la caña y café en términos financieros.

VI.- RESULTADOS Y DISCUSION.

6.1. ANALISIS DEL USO ACTUAL DE LA TIERRA.

En los últimos 5 años los usos de la tierra en la finca comercial de CATIE, se ha llevado a cabo un incremento de las áreas de café y caña, realizando estos cambios de áreas que anteriormente se encontraban como parcelas para producción pecuaria o áreas de cultivos perennes como cacao u otros.

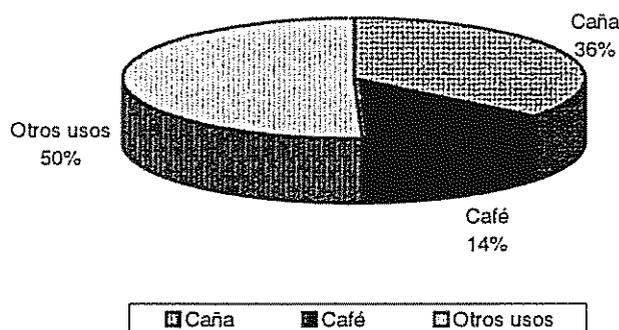


Figura 2. Gráfica de áreas para los diferentes usos actuales de la tierra en la finca comercial de CATIE.

Si observamos la gráfica de uso de tierra para las áreas en estudio se define que la mayor parte de la tierra de CATIE, se encuentra usada por otros tipos de usos diferentes a café y caña los cual representa un (50,5%) con una área de (303,5177 ha) compuestas por diferentes usos los que describiremos posteriormente (cap. 6.1.3).

Los usos de café para cuatro diferentes sistemas de siembra representan el (13.7%) con una área de (82.53 ha).

La caña por consiguiente representa un (35,8%) con una área de (215,42 ha) la cual se encuentran cultivada, en su mayor parte con dos variedades que son las más usadas en la zona baja de Turrialba.

6.1.1.- Cultivo de caña.

Este sistema de cultivo es en el que se dan la mayor parte de los cambios del uso de la tierra en la finca de CATIE. En los últimos años, los lotes más viejos de haberse convertido en cañales tienen una edad de (20 - 25) años. Hasta junio de 1997 la mayor parte de la finca de caña se encontraba cultivada por cinco variedades las cuales son: Pindar y Q96 las que representan más del (95%) del área total de la finca de caña. Otras (Barbados, BJ, LAICA) representan el 5% restante.

Cada una de estas variedades tiene sus diferencias entre si desde el punto de vista morfológico y fisiológico comportándose de diferente formas ante condiciones específicas. Por ejemplo, la variedad Pindar es más susceptible al mal drenaje, por lo que se recomienda que en estos tipos de suelos se cultive una variedad que sea más resistente a este tipo de condiciones. Por estas y otras característica es que se recomienda manejar de forma diferente cada una de las variedades. Desafortunadamente no existe información sobre las diferencias de manejo, principalmente nutricional para lograr un mejor comportamiento en ciertos tipos de condiciones (Chaves. M; Alvarado, A. 1990).

El cultivo de la caña es muy intensivo en manejo; necesita una muy buena preparación de suelo, también es muy intensivo en la extracción de nutrientes, luego que el manejo de la fertilización es muy importante en estos sistemas .

En la finca del CATIE, la mayor parte de las áreas de caña se encuentran en las partes bajas con pendientes que van de (0 - 3 %), existiendo en algunas áreas problemas de drenaje los que se agudizan con la alta precipitación anual en la zona, dificultando no solo el crecimiento sino también las labores culturales de manejo y la cosecha.

6.1.1.1.- Manejo del cultivo.

Normalmente se entiende como un tipo de uso de la tierra a un determinado tipo de cobertura vegetal, sin tomar en cuenta el manejo del mismo, por lo que se dice que un mismo tipo de cobertura vegetal con diferente manejo es otro tipo de uso de la tierra, de allí la importancia de definir el manejo de los cultivos.

- **Preparación de suelo:** la preparación de suelos en la finca de CATIE se realiza en forma mecanizada, iniciando con el desmonte o limpia de las áreas nuevas para cultivo, posteriormente se realizan las labores de aradura y rastreo, trazándose los surcos para la realización de la siembra a razón de (9.0 - 10.0 ton/ha) de semilla.
- **Control de malezas:** existen dos tipos de control de malezas que se efectúan en la finca el control químico con herbicidas como Velpar (0,6 kg/ha/año), Karmex (2,4 kg/ha/año) y 2-4-D (2,0 L/ha/año). También se realiza control mecánico con cultivadoras en las etapas iniciales.
- **Manejo nutricional:** debido a que la caña es un cultivo extractor de nutrientes, se realizan aplicaciones de fertilizantes en las etapas iniciales del cultivo con nutran (nitrato de amonio 300 kg/ha), fórmula 15-3-31 (N, P, K, 300 kg/ha/año). Con este trabajo al realizar un análisis minucioso de la situación nutricional de las áreas en estudio, se obtuvo la información necesaria para la toma de decisiones, para mejorar el manejo nutricional de los cultivos.
- **Cosecha y transporte:** estas actividades se realizan en forma mecanizada, por lo que una excesiva humedad en el suelo dificulta el laboreo y perjudica el posterior comportamiento de las plantaciones.

6.1.2.- Cultivo de café.

Los sistemas de café presentan en la finca las parcelas más veijas en cuanto al cambio al uso de la tierra se refiere teniendo entre 35 - 50 años.

Estos sistemas de cultivo en la finca de CATIE se encuentran en áreas con ciertas limitaciones de pendiente dichos rangos van de (3 - 30%), también existen ciertos problemas de pedregosidad (0 - 20%), esto concuerda con la alta adaptabilidad de este cultivo a estas condiciones.

Existen dos grupos de variedades que actualmente se encuentran cultivadas en la finca comercial de café de CATIE, las cuales son: Caturra y Catimor. Las nuevas áreas que actualmente se están sembrando pertenecen a la variedad (Costa Rica 95) que pertenece al grupo de los Catimores.

Dentro de la finca del CATIE se establecen cuatro sistemas de cultivo de café entre los cuales tenemos: Café con poró, Café con poró y laurel, Café con poró y cítricos, Café con macadamia.

Estos cuatro sistemas representan el área total sembrada por café cuyas áreas individuales se presentan en la figura 3

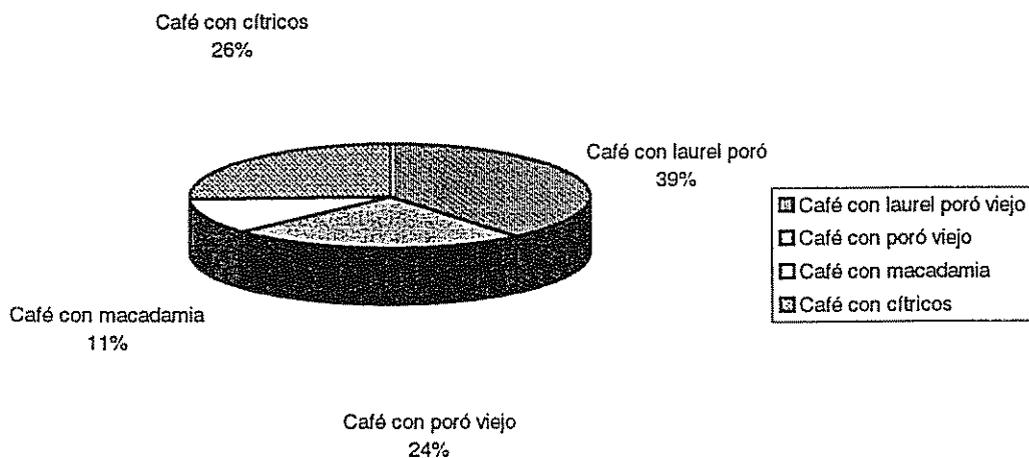


Figura 3. Gráfica de áreas para los diferentes sistemas de café cultivados en la finca de CATIE.

La mayor parte de la finca de café se encuentra cultivada de **café con Laurel** el cual es un sistema muy promisorio representando el 39,3% del área de cafetales con una 32,47 ha. El sistema de **café con cítricos** que es un buen sistema alternativo, el cual, dentro de la finca de CATIE se cultiva en menor grado representando el 25,5% del área de la finca de café con 21,01 ha. El sistema de **café con macadamia** cultivado en menor escala con una área de 9.26 ha representando el 11,2% de la finca de café, y el sistema mas viejo de café con sombra de poro que representa el 24,0% siendo esta área de 19,78 ha.

6.1.2.1.- Manejo del cultivo.

El manejo de este cultivo es muy importante para asegurar una buena productividad del mismo, normalmente y más que todo para los agricultores pequeños, el manejo que se le da a un cafetal está relacionado con los precios, pero en los agricultores medianos y grandes mantienen un manejo adecuado, aunque los precios estén bajos para asegurar una productividad cuando los precios presenten su mejor comportamiento.

- **Preparación de suelos:** para la preparación de suelos en las áreas de café se realiza en forma mecanizada el subsoleo del suelo para mejorar las características físicas como estructura, densidad aparente, aireación y absorción de agua.
- **Control de malezas:** el control de malezas en este cultivo se realiza en forma manual, y químico, en este se utilizan algunos herbicidas entre los cuales están Raundoup (Glifosato) 4.5 L/ha/años, Gardoprin (3.0 L/ha/año), estas cantidades de herbicidas se realizan en tres aplicaciones por año con lo que se asegura el control de hierbas que compitan con el cultivo y de esta manera asegurar la producción.
- **Manejo nutricional:** la nutrición en este cultivo representa el factor más importante para asegurar la productividad del café (Palma, 1994). En la finca de CATIE actualmente; además de la aplicación de material orgánico o desechos de la pulpa del café beneficiado, se aplican fertilizantes como nutran (nitrato de amonio 300 kg/ha/año), fórmula 12-24-12 NPK (350 kg/ha/año), fórmula 20-7-12-3-1-2 (300 kg/ha/año) en el primer año o al siembra. En los años subsiguientes se aplica periódicamente (300 kg/ha/año) de nutran (nitrato de amonio), 350 kg de fórmula (20-7-12-3-1-2), y 350 kg de fórmula especial (18-5-15-6-2). Con la información que obtuvimos se presenta la información necesaria para definir los programas de manejo nutricional para asegurar la productividad del cultivo.

6.1.3.- Otros usos de la tierra.

Estos representan la mayor parte de la finca de CATIE con una área total de (303.5177 ha) representando el (50,5%) del total del área de la finca dentro de estos usos tenemos:

- Areas de pastos para producción pecuaria la cual representa la mayor parte de estos otros tipos de uso en la cual se cultivan pastos como *Brachiaria (Brachiaria brizanta)*, Estrella (*Sinodon nlenfuencis*), natural, y áreas de plantas forrajeras como la morera.
- Areas de plantaciones forestales con especies como pino, eucalipto, y en menor grado teca.
- Areas de instalaciones de investigación y viviendas.

6.1.2.- Mapa de uso actual de la tierra.

El uso de la tierra en la finca de CATIE se encontraba planteado en un mapa escala (1:10000) elaborado en 1992 el cual se actualizó hasta junio de 1997 delimitando en la finca las nuevas áreas de café y caña, obteniendo un mapa en una escala de (1:10000), los usos de la tierra que se identificaron fueron:

- **Café con poró (viejo):** estos lotes son los más viejos de la finca de café, entre las áreas estudiadas representan (19,78 ha).
- **Café con poró y laurel viejo:** estas áreas son las sembradas antes de 1997 representando una área de (24,75 ha).
- **Café con poró y laurel (nuevo):** son las áreas nuevas de café sembradas hasta junio de 1997 con variedades catimores (Costa Rica 1995) representan una área de (7,71 ha).
- **Café con poró y cítricos:** en este grupo de uso están los lotes de café con naranja y limón, son lotes que han sido resembrados antes de 1992.
- **Café con macadamia:** estos lotes representan una área de (9,26 ha) y son los lotes que fueron sembrados alrededor de 1990.
- **Caña vieja:** son todas las áreas de caña que se sembraron antes de 1994 representando una área de (74,32 ha).
- **Caña nueva:** representan una área de (141,095 ha), siendo estas las áreas nuevas de caña sembrada de 1994 hasta junio de 1997.

Estas áreas se representan en el mapa de **Uso Actual de la Finca de CATIE** presentado en la **figura 4** con lo que cumplimos parcialmente el primer objetivo del estudio.

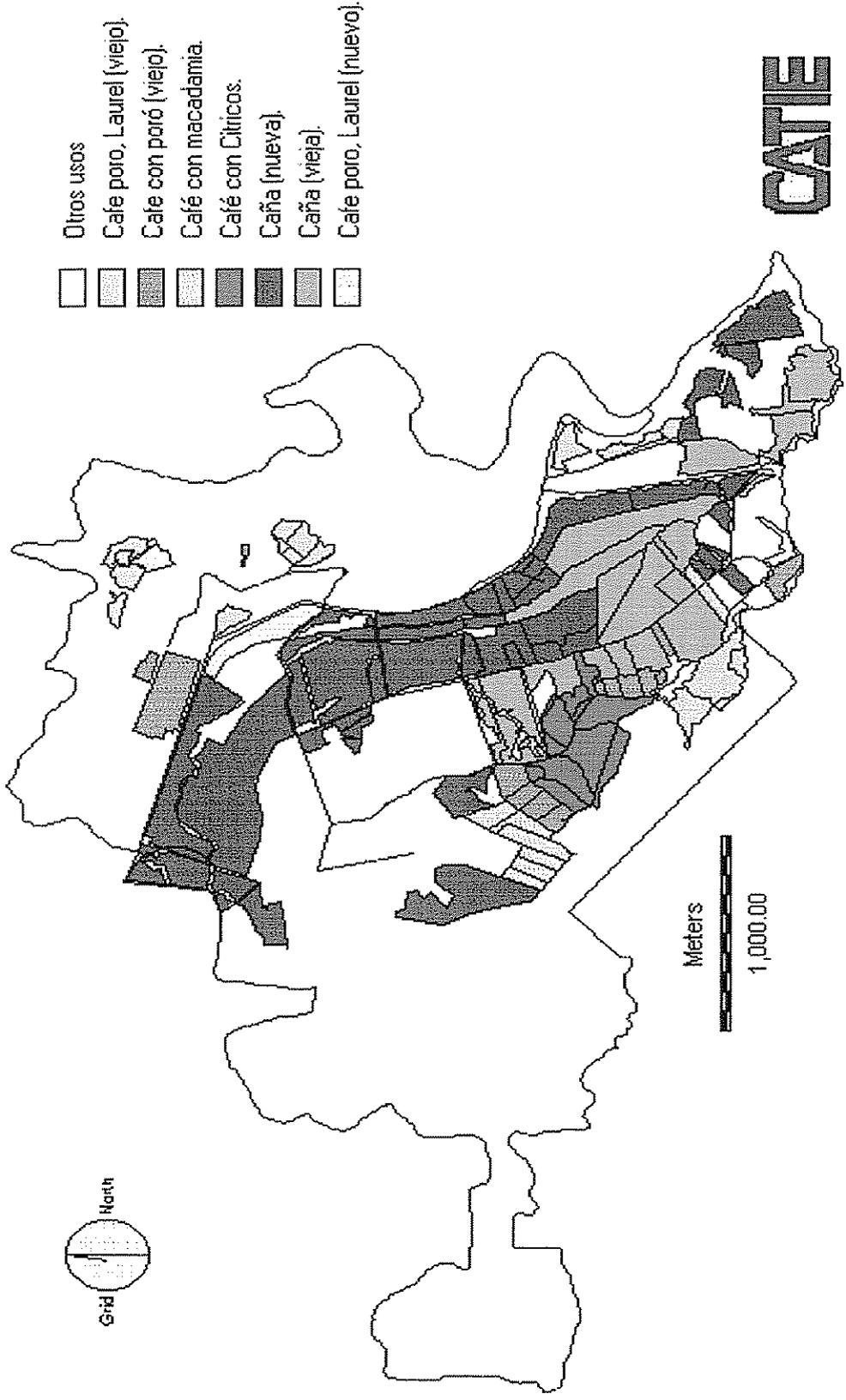


Figura 4. Mapa de uso actual de la finca del CATIE hasta junio de 1997

6.2.- ANALISIS DE LA SITUACION DE LAS CARACTERISTICA BIOFISICAS DE SUELO Y AGUA COMO INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.

Los indicadores de sostenibilidad a nivel de suelos como características químicas (N, P, K, Ca, Mg, C, CIC y bases, acidez extraíble, saturación de bases y acidez, nitratos y amonio); físicas, densidad aparente, textura; y biológicos presencia de lombrices si las comparamos en el tiempo o hacemos un análisis puntual del estado de una característica, nos da una pauta de la sostenibilidad del sistema desde el punto de vista ambiental (De Camino y Müller, 1993).

Villegas (1995), utilizó indicadores de sostenibilidad para estudiar la sostenibilidad de la cuenca del río Reventado en Cartago, Costa Rica, usando los sólidos totales, sólidos disueltos, nitratos y amonio en el agua como indicadores de sostenibilidad.

6.2.1.- Análisis de las características biofísicas del suelo.

Para definir el estado de las características biofísicas del suelo estas se analizaron desde diferentes puntos de vista, como un análisis de comparación en el tiempo y entre los diferentes tipos de uso de la tierra usando como testigo parcelas de pastos.

6.2.1.1.- Comparación de las características del suelo para los diferentes tipos de uso de la tierra.

En este análisis de las características del suelo para los diferentes usos evaluamos el estado de los suelos de las parcelas de café, caña y pastos comparándose entre sí como un indicador de calidad del suelo.

Para lograr esta comparación con los datos obtenidos de los muestreos en el área de estudio se realizó una prueba de Kruskal Wallis y discriminante canónico, usando como grupos los diferentes tipos de usos de la tierra, obteniéndose los siguientes resultados.

Se aplicó una prueba no paramétrica en este caso de Kruskal Wallis porque la mayoría de las variables a ser evaluadas no cumplieron los supuestos de normalidad. al analizar los resultados de la prueba de (F) se encontró que existían diferencias entre la mayoría de las características o variables a evaluar, excepto para nitrato, amonio, y densidad aparente. Los resultados de la prueba de Kruskal Wallis se observan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de F y probabilidades en la comparación de las principales variables para los uso de la tierra: café, caña y pastos.

VARIABLE	F	Pr > F
Lombrices	53.9911	0.0001**
pH	27.0753	0.0001**
Acidez extraible	25.5816	0.0001**
Calcio	9.5509	0.0003**
Magnesio	15.3294	0.0001**
Potasio	2.6454	0.0800NS
Fósforo	9.1132	0.0004**
Materia orgánica	5.5823	0.0062**
Carbono	198.3609	0.0001**
Nitrógeno	5.8449	0.0050**
Densidad aparente	2.2160	0.1187NS
Amonio	0.9563	0.3906NS
Nitratos	1.8943	0.1601NS
CIC	1.1439	0.3260NS
Calcio	5.2597	0.0081**
Magnesio	13.6561	0.0001**
Potasio	6.5061	0.0029**
Sodio	3.8440	0.0274**

** Existe diferencias estadísticamente significativas a un alfa de 0.05 - 0.01.

NS No existen diferencias estadísticamente significativas a un alfa de 0.05 - 0.01

Salida de SAS.

En los datos anteriores de la prueba de Kruskal Wallis determinamos que para las características biofísicas del suelo como (lombrices, pH, acidez extraible, calcio, magnesio, fósforo, materia orgánica, carbono, nitrógeno, amonio, calcio intercambiable, magnesio intercambiable, potasio intercambiable, sodio intercambiable) analizadas en este estudio, existen diferencias estadísticas a un α de (0.01) o sea a un 99% de confianza estadística, al compararlas para los diferentes tipos de uso de la tierra (café, caña, y pasto), determinando que los suelos de estos diferentes tipos de cultivo en la finca son diferentes, excepto para las variables de (potasio, nitratos, amonio, CIC y densidad aparente) para los que no existió

diferencia estadística a un α de (0.01 - 0.05), con lo que podemos concluir que para estas características los suelos de los diferentes cultivos poseen un comportamiento estadísticamente igual.

Cuadro 2. Estructura total de las variables canónicas en comparación para los tres diferentes usos de la tierra con las principales características biofísicas del suelo estudiadas.

VARIABLES	CAN1	CAN2
Lombrices	-0.014136	0.909501
pH	0.707993	-0.048554
Acidez extraíble	-0.698341	-0.036930
Calcio	0.490786	-0.159174
Magnesio	0.595306	0.103039
Potasio	-0.221403	0.221892
Fósforo	-0.491980	-0.113174
Materia orgánica	0.314493	0.298240
Carbono	0.941928	0.065752
Nitrógeno	0.096006	0.455591
Densidad aparente	0.272944	-0.037367
Amonio	-0.136043	0.138492
Nitratos	-0.226892	0.130740
CIC	0.148204	0.151086
Calcio	0.386891	-0.127268
Magnesio	0.569676	0.121569
Potasio	-0.211815	0.428594
Sodio	0.210466	0.314033

Proc candis de SAS³.

Con el análisis discriminante canónico tratamos de definir cuales de las variables presentaban mayor peso para separar los grupos de usos de la tierra en las áreas de estudio, obteniendo los resultados siguientes.

Las variables canónicas expresaron el 100% de la variabilidad para los grupos de usos de la tierra, donde la **variable canónica**⁴ 1 expresa el (94,59%) de la variabilidad de los grupos, siendo las variables que mayor peso aportan para realizar esa diferenciación pH,

³ Proc candis, Procedimiento discriminante canónico de SAS (Sistema de análisis estadísticos).

⁴ Variable canónica, se refiere al conjunto de variables que separan los grupos predefinidos.

calcio, magnesio, carbono, y bases de magnesio, influyendo en forma positiva, y en forma negativa intervienen las variables de (acidez extraíble, y el fósforo).

La variable **canónica 2** expresa el (5.41%) de la variabilidad que ayuda a separar bien los grupos por medio del efecto positivo de las variables (lombrices, nitrógeno, potasio intercambiable, y sodio).

Con este análisis podemos concluir que los suelos de las finca de CATIE que actualmente se encuentran cultivados por (café, caña, pastos) son en la mayoría de sus características estadísticamente diferentes demostrando que los mejores suelos desde el punto de vista nutricional están cultivados por caña, los suelos que presentan valores de elementos nutricionales intermedios, y los más bajos los ocupados por café.

En el gráfico del discriminante canónico se observan bien definidos los diferentes tipos de usos de la tierra en la figura 5.

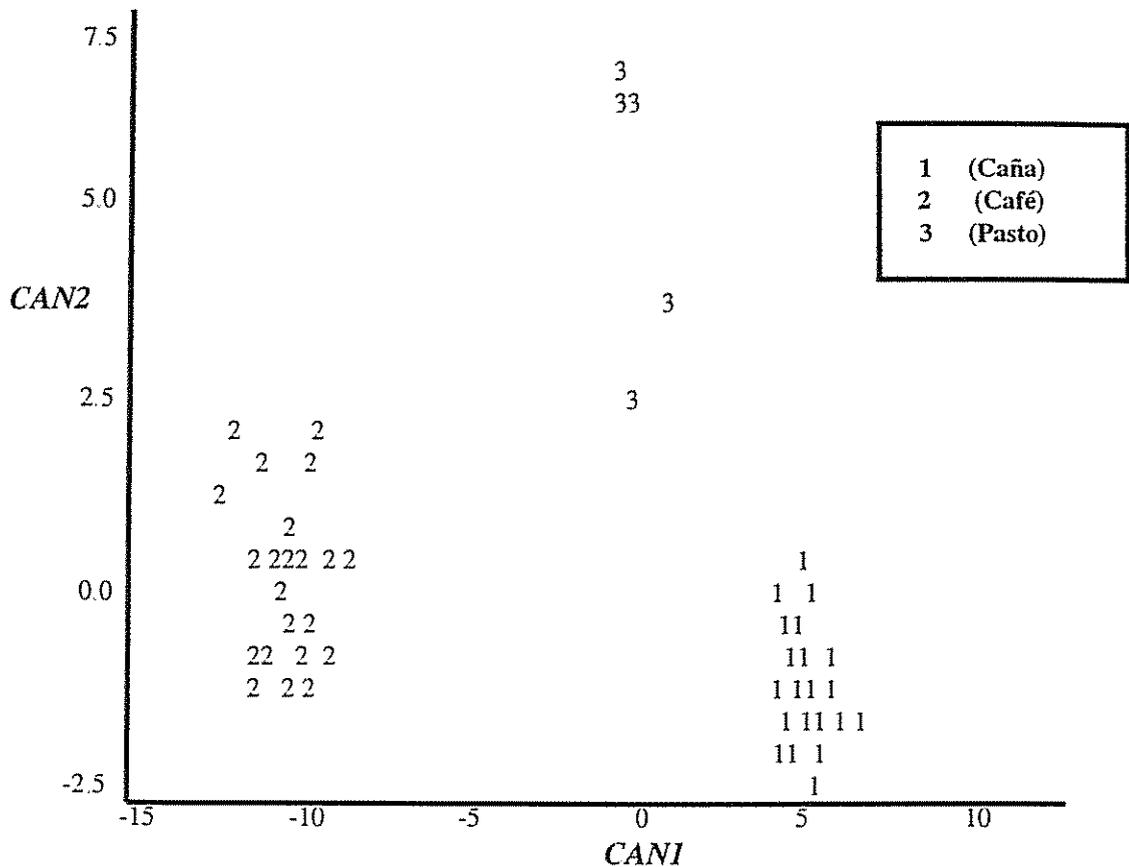


Figura 5. Gráfica de la variable *canónica 1* vs la variable *canónica 2* que nos ayudan a separar de mejor forma los suelos de acuerdo a los diferentes tipos de usos de la tierra.

En la gráfica anterior podemos observar que los diferentes grupos de uso de la tierra se definen claramente con las variables canónicas compuestas por las características biofísicas descritas anteriormente en el estudio.

6.2.1.2.- Análisis de la influencia de los años de cultivo sobre las características biofísica del suelo para los diferentes sistemas de cultivo.

Para definir el efecto que representan los años de cultivo en las características biofísicas de suelo analizadas en el estudio, se realizó un análisis de comparación para los cultivos de café y caña por medio de la prueba de Kruskal Wallis y el análisis discriminante

canónico determinó si los años de cultivo influyen para la diferenciación del estado nutricional de las áreas, obteniéndose los resultados siguientes.

a).- Análisis de la influencia de los años de cultivo en los suelos cultivados de café.

Entre los lotes de café existen cuatro grupos de diferente edad de cultivo (descritas anteriormente) incluyendo lotes de 50 años de estar sembrados bajo cultivo de café, hasta lotes sembrados en junio de 1997.

Cuadro 3. Análisis de los resultados de la comparación univariada de la principales característica biofísicas del suelo influenciado por los años de cultivo en las parcelas de café.

VARIABLE	F	Pr > F
Lombrices	6.9598	0.0024**
pH	18.3481	0.0001**
Acidez extraible	17.4764	0.0001**
Calcio	18.2637	0.0001**
Magnesio	63.9254	0.0001**
Potasio	4.0263	0.0225**
Fósforo	6.9523	0.0024**
Materia Orgánica	1.7810	0.1849NS
Carbono	2.0183	0.1455NS
Nitrógeno	2.0183	0.1455NS
Densidad Aparente	1.4495	0.2599NS
Amonio	0.2326	0.8725NS
Nitratos	0.2428	0.8654NS
CIC	2.1513	0.1274NS
Calcio	9.9078	0.0004**
Magnesio	28.388	0.0001**
Potasio	2.4157	0.0982NS
Sodio	0.1918	0.9006NS

(**) diferencias estadísticamente significativa a un alfa de 0.05 - 0.01

(NS) No existen diferencias estadísticamente significativas a un alfa de 0.05 - 0.01

Salida de SAS.

Al observar los datos anteriores se encontró que existen diferencias estadísticas significativas a un α de 0.01 para las variables lombrices, pH, acidez extraible, calcio, magnesio, potasio, fósforo, calcio intercambiable, magnesio intercambiable. Para las demás variables no hubo diferencias estadísticamente significativas, con lo que podemos concluir

que para las parcelas de café que tienen diferentes edades de cultivo existen diferencias por lo que es necesario identificar cuales de esas variable, ayudan a separar bien los grupos con el cual obtuvimos los siguientes resultados.

Cuadro 4. Estructura total de las variables canónicas para los cuatro diferentes grupos de edades de cultivo en los sistemas de café.

VARIABLE	CAN1	CAN2	CAN3
Lombrices	0.447622	0.439477	-0.515498
ph	0.855453	0.047752	0.187666
Acidez extraible	-0.822718	0.112459	-0.305053
Calcio	0.782201	0.013185	0.475743
Magnesio	0.925276	0.234465	0.188482
Potasio	0.379980	0.501231	0.243485
Fósforo	-0.602730	0.445339	0.026645
Materia orgánica	0.425110	-0.191449	-0.134068
Carbono	0.464680	-0.103694	0.180957
Nitrógeno	0.464680	-0.103694	0.180957
Densidad aparente	0.229582	0.192554	0.407888
Amonio	0.033364	0.125256	-0.184768
Nitrato	0.037821	0.206104	-0.008119
CIC	0.208771	0.329062	0.439785
Calcio	0.741293	-0.010589	0.334559
Magnesio	0.869442	0.271369	0.141273
Potasio	0.315181	0.414209	0.237757
Sodio	-0.033992	0.177190	0.057338

Proc candis de SAS.

Las tres variables canónicas creadas con las características de suelo estudiadas representan el 100% de la variabilidad, de la cual el 89% se logra con la variable **canónica 1**, el 8% de la variabilidad esta determinada por la variable **canónica 2**. Con estas dos variables canónicas se logra el 97%, y el resto está expresado por la variable **canónica 3**.

En la variable **canónica 1** las variables que más aportan variabilidad para separar los grupos de lotes de café son pH, calcio, magnesio, bases de calcio, bases de magnesio en forma positiva, y en forma negativa acidez extraible y fósforo.

La variable **canónica 2** las características que influyen más para separar los grupos fueron lombrices, potasio, fósforo y potasio intercambiable influyendo todas en forma positiva para diferenciar bien los grupos de suelos con diferentes edades de cultivo.

En la variable **canónica 3** las características que influyen son calcio, densidad aparente y CIC) en forma positiva y en forma negativa lombrices y acidez extraíble.

Con estas variables canónicas podemos inferir que existe diferencias para las parcelas usando como variables discriminante los años de cultivo como un efecto del tiempo sobre los las características biofísicas del suelo de los lotes cultivados de café.

Con la variable **canónica 1 y 2** las que representan el 97% de la variabilidad total que separa los grupos de lotes con diferentes años de cultivo de café, con estas dos variables canónicas se graficó la situación de los grupos de lotes de café de la finca, planteada en la **figura 6**.

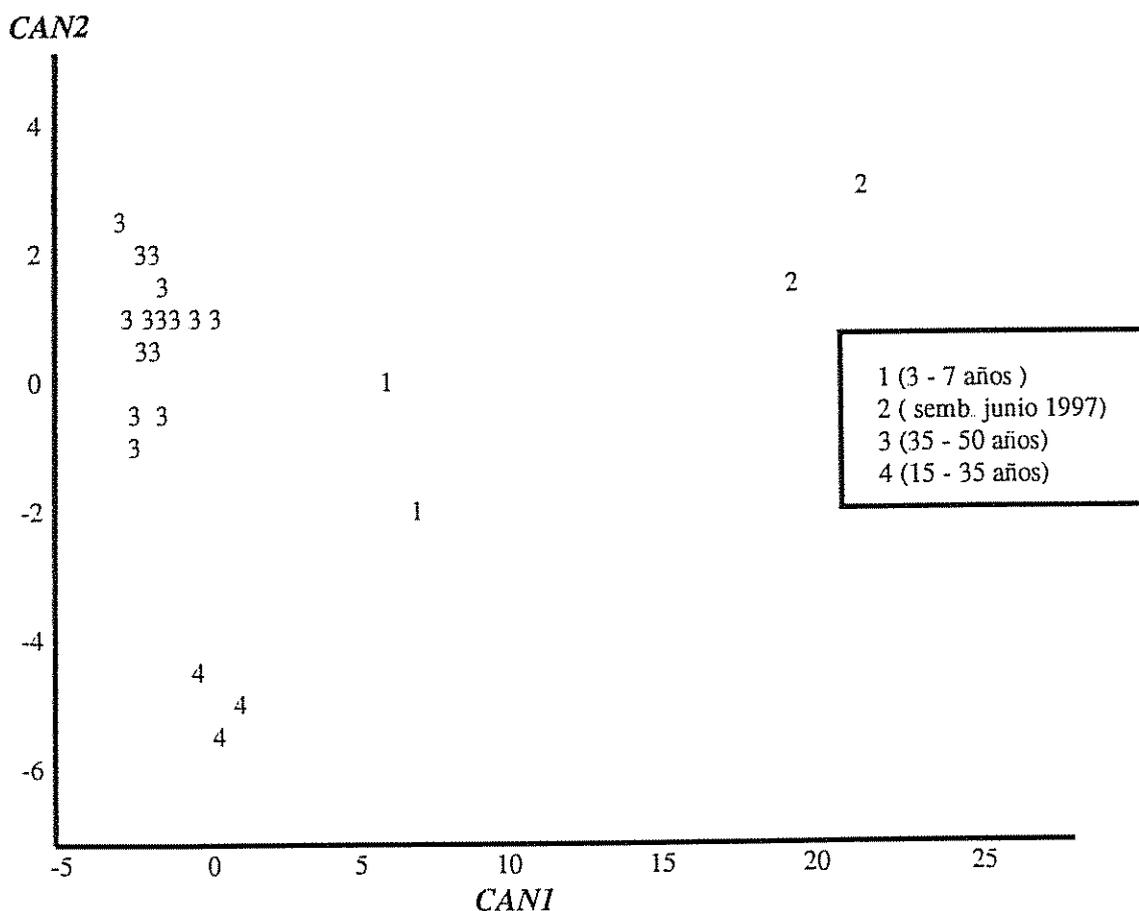


Figura 6. Gráfica de la variable *canónica 1* vs la variable *canónica 2* que nos ayudan a separar de mejor forma los suelos de acuerdo al factor discriminante años de cultivo en las parcelas de café.

El gráfico muestra que se definen bien los grupos de suelos diferentes en base a sus características, usando como variable discriminante los años de cultivo o de cambio de uso de la tierra de pastos u otro uso a café como nuevo sistema de cultivo.

b).- Análisis de la influencia de los años de cultivo en los suelos cultivados de caña.

Los lotes de la finca en las áreas de caña se juntan en dos grandes grupos si lo analizamos desde el punto de vista de los años de cultivo en los que se encuentran: los lotes viejos sembrados antes de 1992 y los lotes nuevos sembrados después de 1992. Con estos

dos grandes grupos de suelos cultivados por caña se determinó la influencia de los años de cultivo sobre las principales características biofísicas del suelo. En este análisis obtuvo los siguientes resultados.

Cuadro 5. Análisis de los resultados de la comparación univariada de las características de suelos y estructura total de las variables canónicas usando como factor discriminante los años de cultivo en las parcelas de caña.

VARIABLES	F	Pr > F	CANI
Lombrices	0.0934	0.7622	-0.068175NS
ph	0.3472	0.5606	0.130816NS
Acidez extraible	0.1154	0.7367	-0.075736NS
Calcio	0.7340	0.3991	0.188864NS
Magnesio	0.2977	0.5898	0.121233NS
Potasio	1.6523	0.2096	-0.278779NS
Fósforo	0.0050	0.9441	-0.015819NS
Materia orgánica	0.1033	0.7504	0.071662NS
Carbono	0.1033	0.7504	0.071666NS
Nitrógeno	0.1980	0.6599	-0.099050NS
Densidad aparente	0.3989	0.5330	0.140077NS
Amonio	0.0150	0.9035	0.027347NS
Nitratos	0.0527	0.8202	-0.051240NS
CIC	0.8229	0.3724	0.199648NS
Bases de Calcio	0.1272	0.7242	0.079481NS
Bases de magnesio	0.3438	0.5625	0.130178NS
Bases de potasio	0.8622	0.3613	-0.204222NS
Bases de sodio	7.7439	0.0097	0.548073**

(**) Existen diferencias estadísticas significativa a un α 0.01 - 0.05.

(NS) No existe diferencia estadística significativa a un α 0.01 - 0.05.

Salida de SAS.

Analizando los resultados de los análisis de Kruskal Wallis univariados y discriminante canónicos multivariado para las comparaciones de los lotes de caña con diferentes años de cultivos, encontramos que la única característica para la cual existió diferencias estadística significativa a un alfa de 0.05 - 0.01 fue el **sodio** intercambiable usando como factor discriminante los años de cultivo, con lo cual podemos concluir que este factor no evidencia estadísticamente hasta la fecha diferencias en las características biofísicas del suelo para las parcelas estudiadas.

Con los análisis del efecto de los años de cultivo sobre las características biofísicas del suelo para los lotes de caña y café probamos parcialmente la segunda hipótesis del estudio, referente a los impactos de los usos de la tierra sobre las características biofísica del suelo tomadas en cuenta en esta investigación.

6.2.1.3.- Comparación puntual en el tiempo de las características biofísicas del suelo (1971 vrs 1997).

Aguirre (1971), realizó un estudio de suelos en las áreas de la finca muestreando perfiles de suelos en diferentes partes de ella. Para dar adecuada precisión a esta comparación se digitalizó el mapa suelos realizado en 1971 ubicando los perfiles, en el mapa realizado en este año (1997), y comparando los datos por medio de una prueba de Kruskal Wallis y el discriminante canónico. Los resultados se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6. Análisis estadísticos de la variables comparadas entre 1971 y 1997.

Variables	F	Pr > F	Pr> ChisQ	CAN1
pH	0.0000	0.9958	0.8553__	-0.000837
Materia orgánica	0.3758	0.5433	0.7799__	0.095496
Carbono	1.5494	0.2203	0.8174__	0.191220
Nitrógeno	0.5671	0.4557	0.9320__	0.117045
Relación C/N	1.5613	0.2186	0.4961__	0.191928
Fósforo	0.4575	0.5026	0.0038**	-0.105268
CIC	56.9417	0.0001	0.0001**	0.764059
Calcio	0.0044	0.9476	0.6618__	0.010351
Magnesio	2.3506	0.1329	0.1813__	0.233341
Potasio	0.6556	0.4228	0.0377**	-0.125713
Sodio	22.4229	0.0001	0.0001**	0.595824
Saturación de Bases	670.0792	0.0001	0.0001**	-0.972746
Relación K/Na	39.9867	0.0001	0.0001**	-0.704119
Relación Ca/Mg	0.6866	0.4121	0.0223**	-0.128603
Relación Mg/K	8.3217	0.0062	0.0203**	0.411606
(Ca+Mg)/K	5.7858	0.0208	0.0890__	0.352388
Densidad aparente	5.3062	0.0264	0.0019**	0.339210

(**) Significancia estadística a un alfa de 0.05 - 0.01

(NS) No existe significancia estadística a un alfa de 0.05 - 0.01

Datos de la salida de SAS.

En los datos anteriormente descritos de los análisis de las pruebas de Kruskal Wallis con las ($Pr > \text{Chisq}$) encontramos que existen diferencias estadísticamente significativas para fósforo, CIC, potasio, sodio, saturación de bases, relación Ca/Mg, relación Ca/Na, relación Mg/K y densidad aparente. Para las demás variables no se presentaron diferencias estadísticas.

Para obtener una mayor información de las variables que presentan diferencias en la comparación de los datos de 1971 y 1997 se analiza los siguientes datos.

Cuadro 7. Comparación de los valores promedios de las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas entre los muestreos de 1971 y 1997.

Variable	Promedio (1971)	Promedio (1997)
Fósforo	8.32 (mg/kg)	10.64 (mg/kg)
CIC	46.44 (cmol+)/kg)	30.90 (cmol+)/kg)
Potasio	0.54 (cmol+)/kg)	0.61 (cmol+)/kg)
Sodio	0.23 (cmol+)/kg)	0.04 (cmol+)/kg)
Saturación de bases	20.91 (%)	93.09 (%)
Relación Ca/Na	3.06 (Cociente)	19.99 (Cociente)
Relación Ca/Mg	2.83 ((Cociente)	3.25 (Cociente)
Relación Mg/K	5.99 (Cociente)	3.11 (Cociente)
Densidad aparente	1.09 (Cociente)	0.95 (Cociente)

En este cuadro podemos definir que las diferencias que el análisis estadístico presenta en estas variables hay que analizarlas cada una de ellas por separado.

En el caso del fósforo podemos ver que las concentraciones han cambiado en promedio (8.32 a 10.69 mg/kg) los dos valores según Bertsch (1995), se encuentran en el rango de bajo para interpretación de análisis de suelos: A pesar que las diferencias que se

evidencian con el análisis estadístico muestran una mejoría, los valores no se encuentran en un rango de buena concentración de fósforo.

El potasio también observa un valor promedio mayor en los análisis actuales que los realizados en 1971, cambiando de 0.54 a 0.61 cmol(+)/kg. Según Bertsch (1995), estos dos valores se encuentran en el rango de concentraciones óptimas.

En el caso del sodio que en muchos casos no se le da tanta importancia por ser un elemento menor en las bases del suelo se nota que se da un decrecimiento en los valores promedios de (0.23 a 0.04 cmol(+)/kg) esto puede deberse a la extracción realizada por las plantas lo que se agudiza porque este no se suministra en forma de fertilizantes en el manejo nutricional de los cultivos.

Las relaciones de elementos o cationes de Ca/Na y Ca/K presentaron un incremento en el primer caso de 3.06 a 19.99 existiendo un cambio influenciado por la disminución de los valores de sodio, influenciando un cambio grande con un cambio pequeño en el sodio, en el segundo caso la relación Ca/Mg aumentó en menor escala de 2.83 a 3.25 cuyos valores según Bertsch (1995), se encuentran en un nivel medio como indicador de fertilidad de suelos.

La relación Mg/K demuestra una disminución en los valores promedios de 5.99 a 3.11 cuyos valores se encuentran dentro del rango de un suelo de fertilidad media, el cual va de 2.1 a 5.0 según (Bertsch,1995).

Bertsch (1995), afirma que en el cálculo de estos valores existe una relación exponencial por lo que la precisión de estos indicadores es muy relativa, por lo que el análisis de los elementos por ellos mismos nos da un mejor criterio de evaluación del estado actual del suelo en cuanto a fertilidad se refiere.

La CIC muestra también una disminución en los valores promedios en el periodo de 1971 - 1997 pasando de 46.44 a 30.09 cmol(+)/kg. Si comparamos estos con los valores de los rangos óptimos, podemos decir que se encuentran en un nivel de moderadamente apta a muy apta, para los cultivos de caña y café respectivamente (Chavez, y Bertsch, 1997)⁵.

Los porcentajes de saturación de bases han aumentado en gran manera lo que demuestra una mejoría de 1971 a 1997 pasando de 20.91% estos valores son bajos teniendo un alto porcentaje de saturación de acidez, en cambio en 1997 se observaron valores promedios para saturación de acidez de 93.09 %. siendo esto un alto porcentaje de saturación de bases. Según Bertsch (1995), suelos que presentan valores altos de saturación de bases mayores de 50 %, demuestran buena fertilidad ya que los porcentajes de saturación de acidez son muy bajos.

Con los análisis de la situación actual de los suelos, con respecto a 1971, el análisis canónico diferenciado para los cultivos café, caña y pastos, y la influencia de los años de cultivo sobre las características, se obtuvo la información necesaria para demostrar que la mayoría de las características del suelo han mantenido un comportamiento estable a lo largo del tiempo, siendo esto un buen indicador de sostenibilidad, con lo que cumplimos parcialmente con la segunda hipótesis del estudio cumpliendo parte del segundo objetivo y se probó la segunda hipótesis del estudio.

6.2.3.- Análisis de las características biofísicas del agua en los sistemas de drenaje natural en la finca.

Para este análisis se escogieron cuatro puntos de muestreo distribuidos a la entrada de la finca, en el sector intermedio, y la salida. Se tomó como testigo un cuarto punto en bosque en la parte alta de la finca.

⁵ Chavez , M. Director ejecutivo de la dirección de investigación de la caña (DIECA), consulta personal, San José, C.R.

Bertsch , H. Centro de investigaciones agronómicas (CIA), consulta personal, San José, CR.

Las muestras se realizaron entre mayo y octubre de 1997, analizándose sólidos totales, sólidos suspendidos y disueltos como características físicas. También se analizaron contenidos de nitrato y amonio como características químicas.

Los análisis estadísticos de comparación de las características biofísicas del agua, se realizaron mediante un análisis de comparación con una prueba de Kruskal Wallis, realizándolos en dos parte: la primera como una comparación de diferentes muestras para todas las características en los cuatro meses, y una segunda donde se compararon los cuatro puntos de muestreos para las características de agua antes mencionadas.

6.2.3.1.- Análisis de las diferentes características en el tiempo de mayo a octubre.

Con las cuatro muestras de las estaciones de muestreo, tomadas en cuatro puntos de la finca, se realizó un análisis estadístico, de los cuatro meses en estudio encontrándose los siguientes resultados.

Cuadro 8. Análisis estadísticos para las características de agua estudiadas en cuatro puntos de muestreo comparadas en base al mes de muestreo de mayo, julio, Septiembre, Octubre de 1997.

Variable	F	Pr > F	Chisq (Kruskal Wallis)
Sólidos Totales	0.0394	0.9890	0.9762 NS
Sólidos Disueltos	2.1067	0.1528	0.1037 NS
Sólidos Suspendidos	0.0166	0.9969	0.9956 NS
Nitratos	15.3560	0.0002	0.0083 **
Amonio	19.7836	0.0001	0.0052 **

(NS) No existen diferencias estadísticas significativas a un α de 0.01 - 0.05.

(**) Existen diferencias estadísticas significativas a un α de 0.01 - 0.05.

Resultados salida de SAS.

En el cuadro anterior podemos observar que no existió diferencias estadísticas en cuanto a las tres características físicas del agua estudiadas **sólidos totales, sólidos disueltos,**

sólidos suspendidos para los cuatro meses en los que se realizó el muestreo, podemos concluir que el comportamiento de estas variables durante todo el año es homogéneo.

No ocurrió así para las características químicas del agua estudiadas **contenido de Nitratos, contenido de Amonio** en las cuales si existió diferencias para los cuatro meses en los que se realizó el muestreo, siendo estas diferencias estadísticamente significativas a un α de 0.01 - 0.05, respectivamente.

Para poder entender mejor la situación de la finca en cuanto a las características del agua estudiada, es necesario analizar estas por separado, aunque el análisis estadístico no haya determinado diferencias significativas para algunas de ellas.

a).- Análisis de los sólidos totales.

Los sólidos totales son un importante indicador de calidad de agua porque es un índice de contaminación inorgánica en causas, ya que estos aumentan con concentraciones crecientes de iones (por ejemplo metales tóxicos disueltos), (Villegas 1995).

Los sólidos totales en este estudio se comportaron de forma similar en los cuatro puntos de muestreo lo que se puede ver en la figura gráfica.

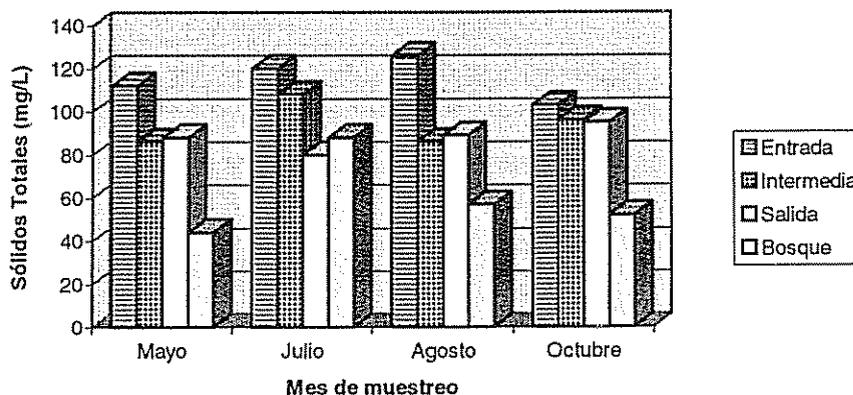


Figura 7. Sólidos totales en los diferentes puntos de mayo a octubre de 1997.

Si analizamos las concentraciones de sólidos totales a través del tiempo podemos observar que existe una tendencia creciente desde el mes de mayo a julio, disminuyendo las concentraciones en el mes de octubre. Esto podría deberse al incremento de la precipitación en esos meses, y luego una disminución en el mes de octubre. Esto puede ser la causa de la disminución de la presencia de sólidos totales en el agua.

En las muestras realizadas a la salida de la finca se nota una tendencia a mantener una concentración de sólidos totales alrededor de (80.0 - 95.0 mg/L) teniendo poca variación en ese rango, estos valores según Powers (1962), se encuentran muy por debajo de los valores a considerar en la toma de agua proveniente de aguas superficiales para ser usada como fuente de agua potable cuyos valores van de 500 mg/L como valor máximo recomendable, y 1000 mg/L como valor máximo aceptable.

En cuanto a las mediciones en el tiempo de los sólidos totales podemos decir que por el comportamiento de los regímenes de precipitación en la zona de Turrialba, es difícil capturar una tendencia con pocas muestras, pero si nos da perfectamente la información necesaria para analizar la situación de la calidad del agua, en base a criterios establecidos para diferentes usos.

b).- Análisis de los sólidos disueltos.

Los sólidos disueltos son un importante indicador de calidad de agua, porque en este se contabilizan aquellos agentes extraños disueltos en el agua que representan un importante porcentaje de contaminantes, que en muchos casos, pueden ser perjudiciales para la salud de las personas (Villegas, 1995).

El comportamiento de este indicador para los cuatro puntos de muestreo en los diferentes meses se muestra en la figura 8.

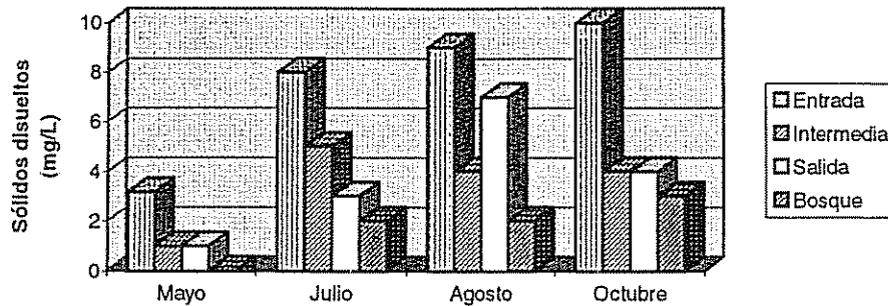


Figura 8. Sólidos disueltos en los diferentes puntos de muestreo de mayo a octubre de 1997.

Los sólidos disueltos en los puntos intermedio, salida muestran un efecto creciente en los meses de mayo, julio, agosto, disminuyendo en el mes de octubre, presentando un comportamiento similar para los sólidos, totales puesto que los sólidos disueltos forman parte importante de ellos.

En el punto de muestreo de la entrada y bosque siempre se observó un comportamiento creciente. Dichos puntos son los que tienen una influencia exterior más fuerte de las partes altas en donde se localizan fincas, las que pueden influenciar este comportamiento.

En la salida de la finca se observan valores de concentraciones de sólidos disueltos que van de 0 - 10.0 mg/L y según Villegas. (1995), estos valores son de agua apta para suministro doméstico.

Villegas (1995), encontró en el río Reventado de Cartago en un estudio de las principales características del agua, valores que van de 215.0 mg/L a un máximo de 9490.0 mg/L estas cantidades demuestran una diferencia muy grande si las comparamos con los datos de la finca, haciendo la salvedad que los caudales del río Reventado son mucho mayores que los que se presentan en la finca de CATIE.

c).- Análisis de los sólidos suspendidos.

Villegas (1995), afirma que los sólidos suspendidos son un importante indicador del transporte de sedimentos, los cuales pueden acarrear metales tóxicos.

El comportamiento de los sólidos disueltos en los diferentes puntos de muestreo en las diferentes fechas se define en la figura 9.

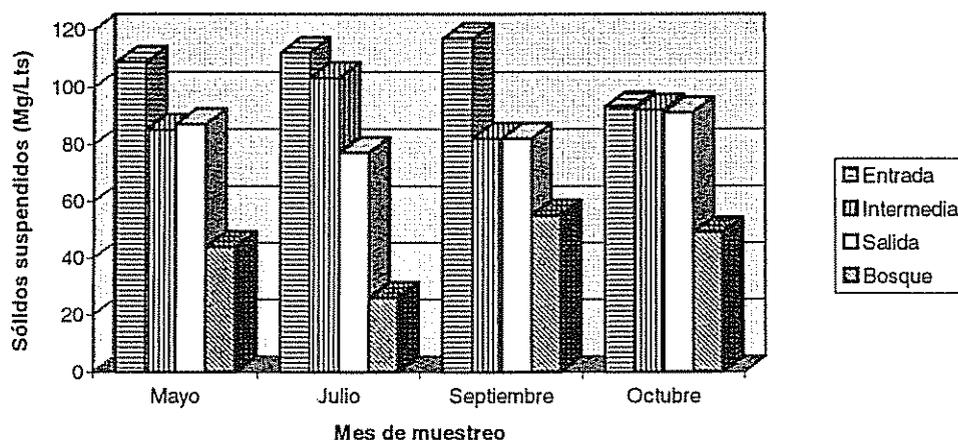


Figura 9. Sólidos suspendidos en los diferentes puntos de muestreo de mayo a octubre de 1997.

Los sólidos disueltos muestran un comportamiento no muy definido en los diferentes puntos de muestreo con algunos puntos como en la entrada de la finca (1). Hubo un incremento pequeño entre los meses de mayo, julio, septiembre, teniendo una disminución en el mes de octubre.

En el punto intermedio (3) de la finca se da una tendencia creciente en los meses de mayo a julio y decreciente en los meses de septiembre y octubre

En los puntos o estaciones de muestreo (4) intermedio y (2) bosque se observa un efecto similar, en los cuales no se muestra una disminución de mayo a julio aumentando en los meses de septiembre a octubre.

Los valores de los sólidos totales en la salida de la finca presenta datos que van de 77.0 - 91.0 mg/L estos están en un rango de buena calidad para suministro doméstico según Villegas (1995), el máximo valor permisible para este uso es de 100 mg/L.

Villegas (1995), en su estudio del río Reventado encontró valores máximos de sólidos suspendidos de 130,100 mg/L y mínimos de 22 mg/L comparando con estos nuestros datos observamos que no existe una variación de esa escala, aunque desde ese punto sería arriesgado compararlos pues ese estudio fue realizado en la cuenca de un río.

Con el análisis de las tres características anteriores (sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos) podemos observar que las diferencias en las cuatro fechas de muestreo, no son muchas como se ven en las figuras, lo cual queda sustentado de igual manera por los análisis estadísticos de los muestreos en los diferentes meses.

También podemos decir que en los diferentes muestreos en las fechas antes mencionadas se observó una calidad de agua adecuada si tomamos como indicador características físicas, como sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos las cuales mantienen en cierta forma un comportamiento similar la mayor parte del año.

d).- Análisis del amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$).

Según Villegas (1995), el amonio es importantes como indicadores debido a que estos nos dan un criterio del nitrógeno contenido en los fertilizantes y pesticidas, los contenidos de amonio en grandes cantidades pueden ser tóxicos a los humanos y animales.

Los valores de amonio para los diferentes puntos en la finca, en los meses de muestreo se plasman en la siguiente figura 10.

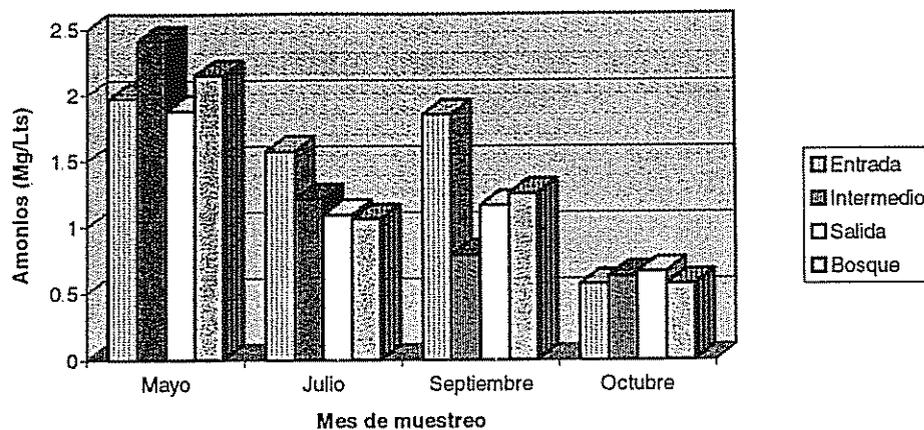


Figura 10. Contenido de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) en los diferentes puntos de muestreo de mayo a octubre de 1997.

El contenido de amonio en la finca de CATIE muestran una tendencia decreciente desde el mes de mayo a octubre lo cual es una consecuencia lógica de los fertilizaciones de la caña y el café las que se realizan entre los meses de marzo y abril cuando la caña rebrota se inicia el manejo de la caña y el café para otra zafra o cosecha.

En la figura se observa que los valores menores de contenidos de amonio se observan en el mes de octubre en donde las fertilizaciones y uso de otros agroquímicos se disminuye. Esta tendencia es clara en la gráfica y se demuestra en los análisis estadísticos en donde existen diferencias para los meses en los que se realizó el estudio.

Daniel *et al* (1994), afirma que para amonio en el agua se considera como valor máximo permisible 10.0 mg/l comparado con los valores obtenidos en la salida de la finca que van de 0.66 - 1.88 mg/l estos estarían muy por debajo de los valores admitidos para agua potable, aunque con valores de 0.9 mg/l ya se afecta la eutroficación y con valores de 0.3 mg/l de nitrógeno inorgánico se promueve el desarrollo de malezas acuáticas en los lagos.

e).- Análisis de los nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$).

El nitrato al igual que el amonio es un importante indicador del contenido de nitrógeno en el agua proveniente de los fertilizantes y pesticidas altos en nitrógeno en su composición química (Villegas, 1995).

La tendencia de los nitratos en el agua de la finca a través del tiempo se muestran en la siguiente figura 11.

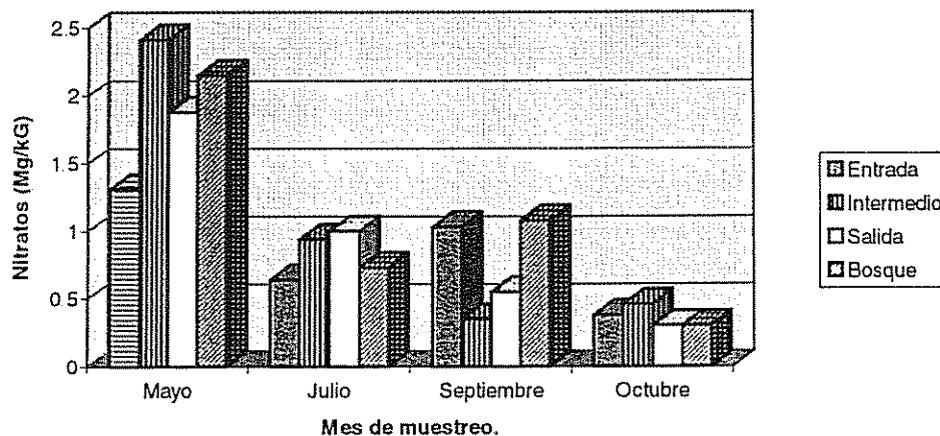


Figura 11. Contenido de Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) en los diferentes puntos de muestreo de mayo a octubre de 1997.

En la figura se define claramente una tendencia decreciente en los contenidos de nitratos en el agua, encontrándose los valores más altos en el mes de mayo, disminuyendo gradualmente hasta obtener los valores más bajos en el mes de octubre.

Con la tendencia de los nitratos se corrobora la hipótesis de que el descenso gradual del contenido de nitrógeno en diferentes formas se debe al efecto de la fertilización del café y la caña las cuales se intensifican al inicio del año, y la lixiviación en el agua se realiza en forma descendente a través del tiempo hasta que se inicie el nuevo periodo de fertilización.

Los valores encontrados para nitratos demuestran que en la finca a pesar de que el efecto de las fertilizaciones se nota en el agua no sobrepasan los estándares máximos de agua permisibles para nitratos en agua apta para consumo humano, los cuales según Daniel *et al* (1994), son de 10.0 mg/L, valores más altos que los presentados en la salida de los sistemas de drenaje de la finca que van de 0.30 a 1.25 mg/L.

6.2.3.2.- Análisis de las características del agua estudiada para los diferentes puntos de muestreo.

Para definir el comportamiento de estas características del agua en los diferentes puntos de muestreo, se compararon los datos obtenidos de los análisis de laboratorio obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro 9. Análisis estadísticos para las características de agua estudiadas, comparadas en base a los diferentes puntos de muestreo entrada, intermedio, salida, bosque 1997.

Variable	F	Pr > F	Prob > chisq Kruskal Wallis
Sólidos Totales	33.7859	0.0001	0.0063**
Sólidos Disueltos	4.7494	0.0209	0.0580++
Sólidos Suspendidos	30.5321	0.0001	0.0057**
Nitratos	0.0316	0.9920	0.9674__
Amonio	0.1529	0.9258	0.9593__

__No existen diferencias estadísticas significativas a un alfa de 0.01 - 0.05.

**Existen diferencias estadísticas significativas a un alfa de 0.01 - 0.05.

++ Existe diferencias estadísticas significativas a un alfa de 0.10.

Resultados salida de SAS.

En la tabla anterior encontramos que las variables de las características físicas del agua como sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, comparándose mediante una prueba de (Kruskal Wallis). Se encontraron diferencias estadísticas significativas a un α de 0.01 - 0.05 para sólidos totales y sólidos suspendidos respectivamente. En el caso de

sólidos disueltos existen diferencias estadísticamente significativas a un α de 0.10, o sea a un 90% de confianza estadística.

En el caso de los nitratos y amonio no hubo diferencias estadísticas significativas a un α de 0.01 - 0.05 al realizarse la comparación de estos con una prueba de Kruskal Wallis.

Es importante realizar un análisis global para cada una de las características del agua estudiadas, dando más importancia a las variables en las que existió diferencias estadísticas, usando como factor de estudio los resultados de los puntos de muestreo de la finca.

a).- Análisis de las características físicas, sólidos totales, disueltos y suspendidos.

El análisis de estas características se resume de mejor forma en la siguiente figura en donde se muestra los contenidos sólidos en sus diferentes formas en los puntos de muestreo.

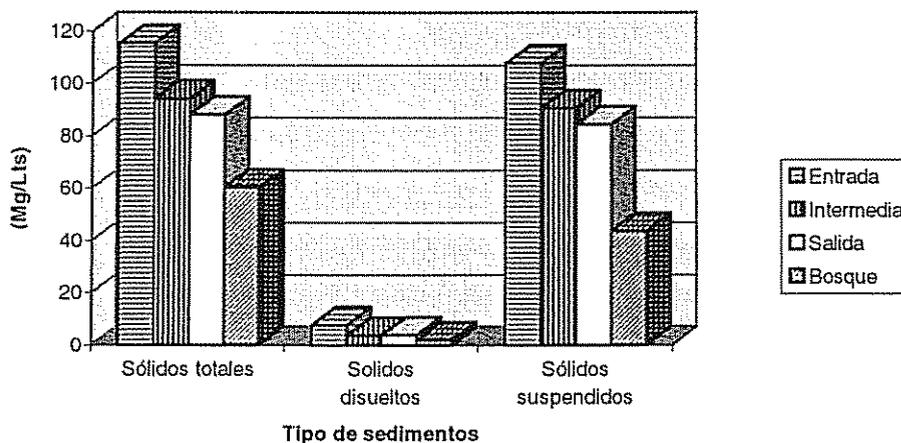


Figura 12. Características físicas en los diferentes puntos de muestreo de la finca.

En la gráfica se nota que los valores más altos en la concentración de sólidos en sus diferentes formas se dan en la parte inicial o entrada de la finca (entrada) cuyas aguas

proviene de los drenajes naturales de las partes altas de las fincas y pequeños asentamientos humanos ubicados en la parte alta de la ciudad de Turrialba, lo cual podría ser una de las causas de la mayor presencia de sólidos totales, disueltos, y en suspensión en el agua, de ese punto de muestreo.

En la mayoría de las muestras en la parte intermedia y salida de la finca se registran valores intermedios de concentración de sólidos totales, disueltos, suspendidos con respecto a los valores de bosque que presentan los valores relativamente más bajos de las cuatro muestras. Este efecto se da por el mayor grado de protección que los bosques ofrecen, por el tipo de cobertura que le da a los suelos, disminuyendo el arrastre de sedimentos por las corrientes de agua.

Las diferencias expresadas en la gráfica anterior, se comprueban en el análisis estadístico realizado para los diferentes puntos de muestreo en base a las características físicas (sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos).

b).- Análisis de las características químicas del agua (nitrato $\text{NO}_3\text{-N}$ y amonio $\text{NH}_4\text{-N}$).

Los nitratos y el amonio que sí demostraron una diferencia estadística en el análisis a través del tiempo, no evidenció estadísticamente diferencias en base a los diferentes puntos de muestreo.

Las comparaciones de las características (nitratos, amonio) en los diferentes puntos de muestreo se observan mejor en la siguiente figura 13.

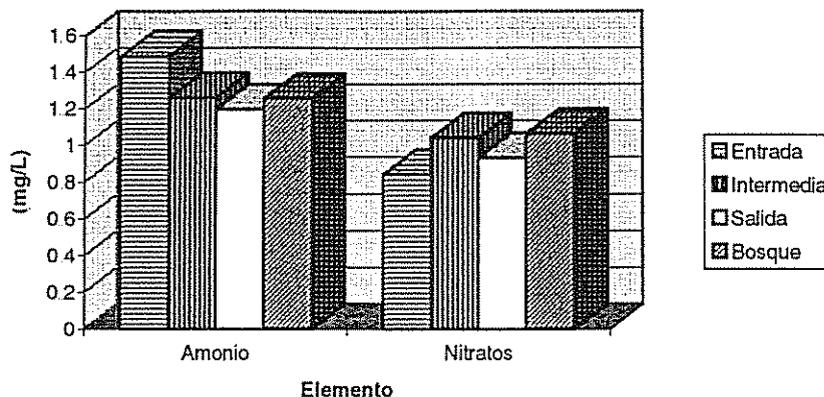


Figura 13. Características químicas en los diferentes puntos de muestreo de la finca.

En la gráfica no se observa grandes diferencias para nitratos y amonio en los diferentes puntos de muestreo. En el caso de amonio se puede ver que los mayores valores se encuentran en la entrada, seguido del bosque y en menor grado, con un comportamiento similar, la parte intermedia y salida de la finca.

Los nitratos demuestran un comportamiento contrario con concentraciones más bajas para el punto de muestreo en la entrada, con valores medios y similares para los puntos de muestreos intermedios y la salida, con algo peculiar, existiendo una mayor concentración en el punto de bosque.

Los valores de nitratos y amonio que se presenta en el punto de muestreo en el bosque, podrían ocurrir debido a las incorporaciones de nitrógeno realizadas por plantas leguminosas fijadoras, y otra explicación podría ser el producto de la actividad microbiana del suelo por medio del ciclo del nitrógeno en un ecosistema muy equilibrado como lo es un bosque natural.

Con el análisis de las características físicas y químicas del agua en la finca se cumple el **segundo objetivo** del estudio, obteniendo información necesaria para aceptar la segunda **hipótesis** que se refiere a los impactos de tipo biofísico influenciados por los cambios de uso de la tierra en la finca de CATIE.

6.3.- ANALISIS DE LOS RENDIMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.

Después de analizar la situación de los impactos de los usos de la tierra de café y caña en cuanto a las características de suelo y agua, es importante realizar un estudio de la situación actual de los rendimientos de los diferentes cultivos, y tratar de detectar si existe algún efecto de los años de cultivo sobre los rendimientos, lo que nos proporcionaría una mayor evidencia para definir el estado de estos cultivos como un sistema integrado, ambiente y planta.

6.3.1.- Análisis de los rendimientos de caña.

El análisis de la situación de los rendimientos de la caña se realizó con los datos proporcionados por las administraciones de las fincas de Atirro, Florencia y CATIE, con lo cual se obtuvo mayor precisión en el análisis.

Las variables con las que se analizaron los rendimientos fueron:

- **Zafras (93, 94, 95, 96, 97)** con lo que pretendemos detectar el efecto que las diferentes condiciones de los años anteriores poseen sobre los rendimientos de la caña en la finca.
- **Variedad (Pindar, Q96, Q68, 47, Barbados)** las cuales fueron las variedades estudiadas en las tres fincas.
- **Edad** son los años o número de cortas que tiene un lote desde que se sembró o se renovó por última vez.
- **Años de cultivo** incluye el periodo de años que posee una misma parcela de tierra desde que se cambió el uso de la tierra hasta la fecha.
- **Aptitud física del uso de la tierra (moderadamente apta, marginalmente apta)**, determina el grado de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de la caña determinada mediante los sistemas expertos con el programa (ALES).
- **Mese de cosecha (enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio)** determina el efecto que tiene el mes en el que se cosecha sobre los rendimientos.

Chavez (1997)⁶, afirma que con estas variables es posible explicar la mayor parte de la variabilidad de los rendimientos del cultivo de la caña.

6.3.1.1.- Análisis estadístico de los rendimientos de la caña.

Este análisis se realizó mediante la evaluación de diferentes modelos, con diferentes formas funcionales, realizando análisis estadístico y las diferentes pruebas de los supuestos de los modelos de regresión, realizándose estos procedimientos en las siguientes fases.

a).- Los modelos se trabajaron en forma de variables artificiales (Dummy) para las zafra con 5 categorías, variedades con 5 categorías, mes de cosecha con 6 categorías, aptitud del uso de la tierra con 2 categorías, para estas variables se eliminó una de las categorías para evitar caer en la trampa de la variable Dummy o artificial lo que ocurre si no se elimina una de las categorías. Las categorías omitidas son evaluadas en el intercepto (Johnson, *et al* 1985). En este paso se eliminaron las variables zafra 93, variedad Q68, mes de cosecha de enero, y aptitud del uso de la tierra ligeramente apta.

b).- Se realizaron pruebas con diferentes modelos de regresión con todas las variables antes mencionadas, encontrando las que nos proporcionaron mayor explicación de la variabilidad de los rendimientos para el cultivo de la caña; tratando de eliminar algunas variables que no presentaron significancia estadística, pasando estas a ser evaluadas en el intercepto, si se trata de variables Dummy o artificiales. También se juntaron aquellas variables en las que se observó un comportamiento similar, presentando errores estándares cercanos después de este paso las variables que nos quedaron en el modelo fueron :

Zafra intermedia = zafra 94 + zafra95.

Zafra mejor = zafra 96 + zafra 97.

Zafra eliminada = zafra 93 medida por el intercepto.

Variedad Q96.

⁶ Chavez, M. Director ejecutivo (DIECA), Comunicación personal, San José, C.R.

Variedad Pindar.

Variedad Barbados.

Variedades eliminadas = variedad 47 y variedad Q68 medida por el intercepto.

Mes de febrero.

Mes de marzo.

Mes de mayo.

Meses eliminados = enero, abril y junio.

Aptitud de la tierra moderada.

Aptitud eliminada = aptitud ligera, medida por el intercepto.

Edad, edad², edad³.

Años de cultivo.

c).- Con estas variables se probaron diferentes formas funcionales para definir el modelo que más se ajustó a los datos de las tres diferentes fincas en estudio; encontrando que los datos se ajustaban claramente a un modelo cubico, con esto se construyó una función de producción neoclásica en base a la variable, edad del cultivo de la caña.

d).- Con el modelo cúbico en base a años de cultivo se probaron los supuestos de la regresión obteniendo los siguientes resultados.

- Se evaluó la multicolinealidad encontrando que existía en forma moderada moderada influenciada por las variables edades en forma lineal, cuadrática y cubica las cuales lógicamente se encuentran correlacionadas porque se definen en función de la edad, los índices de condición de SAS los cuales nos dan un criterio del grado de multicolinealidad para la variable edad lineal es de (13.39), edad cuadrática (31.10) y edad cúbica (102.96). También estas variables demostraron que son las que más inflan la varianza en el modelo.
- Al evaluar la autocorrelación, encontramos un valor de la prueba de Durbin Watson de (1.622) con lo cual concluimos que este problema no existe entre las variables del modelo.

- Con la prueba de Breush Pagan se trató de probar si existía multicolinealidad en el modelo encontrando un valor de Chi- cuadrado calculado por esta prueba de (256.2) existiendo el problema de heterosedasticidad con una varianza amplia al inicio y reducida al final en forma de escudo.

d).- Evaluados todos los supuestos encontramos que el único problema que el modelo presentaba en forma severa era el de heterosedasticidad, para lo cual se realizó una transformación de las variables del modelo, siendo la más indicada en este caso, según Johnson, *et al* (1985), se dividieron cada una de las variables del modelo entre la raíz cuadrada del valor absoluto de los residuos, dicha evaluación es valida ya que el modelo se divide a ambos lados de la igualdad y esta se mantiene matemáticamente.

6.3.1.1.1.- Evaluación del modelo definitivo.

El modelo definitivo que mejor se ajustó a los datos después de considerar los supuestos teóricos del análisis de regresión el modelo muestral fue el siguiente.

$$\begin{aligned}
 (\text{Rend}/\bullet | \text{res} |) = & b_0 + (e_1(\text{edad})^3/\bullet | \text{res} |) + (e_2(\text{edad})^2/\bullet | \text{res} |) + (e_3(\text{edad})/\bullet | \text{res} |) + \\
 & (z_4(\text{zafra94} + \text{zafra95})/\bullet | \text{res} |) + (z_5(\text{zafra96} + \text{zafra97})/\bullet | \text{res} |) + \\
 & (v_6(\text{Q96})/\bullet | \text{res} |) + (v_7(\text{Pindar})/\bullet | \text{res} |) + (v_8(\text{Barbados})/\bullet | \text{res} |) + \\
 & (m_9(\text{febrero})/\bullet | \text{res} |) + (m_{10}(\text{marzo})/\bullet | \text{res} |) + (m_{12}(\text{mayo})/\bullet | \text{res} |) + \\
 & (a_{13}(\text{aptitud moderada})/\bullet | \text{res} |) + (a_{14}(\text{años de cultivo})/\bullet | \text{res} |) + \\
 & (\text{error}/\bullet | \text{res} |)
 \end{aligned}$$

También con este modelo se probaron los supuesto de la regresión, encontrando que se cumplían todos, mejorando con esto el supuesto de la heterosedasticidad. Con la prueba de Breush Pagan se encontró un Chi - cuadrado de (22.9162) comparándolo con un Chi - cuadrado de tabla con 14 grados de libertad es de (23.7) con lo que se supera el problema de heterocedasticidad.

Después de un análisis minucioso de las variables para diferentes modelos, evaluamos el modelo modificado con todos los criterios anteriores, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro 10. Resultado del análisis de varianza del modelo definitivo modificado.

FUENTE	GL	SCS	CMD	Valor F	Prob>F
Modelo	14	306548.028	21896.287	771.681	0.0001
Error	135	3830.598	28.374		
Error total	149	310378.627			
Root MSE	5.326		R ²	0.9877	
Dep Mean	28.257		R ² ajustado	0.9864	
C.V.	18.924				

Resultados de la salida de SAS.

Con estos datos en la tabla podemos definir que el modelo es significativo a una prueba de F con un alfa de 0.01 o sea con un nivel de confianza estadísticas de 99% con lo que podemos decir que existe por lo menos una variable que define la variabilidad de los rendimientos de la caña.

Podemos observar que el R² del modelo modificado es muy alto, el cual significa que con las variables utilizadas explicamos el 98% de la variabilidad de los rendimientos o variable dependiente.

Al concluir que el modelo es significativo a un alfa de 0.01 o sea a un intervalo de confianza de 99% se evaluó la significancia de los coeficientes individuales de las variables en donde se obtuvo lo siguiente.

Cuadro 11. Análisis estadísticos de los coeficientes individuales en el modelo.

VARIABLES	GL	PARAMETRO (Ton/ha) de caña.	Prob> T
Intercepto	1	51.988	0.0001**
Zafra 2 y 3	1	15.867	0.0447**
Zafra 4 y 5	1	24.563	0.0019**
Variedad Q96	1	35.019	0.0001**
Variedad Pindar	1	29.638	0.0001**
Variedad Barbados	1	30.31	0.0008**
Cosecha febrero	1	20.721	0.0001**
Cosecha marzo	1	8.308	0.0363**
Cosecha en mayo	1	12.002	0.0008**
Aptitud moderada	1	21.121	0.0001**
Años de cultivo	1	0.229	0.1011 NS
Edad	1	-17.650	0.0001**
(Edad) ²	1	1.318	0.0001**
(Edad) ³	1	-0.026	0.0001**

(NS) No existen diferencias estadísticas significativas a un alfa de 0.01 - 0.05.

(**) Existen diferencias estadísticas significativas a un alfa de 0.01 - 0.05.

Resultados de la salida de SAS.

En la tabla anterior podemos observar que todas las variables en este modelo fueron significativas a un alfa de 0.05 o sea a un porcentaje de confianza de 95%. La única variable que no presentó significancia estadísticas para todos los modelos probados, fue la variable años de cultivo, cuyo valor de parámetro estimado siempre fue positivo (0,229), con lo que podemos decir que no existió evidencia estadística de que los años de cultivo de una parcela bajo caña de azúcar no influyeron sobre los rendimientos.

Con esta parte se contribuye a cumplir el objetivo número 1 y probamos la hipótesis número 2 del estudio, en donde se define que se pretende detectar si existe sostenibilidad de los rendimientos en el tiempo del cultivo de caña, en donde se pretendía encontrar un efecto de los años de cultivo de caña, sobre los rendimientos en la finca de CATIE.

Con estos datos anteriores, definimos el modelo de regresión en base a rendimiento de la siguiente manera.

$$Y = -17.650(\text{edad})^3 + 1.318(\text{edad})^2 - 0.026(\text{edad}) + 51.988$$

Con este modelo podemos construir diferentes escenarios modificando el intercepto para cada una de las variedades, mes de cosecha, tipo de aptitud de uso de la tierra para caña y diferentes tipos de zafras.

Estas modificaciones para las diferentes variables se realizan con los siguientes parámetros estimados así:

- **Zafra** en esta variable existen tres categorías una zafra eliminada la de 1993, que presentó los rendimientos más bajos medidos por el intercepto (51,988 ton/ha). La segunda categoría que es la zafra 94 y 95 que presenta un rendimiento mayor que los de la zafra anterior en (15,867 ton/ha). La tercera y última categoría es la de mayor rendimiento con (24,563 ton/ha) más que la categoría medida por el intercepto.
- **Variedad** para esta variables se presentan cuatro categorías de las cuales una fue eliminada y esta medida por el intercepto (51,988 ton/ha). En estas variedades están (Q68 y 47). La segunda categoría es para la variedad (Q96) que presentó los rendimientos más altos con (35,019 ton/ha) más que la categoría omitida medida por el intercepto. La tercer categoría presenta rendimientos de (29,668 ton/ha) más que la categoría omitida evaluada en el intercepto. La cuarta categoría presenta rendimientos de (30,319 ton/ha) más que la categoría omitida.
- **Mes de cosecha** esta variable presenta también cuatro categorías, definiéndose la categoría omitida el mes de enero, abril, y junio los que presentaron un rendimiento similar entre ellos y menor con respecto a los demás meses, medida por el intercepto con (51,988 ton/ha). En la segunda categoría tenemos el mes de febrero que presentó los rendimientos más altos con un incremento de (20,721 ton/ha) más que la categoría omitida. La tercer categoría esta definida por el mes de (marzo) con (8,308 ton/ha). La

última categoría es la del mes de (mayo) con (12,002 ton/ha) más que la categoría omitida medida por el intercepto.

- **Aptitud del uso de la tierra** presenta dos categorías una de aptitud ligera eliminada y evaluada en el intercepto con un valor estimado de (51,988 ton/ha). Una segunda categoría de aptitud moderada con incremento en el rendimiento de (21,121 ton/ha) más.

Con estos parámetros estimados se construyen los modelos para cada una de las condiciones o escenarios que se deseen, algunas de las más importantes se plantean en la siguiente figura.

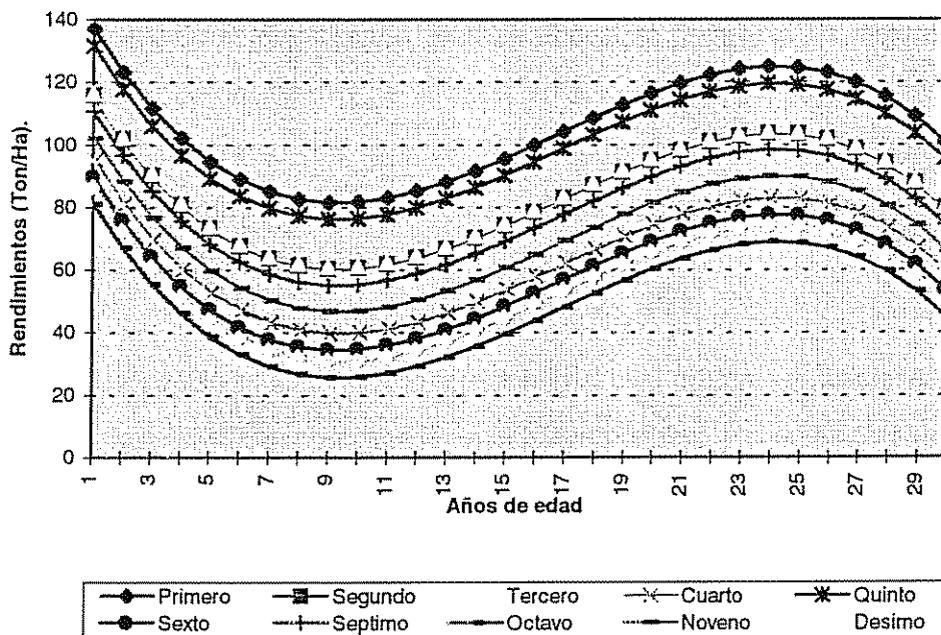


Figura 14. Escenarios más importantes para el cultivo de caña basado en el modelo de regresión.

En la gráfica se presentan los escenarios más importantes considerando diferentes combinaciones u opciones con diferentes tipos de zafras, variedades, meses de cosecha, y la aptitud del uso de la tierra, las cuales presentan una misma tendencia ya que la diferencia está dada por el cambio en el intercepto. Todos los escenarios muestran un periodo de

decrecimiento desde el año 1 al años 9, en el cual se inicia una tendencia creciente, pero no llega a observar los mismos rendimientos iniciales, también se observa un decrecimiento en los rendimientos para los lotes que poseen edades mayores a 25 años. Este modelo no puede predecir más allá de los 30 años, porque no se encuentran parcelas con estas edades en producción consecutiva.

En esta figura se presentan 10 escenarios, los cuales pueden suceder en la finca de los que posteriormente se presentarán los datos financieros realizando con éstos datos un análisis de sensibilidad y optimización financiera de los multiperíodos de renovación del cultivo de caña, siendo necesario realizar una descripción de estos:

- **Primer escenario** es el escenario ideal en el cual se presentan las mejores condiciones para el desarrollo del cultivo de la caña, en las cuales se define una zafra buena con rendimientos más altos, con variedad (Q96), cosechada en febrero, sembrada en una parcela con una aptitud de uso moderadamente apta, el modelo de regresión original para este escenario modifica el intercepto por (153,39 ton/ha).
- **Segundo escenario** es un escenario intermedio el cual presenta condiciones de una buena zafra, con variedad Q96, cosechando en el mes de febrero y cambiando a una parcela con un aptitud de uso de la tierra para caña de ligera, este escenario para el cálculo de sus rendimientos se modifica el intercepto por (132,27 ton/ha).
- **Tercer escenario** es un escenario intermedio al igual que el segundo; presenta condiciones de una mejor zafra, con variedad (Q96), un mal mes de cosecha enero, abril, junio, pero esta vez una parcela con una aptitud buena moderadamente apta, con este escenario se modifica el intercepto con (132,67 ton/ha).
- **Cuarto escenario** este escenario presenta condiciones que limitan más los rendimientos presentando una buena zafra, con variedad (Q96), cosechando en un mes malo (enero,

abril, junio), y sembrado en una parcela con una aptitud baja para la producción de la caña, modificando el intercepto con estas condiciones en (111,55 ton/ha).

- **Quinto escenario** en este podemos observar condiciones de una buena zafra, con variedad (Pindar), cosechando en el mejor mes (Febrero), y sembrando en una parcela con aptitud buena moderadamente apta, este escenario modifica el intercepto en (148,01 ton/ha).
- **Sexto escenario** presenta condiciones de una buena zafra, con variedad (Pindar), cosechando en un mal mes, y sembrando en una parcela con aptitud moderada, para dicho escenario se modifica el intercepto con (106,17 ton/ha).
- **Séptimo escenario** se define con una buena zafra, con variedad (Pindar), cosechando en el mejor mes febrero y sembrado en una parcela con una aptitud baja ligeramente apta, este escenario modifica el intercepto con (126,89 ton/ha).
- **Octavo escenario** tomando como referencia un zafra con rendimientos más bajos, con variedad (Pindar), cosechando en un mal mes enero. abril, junio y sembrando en una parcela con aptitud para el cultivo de uso de la caña baja ligeramente apta. Este escenario reúne las condiciones más desfavorables para este cultivo estudiadas en este trabajo, modificando con estas condiciones el intercepto en (97,47 ton/ha).
- **Noveno escenario** es un escenario con condiciones similares al anterior con condiciones de zafra con rendimientos relativamente bajos, con variedad (Pindar), cosechando en un mes malo enero, abril y junio; sembrado en una parcela con aptitud baja moderadamente apta, estas condiciones modifican el intercepto en (118,59 ton/ha).
- **Décimo escenario** es un combinación de una zafra con rendimientos bajos con respecto a las mejores zafras, con variedad (Q96), cosechando en un mes malo enero, abril y junio sembrado en una parcela con aptitud baja ligeramente apta, para el cálculo de estos

rendimientos el intercepto del modelo original descrito anteriormente se modifica con (102,85 ton/ha).

El cálculo de estos escenarios demuestran que los rendimientos del cultivo de caña varían mucho según las condiciones en las que se realice la producción del cultivo, estas se resumen en la siguiente tabla.

Cuadro 12. Comparación de los diferentes escenarios con respecto a una situación ideal.

Escenario	Valor de modificación (ton/ha)	Diferencia (ton/ha)
Primero (ideal)	153.39	
Segundo	132.27	21.12
Tercer	132.67	20.72
Cuarto	111.55	41.84
Quinto	148.01	5.38
Sexto	106.17	47.22
Séptimo	126.89	26.5
Octavo	97.47	55.92
Noveno	118.59	34.8
Décimo	102.85	50.54

En la tabla podemos observar que los rendimientos son muy sensibles a cambios variables como (tipo de zafra, mes de cosecha, y aptitud del uso de la tierra), teniendo un menor efecto los cambios en la variedad de caña cultivada, debido a que todas tuvieron un comportamiento similar.

Podemos observar que cuando se acumulan en un mismo escenario las características que más limitaron los rendimientos (escenario octavo) existe una disminución de los rendimientos en (55,92 ton/ha) este valor suma una parte importante de la producción potencial del cultivo en condiciones ideales, las que seguramente afectan la rentabilidad del cultivo, dicho efecto se presenta posteriormente.

6.3.2- Análisis de los rendimientos de café.

Para la realización del análisis de los rendimientos de café se utilizaron los datos proporcionados por la administración de la finca de CATIE, de los cuales sólo se pudieron utilizar los rendimientos de los dos últimos años, debido a que estos fueron los que se presentaban diferenciados por lotes, siendo esto indispensable para el análisis.

En este análisis se utilizaron las siguientes variables.

- **Variiedad** esta variable se define en forma categórica con dos variables artificiales una para la variedad Catimor y otra para la variable Caturra medida en el intercepto por la eliminación necesaria para evitar caer en la trampa de las variables artificiales.
- **Año de cosecha** representada en forma de variables artificiales con dos categorías, definida por los datos de los rendimientos de la cosecha 1995 y 1997 de estas variables se eliminó la cosecha de 1995 la cual se mide con el intercepto.
- **Años de cultivo** representan la suma de años que posee una parcela de la finca bajo el cultivo de café.
- **Edad** son la suma de años que posee una plantación de café desde que se sembró o la última vez que se resembró.

En el proceso de análisis o pruebas de diferentes modelos para la definición de los rendimientos de café se eliminaron las variables artificiales que diferenciaban los lotes por **tipo de sistema agroforestal** (café con macadamia, café con laurel, café con poró, café con cítricos) debido a que no presentaron significancia estadística, también se eliminó del modelo la **variable aptitud de uso de la tierra** por no presentar importancia estadística en los modelos probados.

6.3.2.1.- Análisis estadístico de los rendimientos de café.

En el proceso de análisis o pruebas de diferentes modelos para la definición de los rendimientos de café se eliminaron las variables artificiales que diferenciaban los lotes por **tipo de sistema agroforestal** (café con macadamia, café con laurel, café con poró, café con cítricos) debido a que no presentaron significancia estadística, también se eliminó del modelo la **variable aptitud de uso de la tierra** por no presentar importancia estadística en los modelos probados.

Se probaron diferentes formas funcionales cúbica, cuadrática, en base a la variable edad de la plantación, en donde no se encontró un ajuste de los datos a estas formas funcionales.

Con todas estas consideraciones se encontró que el modelo de regresión que presentó las mejores características fue:

$$\text{Rend} = -0.1861(\text{edad}) + 34.93(\text{catimor}) + 10.15(\text{año de cosecha}) + 28.78$$

Para este modelo se probaron los supuestos, encontrando que no presentaba multicolinealidad con un **índice de condición de SAS** de (10,65), también no presentó autocorrelación con un valor de **Durbin Watson** de (1,213), presentando Heteroscedasticidad con un valor de Chi - cuadrado de Breusch Pagan de (124,682), se intentó controlar este problema dividiendo cada una de las variables entre la raíz cuadrada de los residuos; sin logrararse, pero este problema no presenta repercusiones en la significancia estadística de los coeficientes estimados por lo que el modelo se evaluó de esa forma.

Evaluando el modelo encontramos los siguientes resultados.

Cuadro 13. Resultado del análisis de varianza del modelo definitivo.

FUENTE	GL	SCS	CMD	Valor F	Prob>F
Modelo	4	3257.71	813.17	28.66	0.0001
Error	33	936.08	28.36		
Error total	37	4188.79			
Root MSE	5.325		R ²	0.7765	
Dep Mean	36.85		R ² ajustado	0.7494	
C.V.	14.45				

Resultados de la salida de SAS.

En la tabla anterior se puede observar que el modelo es altamente significativo a un alfa de 0.01 a un nivel de confianza del 99% podemos decir que el modelo presentado define en un buen porcentaje la variabilidad de los rendimientos en la finca, presentando un R² de 77.65%.

Evaluando la significancia estadística de cada uno de los coeficientes individuales encontramos los siguientes resultados.

Tabla 14. Análisis estadísticos de los coeficientes individuales en el modelo.

VARIABLES	GL	PARAMETRO (fanegas/ha).	Prob> T
Intercepto	1	28.785	0.0001**
variedad catimor T8667	1	34.934	0.0001**
Cosecha 1997	1	10.151	0.0001**
Años de cultivo	1	0.1418	0.0862 NS
Edad de plantación	1	-0.186	0.0368**

(**) existe significancia estadística a un α de 0.01 - 0.05

(NS) no existe significancia estadística a un α de 0.01 - 0.05.

Datos de la salida de SAS.

Con esta tabla podemos concluir que todas las variables incluyendo al intercepto que mide las categorías omitidas son significativas a un nivel de confianza de 99% a un α de

(0.01), con excepción de la variable años de cultivo que no presentó significancia estadística a un α de (0.01 - 0.05), con esto definimos que los años de cultivo no influyen negativamente sobre los rendimientos y contribuyendo a obtener el primer objetivo y probar la hipótesis primera del estudio.

Con este modelo podemos evaluar diferentes escenarios construidos con las diferentes combinaciones de variables incluidas en el modelo, estos escenarios se presentan en la siguiente figura 14.

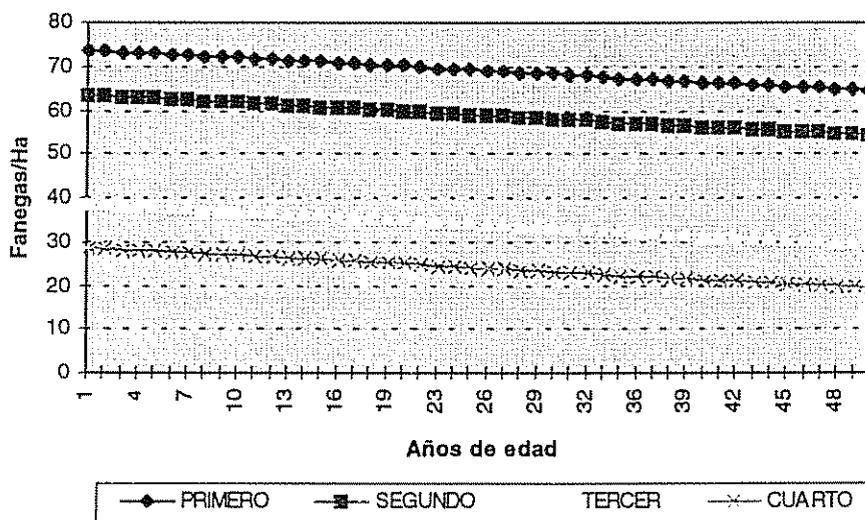


Figura 15. Escenarios más importantes para el cultivo de café basado en el modelo de regresión.

En la figura se encuentran planteados cuatro escenarios, los cuales se definen de la siguiente manera.

- **Primero** este escenario diferencia las parcelas que se encuentran cultivadas por variedad Catimor la cual presenta un rendimiento mayor que la variedad Caturra de (34.93 fanegas/ha). También presenta rendimientos de un año bueno como la cosecha de 1996 con un incremento respecto a 1995 de (10.15 fanegas/ha).

- **Segundo** es similar al anterior con variedad Catimor, pero con un año que presenta rendimientos menores en (10.15 fanegas/ha).
- **Tercero** representa las parcelas en las cuales se cultiva la variedad Caturra que presenta rendimientos menores en (34.93 fanegas/ha), en la finca de CATIE el (95%) del área cultivada por café se encuentra plantada por esta variedad, presentando rendimientos similares. Este escenario también presenta rendimientos mayores en (10.15 fanegas/ha) o sea un año de buena cosecha.
- **Cuarto** es similar al anterior con variedad Caturra, pero con un año que representa rendimientos menores en (10.15 fanegas/ha) producto de un año de rendimientos bajos.

Con estos rendimientos no es viable efectuar un análisis de sensibilidad en base a la edad de la plantación a pesar de que esta muestra un efecto negativo, significativo estadísticamente sobre los rendimientos mostrándose en la gráfica la tendencia decreciente a través del tiempo, este efecto es muy pequeño de (-0.1861 fanegas/ha), en los lotes de la finca de CATIE, su mayor parte presentan edades mayores a los 20 años y no existen lotes nuevos en suficiente cantidad para realizar la comparación y posteriormente un análisis de sensibilidad financiera.

6.4.- APTITUD DE USO DE LA TIERRA.

Rodas (1996), afirma que la aptitud de la tierra es la adaptabilidad de ella aun tipo de uso. Para definirla se efectúa en base a la comparación entre los requisitos o requerimientos de un determinado uso y las propiedades de la tierra, donde no puede existir una aptitud de la tierra, sin referencia al tipo de uso para el cual es apta.

Para evaluar la aptitud de uso de la tierra es indispensable identificar el área en la cual se quiere evaluar un tipo de uso, denominada unidad de mapeo la cual presenta ciertas características, que al compararlas con los requisitos del tipo de uso, estos definidos por

características que conforman las cualidades necesarias para el desarrollo de un sistema de cultivo.

6.4.1.- Unidades de mapeo homogéneas en la finca.

Con base al estudio de los suelos en la finca de CATIE para cada una de las características como tipo de uso actual, pH, acidez extraíble, calcio, magnesio, potasio, fósforo, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónica CIC y bases, porcentajes de saturación de bases y acidez, Nitratos y amonio, materia orgánica) y físicas (densidad aparente y textura. Para cada uno de estas características usando el mapa base de parcelas de la finca de CATIE se asignaron en IDRISI (ASSING) los respectivos valores de las características o datos proporcionados por el muestreo de suelos en cada parcela; posteriormente estos mapas fueron reclasificados en IDRISI (RECLASS) en base a los rangos interpretación de análisis de suelos presentados en la literatura y los obtenidos de la consultas a los expertos para cada uno de los usos de la tierra estudiados, los mas importantes mapas se presentan en anexos.

Con estos mapas reclasificados para cada una de la características se sobrepusieron en IDRISI OVERLAY tratando de homogeneizar las diferentes áreas de la finca con características similares las cuales pueden ser evaluadas en forma conjunta para los diferentes tipos de usos.

Realizando los procedimientos anteriores con la ayuda de los sistemas de información geográfico obtuvimos 12 unidades de mapeo homogeneizadas con característica similares, con las que se realizó la evaluación de aptitud de usos de la tierra las cuales están compuestas por una o varias parcelas diferenciadas por la administración en la finca de CATIE, las unidades de tierra están formadas por los siguientes lotes descritos en la siguiente tabla.

Tabla 15. Areas de la finca que conforman las unidades de mapeo homogeneizadas en base a las principales características de la tierra.

Unidad de mapeo	Lotés que la forman	Area (Ha)
Unidad N° 1	Los 7, Pájaro, ojo de agua, 5 manzanas, La llama, el amarillo, susanita, ocho calles, la montaña.	25
Unidad N° 2	El 5 café, los sotos, el arturo, la molina, caimito, el tajo, colecciones.	38
Unidad N° 3	Promecafe, cerro angela, el 109 café.	8
Unidad N° 4	Fonecafe viejo, fonecafe nuevo, palmeras, la guardia.	12
Unidad N° 5	Los olivos, los Shultz, los bonilla 1 y 2.	45
Unidad N° 6	Las mulas, Los plateados.	25
Unidad N° 7	Laguna 2, la franja, laguna 3.	27
Unidad N° 8	Laguna 1, el triángulo, el 7 a.	17
Unidad N° 9	La bomba, abandono, el 9, el 8, el 7, la montaña, el cedro.	35
Unidad N° 10	Los teca.	10
Unidad N° 11	El 5 caña, el 109, el chancho, el 2, el pino.	25
Unidad N° 12	Laguna 4, laguna 5.	32

Los datos de las características de cada una de las unidades de mapeo se toman como un valor único el cual se evalúa en base a las características que definen las cualidades del uso de la tierra. (Ver anexo).

Con esta información se construyó el mapa de unidades de mapeo que se presenta en la siguiente figura 16.

- Area no estudiada
- Unidad 1
- Unidad 2
- Unidad 3
- Unidad 4
- Unidad 5
- Unidad 6
- Unidad 7
- Unidad 8
- Unidad 9
- Unidad 10
- Unidad 11
- Unidad 12

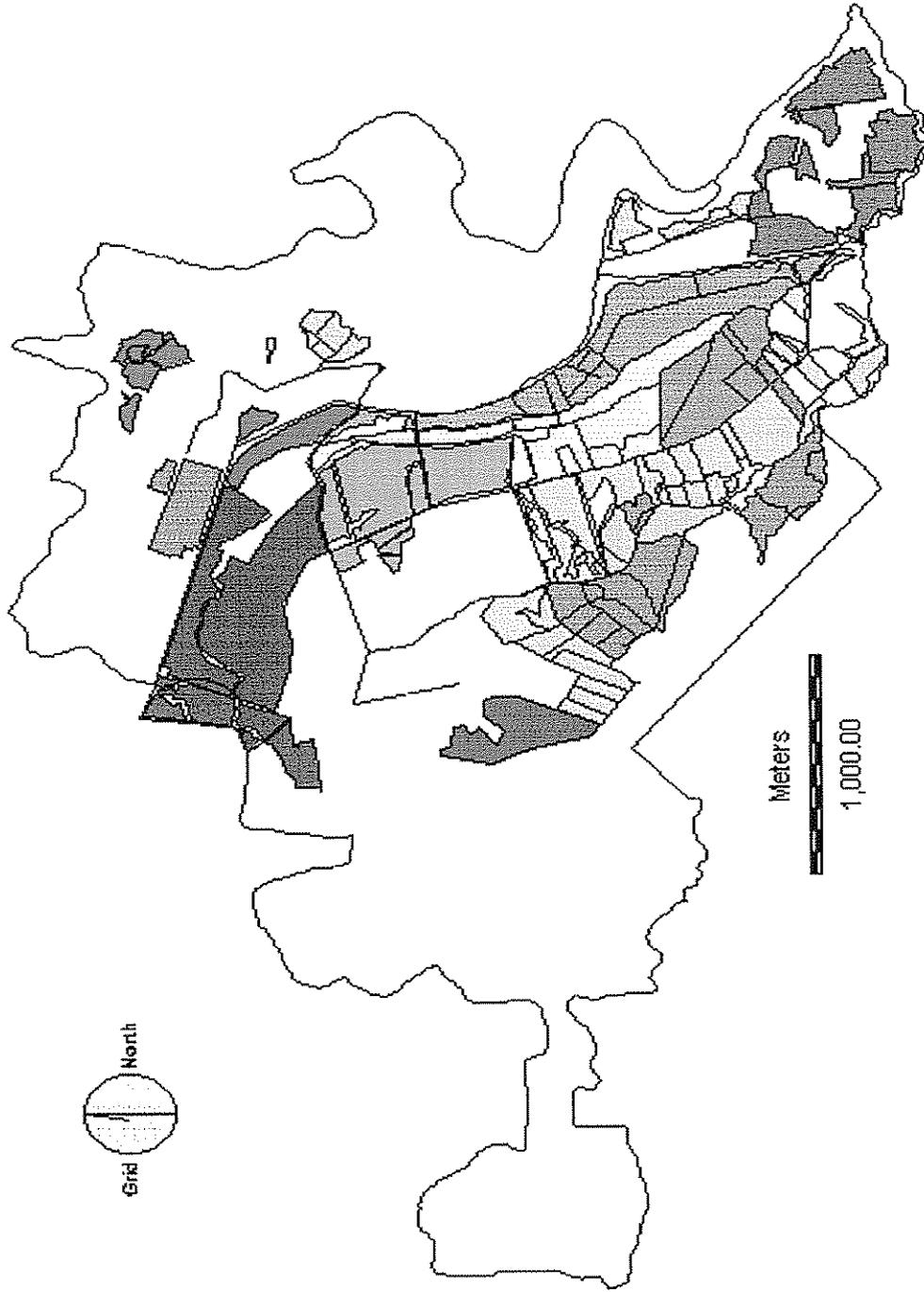


Figura 16. Mapa de unidades de mapeo homogéneas

6.4.2.- Sistemas Expertos.

El sistema experto en este estudio está constituido por cinco modelos de evaluación de uso de la tierra, tres para los sistemas de cultivo en café, y dos para los sistema de cultivo de caña. **Sistema agroforestal café con laurel y poró tecnificado, Sistema agroforestal café con cítricos y poró tecnificado, Sistema agroforestal café con macadamia tecnificado, Caña variedad Pindar tecnificada, Caña variedad Q96 tecnificada.**

Los horizontes o periodo de planificación de los sistemas de café con sus diferentes combinaciones se realizaron a un intervalo de 15 años, y para los sistemas de cultivo de caña se realizó aun periodo de 5 años.

Los sistema de café se evaluaron en las unidades de mapeo que poseen parcelas sembradas con este cultivo entre las cuales están (unidad 1, unida 2, unidad 3, unidad 4), estas suman una área de (83 ha) cultivadas actualmente de café.

Los sistemas de caña se evaluaron en 8 unidades cartográficas entre las cuales se encuentran cultivadas las variedades Pindar y Q96 estas representan (216 ha) para las cuales se evaluarán los dos tipos de uso de la tierra. Según Chavez. M (1997)³, para evaluar un sistema de uso de la tierra en caña es necesario incluir el comportamiento de la caña en cuanto a los procesos de concentración de sacaroza, la cual es susceptible a factores propios de la variedad y diferentes procesos ambientales que en muchos casos podría llegar a ser un factor limitante en cuanto a aptitud se refiere, para el cultivo de la caña, por lo cual estos modelos presentan mayor factibilidad si se evalúan en aquellas parcelas en las que el cultivo se encuentra presente (León. C, 1997)⁵.

Los modelo de evaluación de tierras realizados en este trabajo contienen una base de datos para las 12 unidades de mapeo, con una descripción de la situación actual de los suelos desde el punto de vista fisicoquímico en relación a los sistemas de cultivo evaluados en este estudio.(Ver anexo).



6.4.3.- Cualidades y requisitos de los uso de la tierra.

Rodas .O (1996), afirma que una cualidad de la tierra es un atributo complejo de ésta que actúa de manera distinta en su influencia sobre la adaptabilidad de la tierra para una clase concreta de uso. Ejemplo, la fertilidad disponible, la susceptibilidad a plagas y enfermedades, la accesibilidad, facilidad de cosecha.

Una cualidad de la tierra esta formada por diferentes características las cuales son atributos medibles, los que se comparan con los requisitos de los cultivos para definir una aptitud de uso de una unidad cartográfica, que nos interesa evaluar.

6.4.3.1.- Cualidades y requisitos de uso de la tierra para caña.

Los requisitos de los usos de la tierra para los modelos de caña usados en este trabajo fueron evaluados con los mismos criterios para las dos variedades (Pindar y Q96) ya que no existen información que explique las diferencias para estas dos variedades en cuanto a los requisitos de los usos de la tierra se refiere, pero mediante consultas realizadas a los expertos encontramos información importante para diferenciar el comportamiento de las dos variedades en diferentes condiciones de aptitud de las unidades de mapeo.

Para estos sistemas de uso de la tierra de caña según Chavez. M (1997)⁶, se deben considerar cualidades como; **(Condiciones de enraizamiento, capacidad de laboreo, drenaje natural, susceptibilidad a plagas y enfermedades, susceptibilidad a la erosión, susceptibilidad a concentración de sacarosa)**, estas cualidades de la tierra fueron utilizada en el estudio de modelos de evaluación de tierra para caña de bajura por (León. C, 1994).

Tabla 16a. Requisitos de uso de la tierra para caña variedad (Pindar y Q96) tecnificada en la finca de CATIE.

Calidad de la tierra	Características de la tierra	Unidad	Clasificación de las características de uso de la tierra				No apta
			altamente	moderada	ligera	marginal	
Capacidad de laboreo	Profundidad efectiva	mts	>2.0	1.51 - 2.0	1.21 - 1.5	0.5 - 1.2	< 0.5
	Pendiente	%	0 - 2.0	2.1 - 10.0	10.1 - 25.0	25.1 - 50.0	> 50.0
	Pedregocidad	%	0 - 10.0	10.1 - 20.0	20.1 - 30.0	30.1 - 40.0	>40.0
	Textura	Clase	Franco	frco. Arenoso	frco. arcilloso	arcilloso	arenoso
Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva	mts	>2.0	1.51 - 2.0	1.21 - 1.5	0.5 - 1.2	< 0.5
Susceptibilidad a concentración de sacarosa	Relación sacarosa	Unidad	< 8.0	8.0 - 9.0	9.1 - 10.0	10.1 - 12.0	> 12.0
	Mes de cosecha	Nombre	marzo	febrero, abril	enero, mayo	junio	julio
	Edad de cosecha o meses	Meses	12	11.0 - 13.0	14	15.0 - 16.0	> 16.0
Drenaje de suelo	Características de drenaje	Clase	Buenas	Mod. Buenas	Regulares	Mod. pobres	pobres
Susceptibilidad a erosión	Pendiente	%	0 - 3.0	3.1 - 15.0	15.1 - 30.0	30.1 - 60.0	> 60.0
	Nº de socas	Unidad	3.0 - 4.0	4.1 - 6.0	6.1 - 8.0	8.1 - 10.0	> 10.0

Fuentes. Chavez .M (1997)⁷ consulta a expertos en el cultivo de caña y suelos.

Tabla 16b. Requisitos de uso de la tierra para caña variedad (Pindar y Q96) tecnificada en la finca de CATIE.

Calidad de la tierra	Características de la tierra	Unidad	Clasificación de la características de uso de la tierra				
			altamente	moderada	ligera	marginal	
Fertilidad del suelo	pH	pH	6.1 - 7.3	6.0 - 5.6	5.5 - 5.1	5.0 - 4.5	< 4.5
	CIC	cmol(+)/Kg	> 40.0	40.0 - 30.1	30.0 - 15.1	15.0 - 10.0	< 10.0
	N	%	> 0.5	0.5 - 0.31	0.3 - 0.21	0.2 - 0.1	< 0.1
	P	Mg/Kg	> 40.0	40.0 - 20.1	20.0 - 10.1	10.0 - 1.0	< 1.0
	K	cmol(+)/Kg	> 1.5	1.5 - 0.61	0.6 - 0.31	0.3 - 0.1	< 0.1
	Ca	cmol(+)/Kg	> 5.0	5.0 - 4.1	4.0 - 3.1	3.0 - 1.0	< 1.0
	Mg	cmol(+)/Kg	> 5.0	5.0 - 3.1	3.0 - 1.1	1.0 - 0.8	< 0.8
	C	%	> 5.8	5.8 - 2.91	2.9 - 1.75	1.74 - 0.58	< 0.58
	MO	%	> 10.0	10.0 - 5.1	5.0 - 3.1	3.0 - 1.0	< 1.0
	Ca/Mg	Cociente	5.0 - 3.51	3.5 - 3.1	3.0 - 2.1	2.0 - 1.0	< 1.0 - > 7.0
	Mg/K	Cociente	15.0 - 10.1	10.0 - 7.1	7.0 - 2.51	2.5 - 1.5	< 1.5
	Ca/K	Cociente	30.0 - 20.1	20.0 - 10.1	10.0 - 5.1	5.0 - 2.5	< 2.5
	Ca+Mg/K	Cociente	40.0 - 30.1	30.0 - 10.1	10.0 - 5.1	5.0 - 2.5	< 2.5
	C/N	Cociente	8.0 - 14.0	14.1 - 20.0	20.1 - 25.0	25.1 - 30.0	> 30.0 - < 7.0
	Suma de cationes	cmol(+)/Kg	25.0 - 20.1	20.0 - 10.1	10.0 - 5.1	5.0 - 2.0	< 2.0
	Saturación de acidez	%	< 10.0	10.1 - 30.0	30.1 - 50.0	50.1 - 70.0	> 70.0
	CICE	cmol(+)/Kg	25.0 - 20.1	20.0 - 10.1	10.0 - 5.1	5.0 - 2.0	< 2.0
Densidad aparente	g/ml	< 0.8	0.8 - 1.0	1.01 - 1.2	1.21 - 1.4	> 1.4	
Acidez extraíble	cmol(+)/Kg	< 0.2	0.2 - 0.4	0.41 - 0.6	0.61 - 1.0	> 1.0	
Saturación de bases	%	> 60.0	60.0 - 40.0	39.0 - 20.0	19.0 - 10.0	< 10.0	

fuelle. Chavez. M, (1997)⁸ consulta expertos en el cultivo de la caña y suelos.

⁷ Chavez, M. Director ejecutivo DIECA San José, Costa Rica.

⁸ Chavez, M. Director ejecutivo DIECA, San José, Costa Rica.

Los valores de los rangos de las características que definen las cualidades de la tierra para los diferentes niveles de aptitud fueron adaptados a las condiciones de la zona baja de Turrialba, por lo que la información de los expertos es indispensable para la evaluación de tierras con estos sistemas.

En la construcción de los árboles de decisión para los modelos de caña se utilizaron los datos anteriormente expuestos obtenidos de las informaciones de los expertos, dándole mayor importancia a la capacidad de laboreo, condiciones de enraizamiento, drenaje, susceptibilidad a concentración de sacarosa, y fertilidad de suelos.

Tabla 17. Factores multiplicativos de los rendimientos proporcionales de azúcar para las variedades Pindar y Q96.

Cualidad	Nivel	Factor Pindar	Factor Q96
Drenaje natural del suelo.	Pobre	0.40	0.45
	Mod. pobre	0.50	0.60
	Regular	0.60	0.70
	Mod. bueno	0.80	0.85
	Muy bueno	1.0	1.0
Susceptibilidad a concentración de sacarosa.	Muy alta	1.0	1.0
	Mod. alta	0.92	0.92
	Regular	0.83	0.83
	Mod. Baja.	0.75	0.75
	Baja	0.67	0.67
Fertilidad del suelo.	Baja.	0.43	0.45
	Mod. Baja.	0.48	0.55
	Regular	0.62	0.70
	Mod. Buena.	0.81	0.85
	Buena.	1	1

El rendimiento óptimo para las dos variedades es de 20,000 Kg/AZ/ha. Para definición de los rendimientos de estos dos sistemas se utilizaron los factores anteriores disminuyendo los rendimientos en base al nivel de aptitud de cada una de las cualidades de las unidades de tierra.

Para la construcción de este modelo en la definición de los rendimientos se utilizaron factores multiplicativos de los rendimientos, definidos de la información proporcionada por los expertos para variedad (Pindar y Q96) que diferencian los rendimientos por variedades en base al comportamiento de estas en diferentes condiciones (Chavez. y Calderón, 1997)⁹.

6.4.3.2.- Cualidades y requisitos de uso de la tierra para café.

Las cualidades de los usos para los diferentes sistemas de café en la finca de CATIE que se consideraron, fueron las mismas para definir la aptitud física del uso de la tierra, ya que no existe información pertinente de los requisitos específicos para cada una de las combinaciones agroforestales (café con macadamia, café con cítricos, café con laurel). Esto dificulta la construcción de los modelos, pero con la ayuda de los expertos se establecen criterios para definir el comportamiento de los sistemas agroforestales en diferentes condiciones.

Las cualidades utilizadas para la construcción de los modelos de café fueron (condiciones de enraizamiento, capacidad de laboreo, susceptibilidad a plagas y enfermedades, drenaje natural, susceptibilidad a la erosión, y fertilidad del suelo) según Ramírez, (1997)¹⁰,

La característica que definen las cualidades de la tierra en forma de requisitos para los diferentes usos de café, fueron medidas en la finca comparándose en forma automatizada mediante el Sistema Automatizada de Evaluación de Tierra (ALES).

Los arboles de decisión para la definición de la aptitud física en las unidades de mapeo se plantearon con las características más limitantes que definen de forma mas sencilla el nivel de la cualidad, simplificando de esta forma el modelo haciendo más eficiente el manejo de la información (León, 1994 y Moncada 1991).

⁹ Calderón, G. Técnico de la Liga de la caña sección de Turrialba.
Chavez, M. Director ejecutivo DIECA, San José, Costa Rica.

¹⁰ Ramírez, G. Técnico ICAFE, sección Turrialba, Costa Rica.

Tabla 18a. Requisitos de uso de la tierra para los sistemas de café con sombra tecnificado.

Cualidad de la tierra	Características de la tierra	Unidad	Clasificación de la características de uso de la tierra				
			altamente	Apta	marginale	No apta	
Capacidad de laboreo	Profundidad efectiva	cm	> 90.0	90.0 - 60.0	59.0 - 40.0	39.0 - 25.0	< 25.0
	Pendiente	%	0 - 10.0	10 - 30.0	30.0 - 50.0	50.0 - 60.0	> 60.0
	Textura	Clase	Franco	frco. arenoso	frco. arcilloso	arcilloso	Arenoso
	Pedregocidad	%	0 - 20.0	20 - 35.0	35.0 - 50.0	50.0 - 70.0	> 70.0
Condiciones de enraizamiento							
	Profundidad efectiva	cm	> 90.0	90.0 - 60.0	59.0 - 40.0	39.0 - 25.0	< 25.0
Drenaje de suelo							
	Características de drenaje	Clase	Buenas	Mod. buenas	Regulares	Mod. pobres	Pobres
Susceptibilidad a erosión							
	Pendiente	%	0 - 10.0	10 - 30.0	30.0 - 50.0	50.0 - 60.0	> 60.0

Fuente Ramirez ICAFE, Turrialba, Costa Rica.

Tabla 18b. Requisitos de uso de la tierra para los sistemas de café con sombra tecnificado.

Cualidad de la tierra	Características de la tierra	Unidad	Clasificación de la características de uso de la tierra			
			Altamente	Apta moderada	Iligera	No apta
Fertilidad del suelo	pH		5.5 - 5.1	5.0 - 4.6	4.5 - 4.1	4.0 - 3.5
	CIC	cmol(+)/Kg	> 32.0	32.0 - 30.1	30.0 - 26.1	26.0 - 20.0
	N	%	> 0.5	0.5 - 0.31	0.30 - 0.21	0.2 - 0.1
	P	Mg/Kg	> 40.0	40.0 - 20.1	20.0 - 10.1	10.0 - 1.0
	K	cmol(+)/Kg	> 0.4	0.4 - 0.21	0.2 - 0.15	0.14 - 0.1
	Ca	cmol(+)/Kg	> 4.0	4.0 - 3.1	3.0 - 2.1	2.0 - 1.3
	Mg	cmol(+)/Kg	> 1.3	1.3 - 1.1	1.0 - 0.81	0.8 - 0.4
	C	%	> 5.8	5.8 - 2.91	2.9 - 1.75	1.74 - 0.58
	MO	%	> 10.0	10.0 - 8.1	8.0 - 5.1	5.0 - 3.0
	Ca/Mg	Cociente	> 5.0	5.0 - 4.1	4.0 - 3.1	3.0 - 2.1
	Mg/K	Cociente	> 15.0	15.0 - 10.1	10.0 - 5.1	5.0 - 2.5
	Ca/K	Cociente	> 25.0	25.0 - 15.1	15.0 - 10.1	10.0 - 5.1
	Ca+Mg/K	Cociente	> 40.0	40.0 - 30.1	30.0 - 20.1	20.0 - 10.1
	C/N	Cociente	8.0 - 14.0	14.1 - 20.0	20.1 - 25.0	25.1 - 30.0
	Suma de cationes	cmol(+)/Kg	> 20	20.0 - 9.0	9.0 - 4.5	4.5 - 2.5
	Saturación de acidez	%	< 10.0	10.1 - 25.0	25.1 - 40.0	40.1 - 60.0
	CICE	cmol(+)/Kg	> 20.0	20.0 - 10.1	10.0 - 5.1	5.0 - 3.1
	Densidad aparente	g/ml	< 0.8	0.8 - 1.1	1.0 - 1.21	1.20 - 1.4
	Acidez extrahle	cmol(+)/Kg	< 0.5	0.5 - 0.75	0.75 - 1.0	1.0 - 1.5
	Saturación de bases	%	> 70.0	50.0 - 70.0	25.0 - 50.1	15.0 - 25.1

Fuente (Bertsch, 1995 y Malavolta, 1986) consulta bibliográfica. (Bertsch, Ramírez, y Aguilar, 1997)¹ consulta a expertos.

Los valores de las características para definir los niveles de aptitud de uso de la tierra para los sistemas de café estudiados fueron adaptados por los expertos a las condiciones de la finca del CATIE.

Los requisitos para los tres sistemas de café evaluados en la finca de CATIE fueron los mismos en donde los rendimientos proporcionales se detaran en base a los factores multiplicativos de los rendimientos con lo que posteriormente se evalúa la aptitud económica de los diferentes sistemas; estos factores proporcionales se definieron en base a la cualidad del uso de la tierra y fertilidad los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 19. Factores multiplicativos de los rendimientos proporcionales para la producción de café en grano.

Cualidad	Nivel	Factor
Fertilidad del suelo.	Baja.	0.24
	Mod. Baja.	0.36
	Regular	0.5
	Mod. Buena.	0.6
	Buena.	1.0

Los rendimientos proporcionales para la producción de café en grano se definen en base a estos factores multiplicativos anteriormente expuestos. Los rendimientos óptimos para café en grano definidos por los expertos fueron de 2536.37 Kg/Ha. (Ramírez, 1997)¹¹.

Con los datos de los requisitos obtenidos de las revisiones de literatura y las consultas a expertos, se obtuvo, información importante para la evaluación de aptitud física de las unidades de mapeo definiendo con esta la aptitud económica para los diferentes sistemas de uso de la tierra cultivados en la finca.

¹¹ Ramírez, G. Técnico ICAFE, sección Turrialba, Costa Rica.

6.4.4.- Evaluación de aptitud física.

Según Rossiter *et al* 1993 en una evaluación física, las unidades cartográficas son asignadas a clase de aptitud física las cuales indican una relativa aptitud desde un primer nivel hasta un número máximo de clase especificadas por el investigador, estas clases en el esquema de FAO existen cuatro niveles de aptitud (a1, a2, a3, n1, n2) las categorías a3 y n1 solo se diferencian desde el puntos de vista económico, pero no del físico, la categoría n2 es la de no aptitud para la cual no existe ninguna aptitud desde el punto físico por lo que no se puede calcular la aptitud económica.

La evaluación física nos da la pauta para realizar la evaluación del riesgo de una actividad desde el punto de vista ambiental la cual nos proporciona información importante de la influencia del tipo de manejo que se da a la tierra en la degradación ambiental de los recursos naturales.

Los modelos de evaluación de tierras realizados para la finca de CATIE presenta cinco categorías de aptitud física, definidas por los requisitos y la cualidades anteriormente expuestas, estas categorías se definen a continuación:

- **Altamente o muy apta (a1)** esta categoría define la situación ideal, en la cual se definen las unidades de tierras que presentan características muy buenas para la producción de un cultivo con el menor grado degradación de los recursos.
- **Moderadamente apta (a2)** esta categoría aglutina la unidades de tierra que presenta buenas características de aptitud física pero con algunas limitaciones mínimas en base a las cualidades de uso de la tierra, presentando pocos problemas en la degradación de los recursos naturales.
- **Marginalmente apta (a3)** en esta categoría se presentan las unidades cartográficas en las que existen ciertas características con limitaciones que presenta una repercusión

mayor sobre la aptitud física, en la que se inician los problemas de degradación de los recursos naturales.

- **Ligeramente apta o no apta actualmente** esta categoría presenta una aptitud Física igual a la categoría anterior, pero poseen diferencias de aptitud económica la cual posee menos rentabilidad las cuales pueden ser en algunos casos anti-económica presentando pérdidas.
- **No apta o no apta permanentemente** esta categoría presenta limitaciones grandes en cuanto a aptitud física se refiere, la unidades de mapeo que muestran este tipo de aptitud poseen características de uso de la tierra que limitan permanentemente la instalación de una actividad productiva. Con estas 5 categorías se evaluaron los diferentes modelos de uso de la tierra para café y caña obteniéndose los siguientes resultados de aptitud física.

6.4.4.1.- Aptitud física para caña.

Para caña se evaluaron los modelo de variedad Pindar y Q96 cultivadas bajo un sistema tecnificado presentándose los siguientes resultados figura 17.

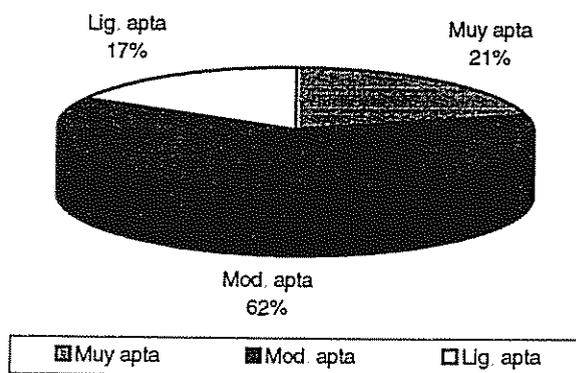


Figura 17. Areas de aptitud física para caña los modelos de caña variedad Pindar y Q96.

En la figura anterior se observa que de las cinco categorías planteadas en la evaluación solo se presentaron 3 las cuales se evaluaron en 8 unidades cartográficas (**unidad 5, unidad 6, unidad 7, unidad 8, unidad 9, unidad 10, unidad 11, unidad 12**) de lo cual discutimos lo siguiente:

En la categoría **altamente apta** se presenta una unidad cartográfica (**unidad 5**) con una área de 45 Ha representando el 21% del área total evaluada sembrada de caña, la unidad de mapeo antes mencionada presenta condiciones adecuadas para el cultivo de la caña, con una muy buena capacidad de laboreo, muy buenas condiciones de enraizamiento, muy buenas condiciones de drenaje, y una concentración de sacarosa moderadamente apta.

Las áreas que pertenecen a las unidades cartográficas (**11, 12, 6, 8, 9**) se encuentran en una categoría de **moderadamente apta** físicamente representando la mayor parte del área de caña total sembrada en la finca (62%), con 134 ha. Estas áreas presentan cualidades buenas de condiciones de enraizamiento, muy buena capacidad de laboreo, muy buen drenaje, fertilidad moderadamente buena, y una concentración de sacarosa regular. El cambio de aptitud de estas unidades de mapeo está influenciado, porque en las mismas no se presentan las condiciones ideales de concentración de sacarosa las cuales están influenciadas por el mes de cosecha (abril, mayo, junio, julio), en donde los regímenes de precipitación disminuyen la concentración de sacarosa afectando los rendimientos industriales de la caña.

Las unidades cartográficas (**10 y 7**) presentan un tipo de aptitud para el cultivo de la caña **ligeramente apta** mostrando ciertas limitaciones, en el caso de la **unidad cartográfica 10 (Los teca)** la aptitud para el cultivo de la caña se ve disminuida por una baja capacidad de laboreo limitada por la pendiente pronunciada, también presenta una fertilidad regular influenciado el ph ácido, y la CICE, fósforo, calcio presentan valores bajos; esta unidad de tierra presenta un relación sacarosa regular de (9 - 10). En cambio la **unidad 7 (Lagunas)** presenta características de drenaje muy mala, lo que influye en una relación de concentración de sacarosa regular, también presentan condiciones de enraizamiento inadecuadas debido a

que estas presentan suelos poco profundos concluyendo con estos en una aptitud de uso de la tierra ligeramente apta.

Con la información proveniente de la evaluación de los uso de la tierra caña variedad Pindar y Q96 tecnicada usando el mapa base de unidades de mapeo homogeneizadas se procedió a plantear la evaluación de aptitud física en forma digital en un mapa que reúne las áreas de la finca con su respectivo tipo de uso.

Para la construcción del mapa final de aptitud de uso de la tierra para café se reclasificó en IDRISI (RECLASS) el mapa final de unidades de mapeo homogeneizadas directamente con la interface (ALIDRIS) del programa ALES (Sistema automatizado de evaluación de tierras), obteniéndose con este proceso finalmente el mapa de evaluación de tierras para los sistemas de caña variedad Pindar y Q96, presentándose los resultados de este proceso en la figura N°18.

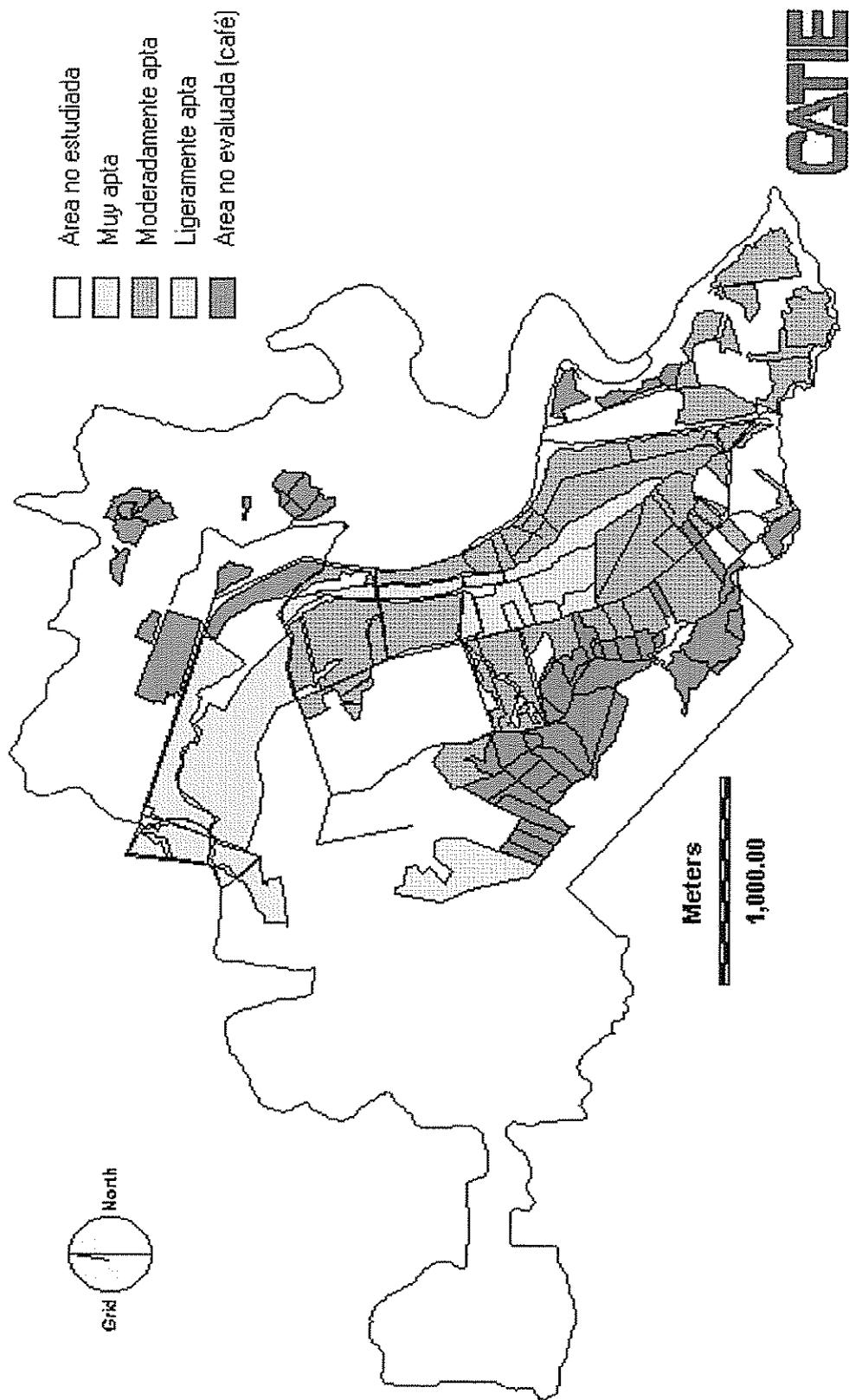


Figura 18. Mapa de aptitud física para caña variedad (Pindar, Q96)

6.4.4.2.- Aptitud física para café.

La aptitud física para café en la finca se evaluó con las 5 categorías anteriormente expuestas, (a1, a2, a3, n1, n2), evaluándose estas en las unidades cartográficas (1, 2, 3, 4), o áreas cultivadas por sistemas agroforestales de café.

Para los sistemas de café se evaluaron los modelos agroforestales (café con macadamia, café con cítricos, café con laurel), cultivadas bajo un sistema tecnificado, estos resultados se resumen en la siguiente figura.

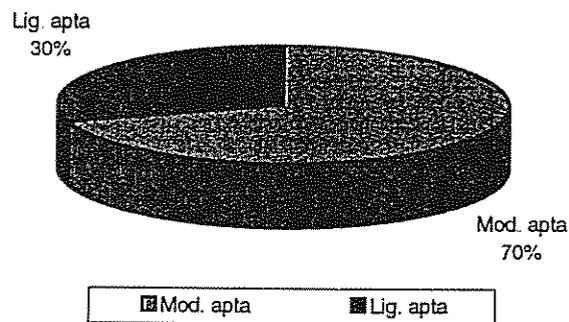


Figura 19. Aptitud física de las áreas evaluadas en la finca para los tres sistemas agroforestales de café.

Observando la gráfica encontramos que en las áreas estudiadas en la finca solo se presentaron dos categorías de aptitud de uso de la tierra para los sistemas de café,

En las áreas **moderadamente aptas** se encontraron las unidades cartográficas (2, 3, y 4) formados por diferentes parcelas con una área de (58 ha) representando el 70% del área total cultivada de café; estas presentan muy buenas condiciones de enraizamiento, muy buena susceptibilidad a plagas y enfermedades, drenaje natural muy bueno, buena fertilidad de suelos, y una capacidad de laboreo moderadamente buena, siendo esta limitante para presentar una aptitud mejor; debido a que presenta una textura de suelo franco arcilloso según los expertos el tipo de textura ideal para un nivel máximo de aptitud es franca. Otra

características que no presentan condiciones óptimas es la saturación de acidez que varia entre media (30.0 - 50.0%) y baja (< 10.0%), el ph del suelo se encuentra en un nivel ácido de (4.5 - 5.0) siendo estas las características que limitan la aptitud para café. Por lo que en este caso se recomendaría aplicar enmiendas al suelo para mejorar la aptitud de la tierra.

La unidad (**cartográfica 1**) presenta un tipo de aptitud de la tierra **ligeramente apta** estas áreas representan el (30%) del total de áreas cultivadas por café con (25 ha), las cuales tienen muy buenas condiciones de enraizamiento, muy buena susceptibilidad a plagas y enfermedades, muy buen drenaje, buenas características de fertilidad de suelo, pero la capacidad de laboreo es moderadamente mala debido a que presentan pendientes moderadamente planas (10 - 30%) y una textura arcillosa, las cuales limitan la aptitud de la unidad de tierra. También existen limitaciones un poco más acentuadas de porcentajes de saturación de acidez media (30 - 50%), con valores de ph de ácidos de (4.5 - 5.0).

Los resultados de esta evaluación nos demuestran que en un aspecto general los suelos de la finca presentan una aptitud moderada, la cual con un buen plan de manejo en base a prácticas de conservación de suelos y manejo de enmiendas orgánica o químicas, ayudaríamos a mantener una aptitud adecuada para la áreas de café.

Con esta información producida en la evaluación de los modelos de café se reclasificó el mapa de unidades cartográficas mediante la interface (ALIDRIS) el cual se encuentra planteado en la figura N° 20.

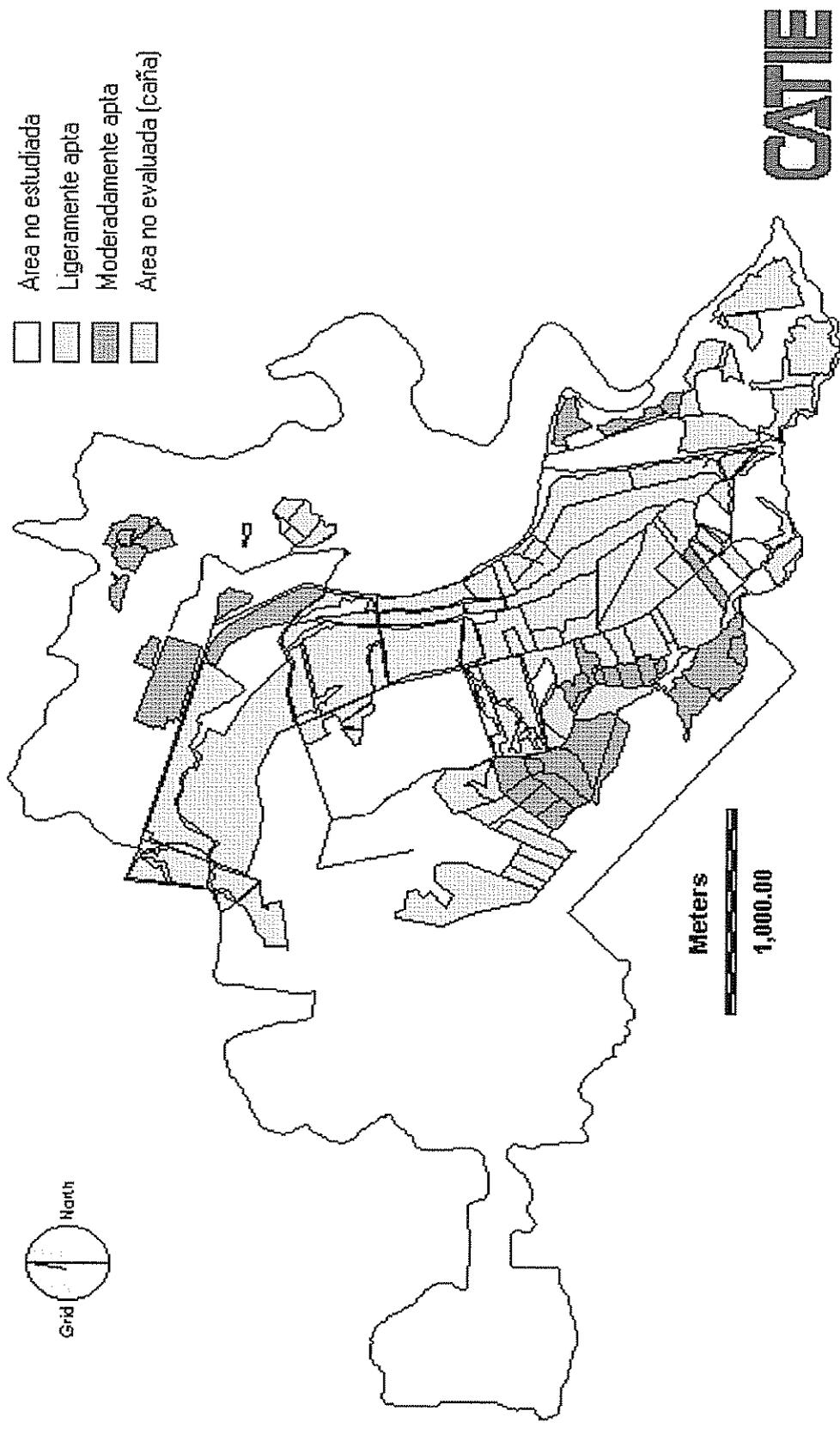


Figura 20. Mapa de aptitud física para café con sombra

6.4.5.- Evaluación de aptitud económica.

En los modelos de evaluación de tierra en (ALES) la evaluación de aptitud económica, es el siguiente paso después de la definición de aptitud física, por lo que el programa necesita información de costos de los (insumos anuales y años específicos), e ingresos de los diferentes productos de un sistema de uso de la tierra (Rossiter, 1993).

El (ALES) calcula los indicadores financieros (VAN, B/C, TIR) en forma automática lo que facilita el manejo de la información actualizando los resultados, en base a cualquier variación en el tiempo.

Rossiter (1993), define que para cada una de las categorías de aptitud física (a1, a2, a3, n1) calcula la aptitud económica, excepto para las tierra valoradas como no apta físicamente (n2).

Las 12 unidades de mapeo fueron evaluadas para sus respectivos usos de la tierra en la finca de CATIE, lo que se utilizó para comparar las diferentes opciones de los sistemas de producción evaluando sus ventajas y desventajas en condiciones diferentes.

6.4.4.1.- Análisis de los indicadores financieros.

Los indicadores financieros utilizados para este análisis fueron:

- Valor actual neto (VAN).
- Relación beneficio costo (B/C).
- Tasa interna de retorno (TIR).

Cada uno de estos indicadores posee sus ventajas y desventajas en casos específicos para la aplicabilidad en ciertas condiciones.

Los costos e ingresos fueron utilizados a precios corrientes por lo cual se utilizó una tasa real de descuento para las proyecciones financieras de lo diferentes tipos de uso de la tierra (Gregersen, 1988).

Gómez (1997)¹³ afirma que en este estudio se puede utilizar una tasa de actualización real del 6%, debido a que la tasa nominal de interés actualmente es de 18%, existiendo una tasa de inflación del 12%.

Los periodos u Horizontes de planificación para los modelos de caña fueron de 5 años, mientras que en los modelos de café se utilizó un periodo de 15 años como horizonte de planificación.

En los sistemas de café se consideran como productos la azúcar industrializada con rendimientos variados en la finca por unidades cartográficas (ver anexos). La azúcar actualmente se liquidó a un promedio de (0.17 \$/Kg), el otro producto de este se toma en cuenta en este sistema es la melaza tomando para esta un rendimiento promedio de (2520 Kg/Ha) con un valor de (0.041 \$/Kg). Con las consideraciones anteriores se encontraron los siguientes resultados.

Tabla 20. Resultados de los indicadores financieros para los sistemas de uso de la tierra (caña variedad Pindar y Q96) por unidad de mapeo.

Unidad cartográfica	VAN \$/Ha		B/C		TIR %	
	Pindar	Q96	Pindar	Q96	Pindar	Q96
5	3,784	4,329	1.52	1.59	54.45	61.76
6	838	1,688	1.11	1.23	16.96	28.1
7	-3,036	-2,353	0.68	0.59	0	0
8	838	1,688	1.11	1.23	16.96	28.1
9	-1,624	-425.38	0.78	0.94	-15.8	0.33
10	481	1,450	1.07	1.2	12.31	25.01
11	2,740	3,233	1.37	1.44	41.3	47.9
12	-1,063	262.07	0.85	1.04	9.47	-8.16

Datos de la evaluación en (ALES).

En la tabla anterior podemos observar que los rendimientos financieros de los sistemas de caña variedad Pindar son mayores con respecto a los de la variedad Q96 debido a que esta variedad presenta rendimientos mayores. La variedad Q96 tiene un mejor comportamiento en suelos con problemas de drenaje.

En la finca de CATIE en algunas unidades de mapeo se dan problemas de drenaje estas unidades son la (7 y 12) en las que los rendimientos financieros son negativos agudizándose el problema cuando se modela la producción para el sistema de variedad Pindar.

Calderón (1995), encontró en Tuis Turrialba que la variedad Q96 obtuvo rendimiento agronómicos de (148.95 Ton/Ha) de caña contra un rendimiento de (71.05 Ton/Ha) de caña, también en el mismo estudio se encontró que los rendimientos industriales de la variedad Q96 fueron de (126.84 Kg/AZ/Ton) y para la variedad Pindar se encontró un rendimiento industrial de (120.86 Kg/AZ/Ton), reportándose con esto una diferencia de (9.71 Ton/AZ/Ha) concluyendo con esto que en este experimento la variedad Pindar mantuvo rendimientos industriales y agronómicos inferiores que los de la variedad Q96.

En este estudio al analizar los datos de las últimas 5 cosecha de la finca de CATIE se encontró que la variedad Q96 observa rendimientos mayores a los de la variedad Pindar si comparamos los coeficientes individuales del modelo de la variedad Q96 (35.019 Ton/ha) de caña contra (29.638 Ton/ha) de caña, en este caso las diferencias no son tan marcadas pero concuerdan el que la variedad Pindar observa rendimientos menores que los de la Q96.

Los análisis financieros de los modelos de café se realizaron con las mismas consideraciones de los de caña pero con un periodo de planificación de 15 años, para los cuales se encontraron los siguientes resultados.

Tabla 21. Resultados de los indicadores financieros para los sistemas de uso de la tierra (café con macadamia, café con cítricos, café con laurel) por unidad de mapeo.

Unidad de mapeo	VAN \$			B/C			TIR %		
	CLA	CMA	CCI	CLA	CMA	CCI	CLA	CMA	CCI
1	39,852	15,632	15,866	2.87	1.64	1.66	54.07	22.78	23.22
2	39,852	15,632	15,866	2.87	1.64	1.66	54.07	22.78	23.22
3	39,852	15,632	15,866	2.87	1.64	1.66	54.07	22.78	23.22
4	66,230	42,011	42,245	4.11	2.72	2.75	70.43	41.13	41.6

Datos de la evaluación en (ALES), CLA (café con laurel), CMA (café con macadamia), CCI (café con cítricos).

En esta tabla se observa que los sistemas agroforestales de café con laurel presentaron rendimiento financieros en algunos casos con un incremento de más del 50% con respecto a café con cítricos y café con macadamia los que presentaron comportamientos similares.

La gran diferencia de los indicadores financieros se debe a la incorporación en los productos del sistema, la madera de laurel que está bien cotizada en el mercado con un precio de (136.2 \$/m³) con una producción de (16.34/m³/ha/año) produciendo financieramente (2,225.508 \$/ha/año) ver anexos. Los sistemas de macadamia tienen como producto la nuez además del café en grano, los rendimientos de macadamia son de (15.2 Kg/ha/año) con un precio actual de (6 \$/kg) lo cual incorpora un ingreso de (91.2 \$/ha/año). En el caso de los cítricos aportan un ingreso adicional por la producción de (2,344 unidades frutas frescas de naranja), con un valor de (0.022 \$/Unidad), produciendo (51.568 \$/ha/año).

6.4.4.2.-Definición de la aptitud económica para los usos de la tierra.

El sistema (ALES) considera definir la aptitud económica de un sistema de uso de la tierra en base a indicadores financieros como (VAN, B/C, TIR) los cuales presentan ventajas y desventajas en condiciones específicas.

Gregersen (1988), manifiesta que cada uno de los indicadores financieros muestran la eficiencia económica de los sistemas evaluados. Normalmente en cualquier inversión la función objetivo es maximizar el (VAN), mas que todo en aquellas con escasos recursos disponibles en donde las inversiones son mutuamente excluyentes, el (VAN) representa una mejor medida de la eficiencia financiera para la escogencia de futuros proyectos.

La (TIR) y la relación beneficio costo nos dan una indicación de la magnitud de los beneficios netos, la (TIR) es un indicador importante sobretodo cuando las inversiones son financiados con prestamos. La relación B/C es un indicador financiero fácil de interpretar en cualquier tipo de condiciones, siendo el mejor indicador de cuando existen costos contraídos dando siempre un ranking correcto.(Gregersen, 1988).

Por estas consideraciones anteriores la relación beneficio costo es un buen indicador la aptitud financiera de un sistema, por lo que la aptitud económica de los diferentes sistemas se definieron con este indicador influenciado más que todo por la facilidad de entendimiento que este conlleva pudiendo ser analizado por diferentes tipos de personas sin conocimientos amplio de economía, con lo que se encontró los siguientes resultados.

Tabla 22.- de aptitud financiera de las unidades cartográfica para los modelos evaluados.

Unidad cartográfica.	Café con macadamia.	Café con cítricos.	Café con laurel.	Caña variedad Pindar.	Caña variedad Q96.
1	Mod. Apta.	Mod. apta.	Muy apta.	No evaluada.	No evaluada.
2	Mod. apta	Mod. apta	Muy apta.	No evaluada.	No evaluada.
3	Mod. apta	Mod. apta	Muy apta.	No evaluada.	No evaluada.
4	Mod. apta	Mod. apta	Muy apta.	No evaluada.	No evaluada.
5	No evaluada	No evaluada	No evaluada	Mod. apta	Mod. apta
6	No evaluada	No evaluada	No evaluada	Lig. apta	Lig. Apta
7	No evaluada	No evaluada	No evaluada	No apta	No apta
8	No evaluada	No evaluada	No evaluada	Lig. apta	Lig. Apta
9	No evaluada	No evaluada	No evaluada	No apta	No apta
10	No evaluada	No evaluada	No evaluada	Lig. apta	Lig. apta
11	No evaluada	No evaluada	No evaluada	Lig. apta	Lig. apta
12	No evaluada	No evaluada	No evaluada	No apta.	Lig. apta

La tabla anterior demuestra que definitivamente la aptitud económica de la tierra posee gran dependencia de la aptitud física., Los sistemas de café con macadamia y cítricos para las unidades (1,2,3,4) presenta una aptitud económica moderada con valores de B/C de 1.5 - 2.0, esta mismas unidades demuestran ser muy aptas económicamente para café con laurel presentando relaciones B/C >2.0 lo que para inversiones agrícolas es un buen valor de aptitud financiera.

En los sistemas de caña la unidades cartográficas (5) es la que presenta una mayor aptitud para los dos sistemas presentando una aptitud física muy buena, La unidades (6, 8, 10, 11) presentaron una aptitud ligera con valores de relación B/C entres 1.0 - 1.5 .Las unidades (7, 9, 12) presentan lo valores de aptitud más bajos encontrándose en la categoría de no apta actualmente con valores de relación B/C menores de uno o sea que en estas unidades se opera con pérdidas.

Si comparamos los valores de relaciones beneficio costo para café y caña encontramos que en la actualidad las unidades cartográficas cultivadas por café presentan mejores características debido a que en este año los precios de café han registrado un incremento sustancial con respecto a otros años, observándose precios por encima de los 150 \$/ha.

- Area no estudiada
- Area no evaluada (café)
- Moderadamente apta
- Ligeramente apta
- No apta actualmente

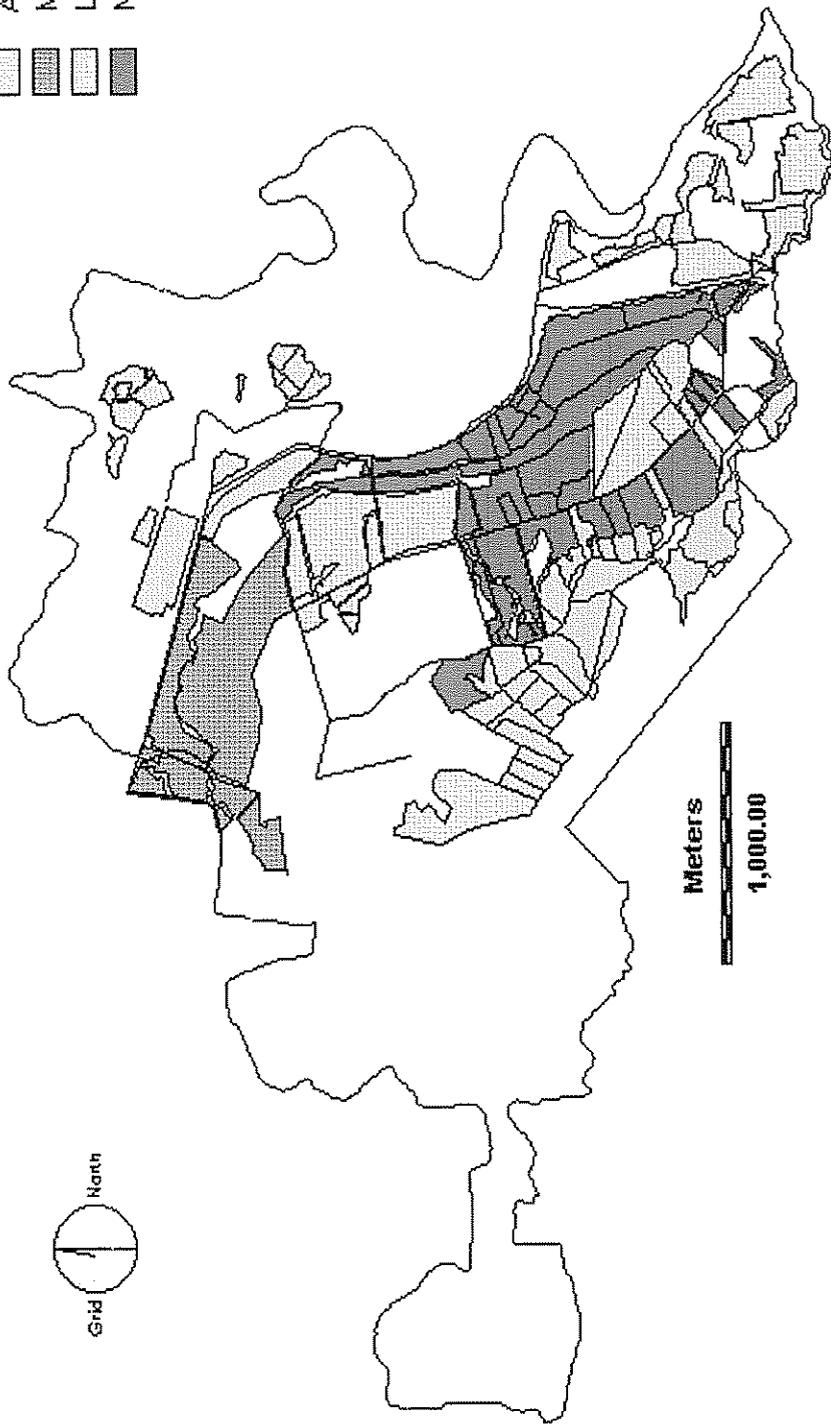


Figura 21. Mapa de evaluación de aptitud económica para áreas cultivadas de caña variedad Pindar

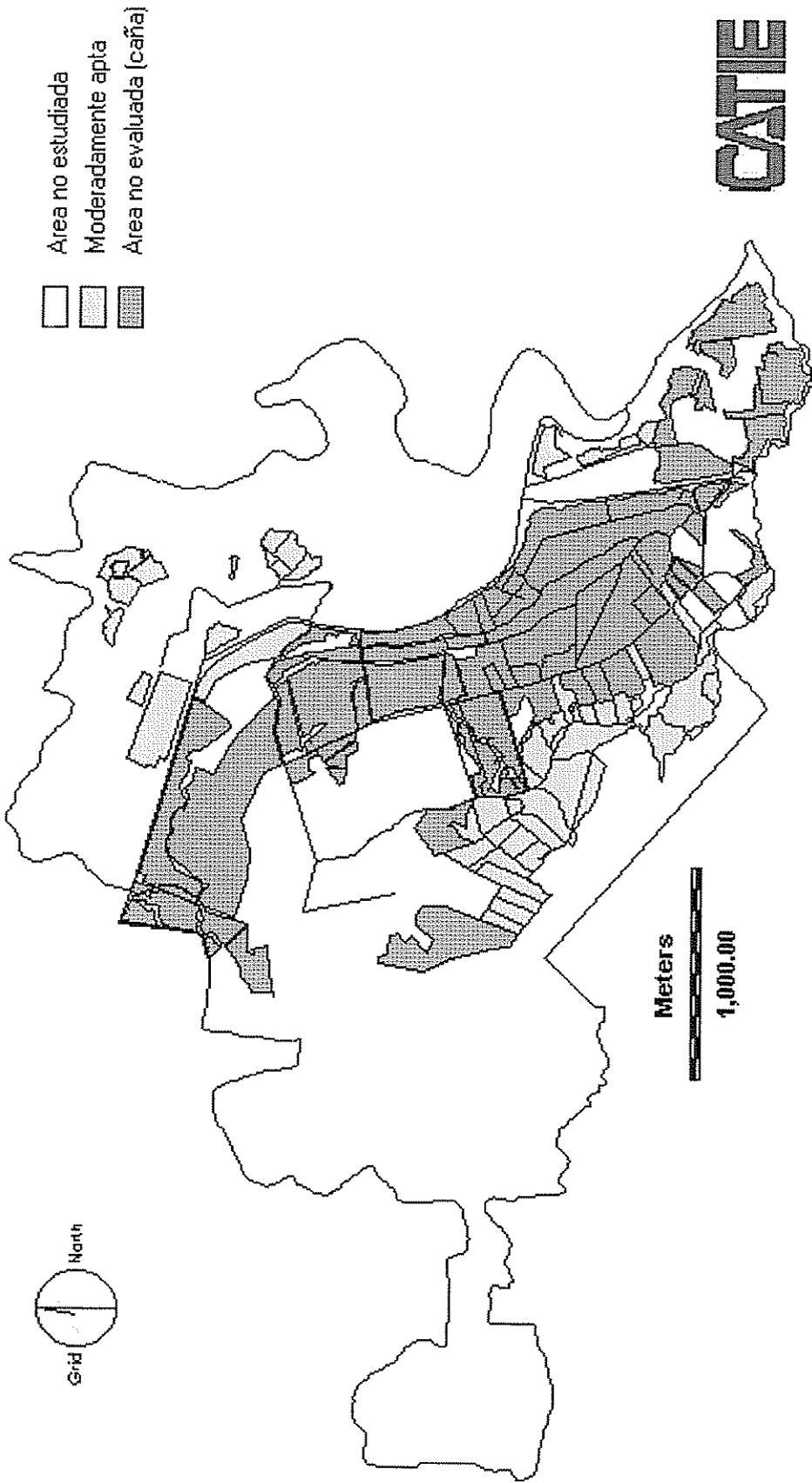


Figura 22. Mapa de evaluación de aptitud económica para las áreas cultivadas de caña Q96

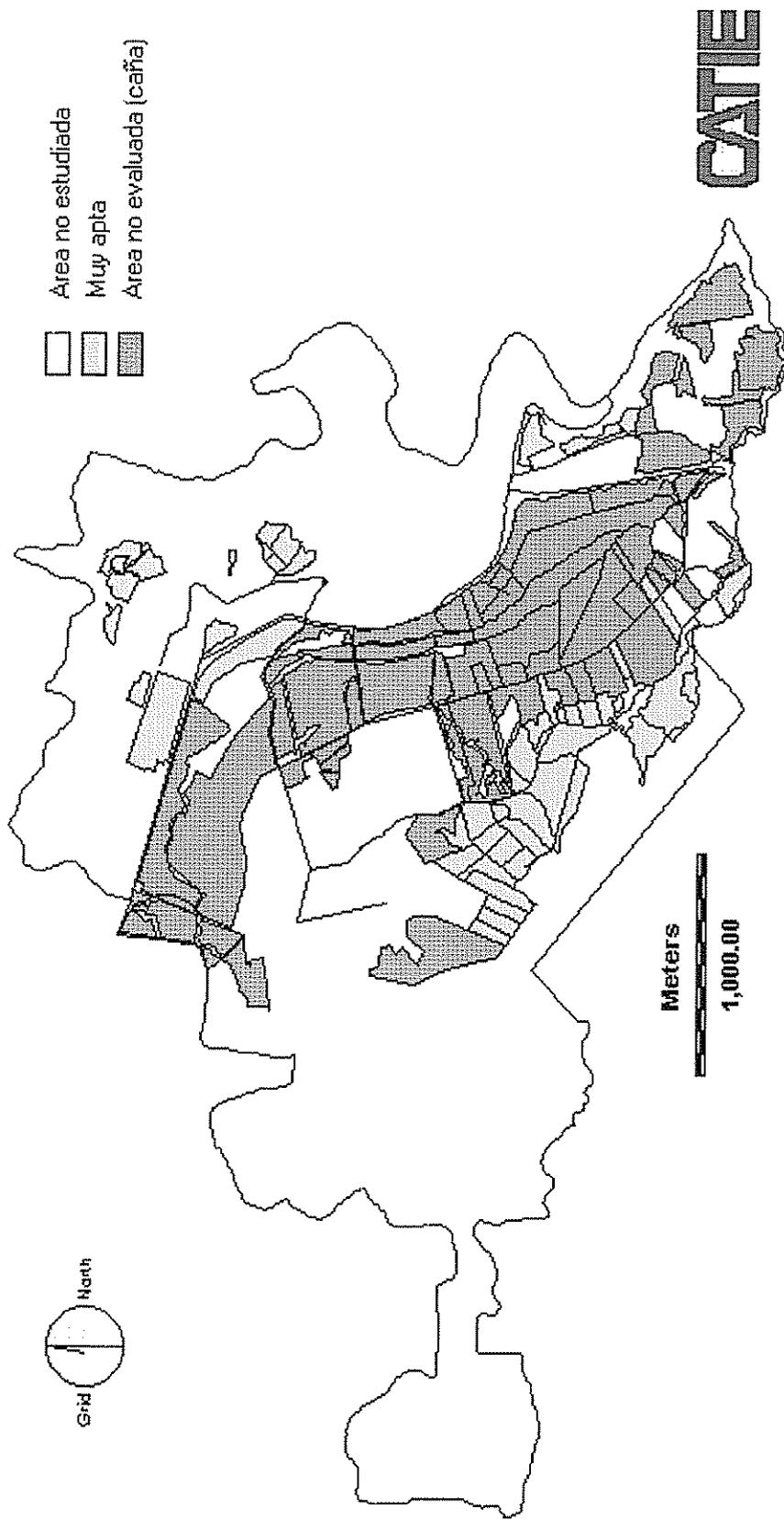


Figura 24. Mapa de aptitud económica para las áreas cultivadas de café con laurel y poró

6.4.4.3.- Análisis financieros expost de los tipos de uso de la tierra café, caña y pastos para producción pecuaria.

Este análisis se realizó con el objetivo de identificar la sostenibilidad financiera de las fincas de café, caña y patos para producción ganadera utilizando los ingresos y egresos de éstas ocurridos en los últimos 13 años desde 1984 a la fecha, identificando para estos tres sistemas de uso de la tierra los indicadores financieros especificados de mejor forma en las siguientes figura .

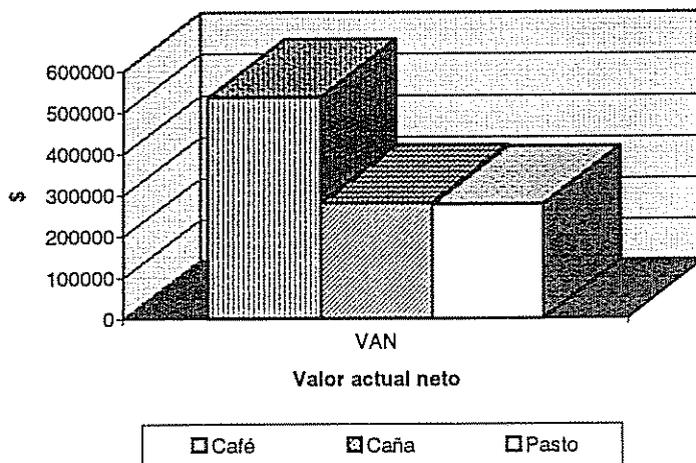


Figura 25. Valores actuales netos por tipo de uso de la tierra (periodo expost 1984 - 1996).

La gráfica muestra que el VAN para este periodo de años en la finca de café presenta valores de (535,407\$), demostrando ser sostenible a través del tiempo de los altibajos que se dan en los precios del producto final café en grano, mientras que la finca de caña presenta un VAN de (279,617\$), siendo estos mayores que los de la finca de producción pecuaria con un valor actual neto de (276,743\$). Los datos de la finca de caña se muestran relativamente bajos con respecto a la finca de café debido en estos datos se encuentra la influencia de los años en los que no se le daba un manejo adecuado a la caña presentando por consiguiente rendimientos agronómicos y financieros bajos.

Los resultados de la relación beneficio costo para el mismo periodo de años y los sistemas antes mencionados se presentan en la siguiente figura 26.

Los valores de los costos e ingresos de caña, café y pasto para producción ganadera fueron calculados restándole los costos de inversión inicial para los años de (1991 - 1994) en donde la nueva administración incorporó nuevas áreas a labores productivas.

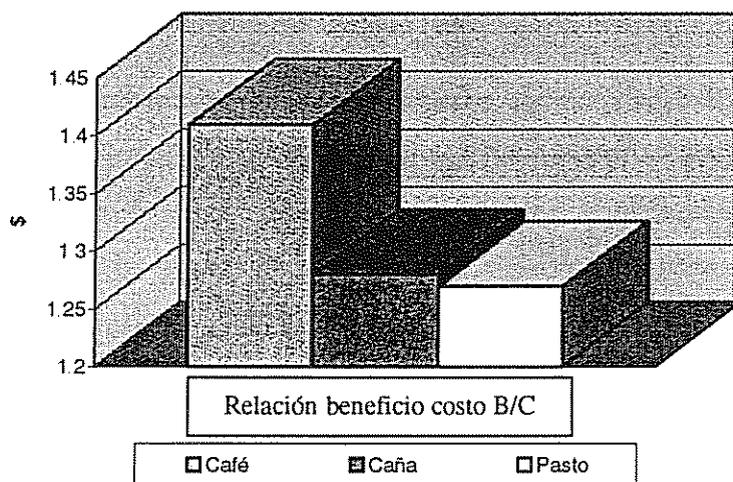


Figura 26. Relación beneficio costo por tipo de uso de la tierra (periodo expost 1984 - 1996).

También la relación beneficio costo evidencia el mismo comportamiento del VAN presentando valores actuales más altos para café de (1.41), mientras que para caña y pasto como sistema de producción pecuario 1.28 y 1.27 respectivamente. Con esto podemos concluir que los cambios del uso de la tierra presentan buenos rendimientos financieros con respecto a la finca de producción pecuaria la cual se ve beneficiada en el análisis porque esta actividad en la actualidad no presenta costos iniciales porque esta actividad tiene instalaciones construidas hace muchos años para las cuales en la actualidad solo se consideran costos de mantenimiento. Con esto podemos definir que los cambios del uso de la tierra han mejorado los rendimientos financieros de las unidades de tierras. Con este

análisis contribuimos a lograr el tercer objetivo del estudio y probar la tercera hipótesis con lo que se comprueba que las decisiones de los cambios de uso de la tierra han contribuido a mejorar la rentabilidad de la finca.

6.4.4.4.- Análisis del turno óptimo económico de renovación de los sistemas de cultivo café y caña.

Inicialmente se pretendió calcular el turno óptimo económico de renovación de café y caña, pero en el caso de café no se pudo calcular debido a que este sistema en el análisis de los modelos de regresión no presentó un efecto negativo considerable de la edad de la plantación sobre los rendimientos, manteniéndose un comportamiento negativo considerable significativo estadísticamente y su influencia sobre los rendimientos debido a que en la finca la mayoría de los lotes tienen de 25 a 50 años y los lotes sembrados recientemente no se encuentran en producción, también hay problema de falta de información de rendimientos diferenciados por lotes para los años anteriores a 1995.

El turno óptimo de renovación de la caña se calculó para los datos obtenidos del análisis de los rendimientos mediante el modelo de regresión cúbico para la variable edad, a partir del cual se calcularon diez escenarios descritos anteriormente para las variables variedad, tipo de zafra, aptitud de la tierra, mes de cosecha.

Los diez escenarios fueron usados para realizar un análisis de sensibilidad financiera calculándose para caña el VAN con mayor rentabilidad para un multiperíodo desde 1 a 30 años utilizando la fórmula de Fausmann, obteniéndose los siguientes resultados.

Cuadro 23. Periodo óptimo de renovación de caña por escenarios.

Escenarios	VAN (Fausmann)	Periodo óptimo
Primero	17547.86	Tres años
Segundo	-694.08	
Tercero	-592.51	
Cuarto	-993.57	
Quinto	9676.18	Tres años
Sexto	-993.57	
Séptimo	-993.57	
Octavo	-993.57	
Noveno	-993.57	
Décimo	-993.57	

Los escenarios anteriormente expuestos demuestran que existen gran sensibilidad muy acentuada con respecto a cambios en la aptitud del uso de la tierra para caña, meses de cosecha, y el tipo de zafra o influencia del año en el que se realiza la producción.

De los escenarios evaluados podemos observar que el primero y el quinto demuestran un periodo óptimo económico de renovación de la caña de tres años, estos dos escenarios se diferencian únicamente por la variedad el primero con Pindar y el quinto por Q96, demostrando que la variedad es el factor que influye en menor grado sobre los rendimientos financieros de la caña.

Los demás escenarios presentan periodos óptimos económico negativos, demostrando que para cultivar caña y obtener buenos rendimientos financieros se debe considerar sembrar, en una unidad de tierra con aptitud moderada a muy apta, cosechando en un buen mes como febrero, con una muy buena zafra, y renovando cada tres años. La variedad a sembrar depende de la aptitud física de la unidad de mapeo.

Del área total de la finca de caña el 83% presenta escenarios como el primero y el quinto, los cuales tienen rendimientos positivos, pero existe un 17% de la finca que tiene escenarios negativos, para los cuales es necesario realizar un manejo adecuado.

VII. CONCLUSIONES

1. La evaluación por aptitud física para caña variedad Pindar y Q96 determinó que el 17% del área cultivada presentó una aptitud ligera, en donde la cualidad limitante se define por las características de drenaje, el 83% restante presentó una aptitud que va de moderada a muy apta sin mayores limitaciones. Para el cultivo de café se encontró que el 30% del área cultivada tiene una aptitud ligera, en donde las cualidades limitantes fueron, capacidad de laboreo y fertilidad, el 70% restante presentó aptitud moderada con mejores características para el cultivo de café.
2. Existen diferencias en base a las características biofísicas del suelo para las áreas de café, caña y pasto, las cuales no se vieron influenciadas por los años de cultivo.
3. Las características biofísicas del agua estudiadas, no presentaron valores superiores a los máximos permisibles para consumo doméstico. En donde los sistemas de cultivo de café y caña no demuestran una influencia sobre la degradación de la calidad del agua.
4. Los rendimientos para el cultivo de caña en la finca de CATIE demostraron ser sensibles estadísticamente a cambios en las variables edad de plantación, mes de cosecha, aptitud de la tierra y tipo de zafra. No obstante a los años de cultivo.

5. Los rendimientos para el cultivo de café en la finca de CATIE demostraron ser sensibles estadísticamente a cambios en las variables variedad, edad de la plantación y año de cosecha. No obstante a los años de cultivo.
6. La evaluación de aptitud económica para caña variedad Q96 presentó rendimientos financieros modelados mayores que los de Pindar existiendo una correspondencia entre aptitud física y económica.
7. La evaluación de aptitud económica para el sistema de café con laurel y poró presentó rendimientos financieros mayores si se comparan a los de café con cítricos y macadamia no existiendo correspondencia entre aptitud física y económica.
8. Integrando el uso de los criterios de indicadores de sostenibilidad de las características biofísicas del suelo, agua y los rendimientos a través del tiempo mediante el uso del SIG nos permite evaluar en forma espacial las características de las unidades de tierras, actualizándose en forma más rápida y precisa para posteriores evaluaciones.
9. Integrando la información proporcionada por los análisis de las características biofísicas del suelo, agua, los rendimientos de los cultivos café y caña, la evaluación de aptitud física y económica podemos decir que la finca de CATIE, presenta características potencialmente sostenible.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Se necesita mayor información y realizar muestreos de suelos periódicamente para poder construir modelos predictivos para la elaboración de los análisis del cambio dinámico de la situación del suelo.
2. Alimentar la base de datos económica de los sistemas expertos para evaluar con mayor precisión la aptitud económica de los sistema de producción de la finca.
3. En áreas en las cuales presentaron limitantes de aptitud física es importante incorporar prácticas mecánicas como mejoramiento de canales artificiales y naturales, practicas agronómicas para tratar de evitar daños por acidez en las parcelas de café.
4. Para un mejor manejo de las plantaciones en cuanto al aspecto nutricional se debe diferenciar el manejo de acuerdo a las fertilidad de las parcelas en forma balanceada por lo que se necesita investigar cuales son los requerimientos nutricionales para cada sistema de producción.
5. Para un mejor aprovechamiento de los recursos de la finca se recomienda construir un modelo de programación lineal que considere todos los aspectos internos como externos de la finca en base a sus características ventajas y desventajas competitivas.

6. Investigar cuales son los factores meteorológicos que influyen sobre los rendimientos para describir el efecto de la bianualidad y el mes de cosecha en los rendimientos de café y caña.

IX BIBLIOGRAFÍA.

- AGUIRRE, J A. 1985. Introducción a la evaluación económica y financiera de inversiones agropecuarias. Manual de instrucción programada. San José, Costa Rica. IICA. 191 p.
- AGUIRRE ASTE, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis MSc. Turrialba Costa Rica. IICA. 139 p.
- AZQUETA, D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Madrid, España. Mc Granw Hill/ Interamerican. 299 p.
- BERTSCH H. 1995. Manual para interpretación de análisis de suelos en Costa Rica. 2 ed. San Jose, Costa Rica. 78 p.
- BILSBORROW, RW. ; OKOTH-OGENDO, H.W.O. 1992. Population - driven changes in land use in developing countries. AMBIO 21:37 - 45.
- CALDERON, G. 1995 Avances del sistema de mejoramiento genético de la caña de azúcar en la región de Turrialba. Primer simposio sobre mejoramiento genético de la caña de azúcar en Costa Rica, DIECA. Puntarenas, Costa Rica. 378 p.
- DANIEL , T.C. ; SHARPLEY, A.N. ; EDWARDS, D.R. ; WEDEPOHL, R. ;
LEMUNYON, J.L 1994. Minimizing surface water autrophication from agriculture, by phosphorus management. Journal of soil and water conservation nutrient management suplement . 49 (2) : 30-38.
- DE CAMINO R ; MÚLER S. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y de los recursos naturales. Bases para establecer indicadores. San José, Costa Rica. Instituto

Interamericano de Cooperación para la Agricultura / proyecto IICA / GTZ. Serie documentos de programas no.38. 134 p.

FAUSTINO, J. 1996. Apuntes de Clase: Seminario de Manejo de Cuencas Hidrográficas: Área de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 25 p.

_____. 1996. Folleto de conservación de suelos y aguas: Área de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Turrialba, Costa Rica. CATIE, 36 p.

FAUSTINO, J.; PAZ, C. 1995. Indicadores de sostenibilidad en relación con el recurso suelo bajo sistemas de cultivo en la cuenca del Río Reventado, Cartago. (Presentado en la Semana Científica, CATIE, 2, 1995). Turrialba, Costa Rica, CATIE. p 126-127.

FORTHERINGHAM, S. ; ROGERSON, P. eds. 1994. Spatial analysis and GIS. London, Taylor and Francis, 281 p.

GREGERSEN, H.N ; BROOKS, K.N ; DIXON, J.A ; HAMILTON, L.S. 1988. Pautas para la evaluación económica de proyectos de ordenación de cuencas. Roma/ FAO. 148 p.

IICA ; GTZ. 1995. Evaluación y seguimiento del impacto ambiental en proyectos de inversión para el desarrollo agrícola y rural. San José, Costa Rica. IICA. 270 p.

JANSEN, D.M. ; STOORVOGEL, J.J. ; SCHIPPER, R.A. 1995, Using sustainability indicators in agricultural land use analysis: an example from Costa Rica. Netherlands Journal of Agricultural Science 43: 61 - 68.

JANSEN, D.M. ; STOORVOGEL, J.J. ; SCHIPPER, R.A. ; SEVENHUYSEN, R. ; ALFARO, R. 1993, El Sistema Usted (Uso

Sostenible de la Tierra en Desarrollo). In Semana Científica CATIE (1,1993, Turrialba, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica. No.2. p 115 - 118.

LEONARD, H.J. 1987. Recursos naturales y desarrollo económico en América Central: Un perfil ambiental y regional; traducido del inglés por Gerardo Budowski y Tirso Maldonado, CATIE. Serie técnica. Informe técnico No. 127. 267p..

MALAVOLTA, E. 1986. Nutricao adubacao e colagen para cafeiro en: cultura. Piracicaba, Brasil, Asiciacao Brasileira para Pesquisa de Potasa e do fosfato. p 165 - 274.

WIJFFELS, M. 1996. Farm typology incorporating actual land use *A low input approach for The Guanacaste Province, Costa Rica*. CATIE. Turrialba, Costa Rica, CATIE/Agricultural University Wageningen/MAG. 39p. (Fiel report No.151)

MONCADA SANDOVAL, E.O, 1991, Desarrollo de un modelo para evaluación automatizada de tierras en Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua. Tesis de MSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 156 p.

OSUNA. 1993. Criterios modernos sobre análisis financieros. México D.F. FIRA. 17 p.

PÉREZ, L E. 1995. Un método eficaz para el análisis financiero de pequeños y medianos proyectos de inversión. San José, Costa Rica. IICA. 86 p. (Publicación miscelánea A1/SC No.95-07).

POWERS, T. Principios de calidad de agua superficial para tomas de aguas de consumo domestico, New York. AID, 35 p.

RICHTERS, E. J. 1995, Manejo del uso de la tierra en América Central hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra. San José, Costa Rica. IICA. 427 p.

- ROSSISTER D. G.; VAN W. A.; JIMENEZ, T. A. s/f. Sistema automatizado de evaluación de tierras. Manual de usuario. Ithaca, New York. Cornell University. 177 p.
- STOORVOGEL, J.J. 1995. Geographical information systems as a tool to explore land characteristic and land use with reference to Costa Rica. Ph. D. Thesis. Wageningen, Netherlands. 151 p.
- SECRETARIA EJECUTIVA DE PLANIFICACIÓN SECTORIAL AGROPECUARIA. 1992. Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. San José, Costa Rica, 61 p.
- TURNER, II. ; MEYER, W.B. ; SKOLE, L. 1994. Global land - use/land - cover change: Towards an integrated study. *AMBIO* 23: 91 - 95.
- URBANO, P. ; RUBIANO, J. ; BELL, W. B. ; KNAPP, E. B. 1996. Cambios en el uso de la tierra como posible indicador de un desarrollo sostenible en una zona de laderas - subcuenca del Río Cabuyal, Cauca Colombia. Cali, Colombia, CIAT. p. 173 - 185.
- AID. 1990. Manejo de los recursos naturales y del medio ambiente en América Central. Washington, D.C. 64 p.
- VAN DIEPEN, C.A. ; VAN KEULEN, H. ; BERKOUT, J.A.A. 1991. Land evaluation: from intuition to quantification. *Advances in Soil Science* 15: 139 - 204.
- VELKAMP, A. ; FRESCO, L.O. 1995. Modelling land use change and their temporal and spatial variability with CLUE. Wageningen, Netherlands, Agricultural University. S/n.

VILLEGAS, J.G. 1995. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.. 99 p.

VELASQUEZ, S. 1996. Manual de IDRISI: Asignatura de Sistemas de Información Geográfico (SIG). Turrialba, Costa Rica, CATIE.. 99 p.

WORLD BANK. 1992. World Development Report 1992. Development and the enviromental. New York, Oxford University Press. 308 p.

X ANEXOS

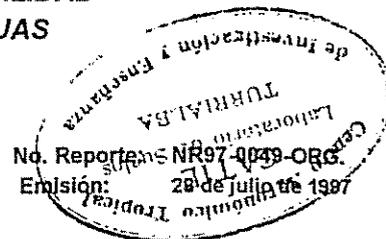
Lotes de la finca comercial de CATIE, por área, código y tipo de uso.

Nombre	Area (ha)	Muestra código	Uso de la tierra
Fonecafe Viejo	3.97788	M051	Café con Laurel Viejo
Fonecafe Nuevo	1.43311	M037	Café con Laurel Nuevo
Colecciones	8.09220	M050	Café con Poro Antiguo
La Guardia	5.10251	M025	Café con Laurel Nuevo
Palmeras	1.33124	M049	Café con Laurel Resembrado
El Amarillo (90)	0.21192	M029	Café con Poro Resembrado
La Llama (90)	4.04306	M030	Café con Laurel Resembrado
Los 7	9.26053	M040	Café con Macadamia Antiguo
Ojo de Agua	6.00966	M035	Café con Limon Antiguo
El Pajarito	1.16849	M042	Café con Laurel Nuevo
La montana	1.77043	M052	Café con poro Resembrado
Los 5	5.78124	M039	Café con Poro Antiguo
Los Sotos	11.71558	M038	Café con Naranja Antigua
El Tajo	1.42265	M034	Café con Limon Antiguo
Cerro Angela	1.19508	M019	Café con Limon Antiguo
5 Manzanas	3.47699	M033	Café con Naranja Resembrado
Promecafe	3.18515	M032	Café con Poro Viejo
El 109	2.06523	M031	Café con Laurel Resembrado
8 Calles	0.74104	M021	Café con Poro Resembrado
El Arturo	2.60439	M024	Café Laurel Antiguo
La Moloina	6.37915	M023	Café con Laurel Antiguo
El Caimito	1.65095	M020	Café con Laurel Resembrado
Susanita	0.82020	M022	Café con Laurel Resembrado
Los Olivos	4.69285	M036	Caña Nueva
Los Bonilla	11.19193	M048	Caña Nueva
Los Bonilla	24.36299	M043	Caña Nueva
Los Shueltz	5.64108	M044	Caña Nueva
La Franja	5.47221	M005	Caña Nueva
Las Mulas	13.80753	M008	Caña Nueva
Las Mulas	7.86775	M009	Caña Nueva
Laguna 5	19.93543	M026	Caña Nueva
Los Plateados	3.18508	M004	Caña Nueva
Los Teca	10.00414	M001	Caña Nueva
La Bomba	3.86206	M002	Caña Nueva
Laguna 2	14.64588	M057	Caña Nueva
Abandono	9.23592	M003	Caña vieja
Laguna 3	7.22400	M006 M028	Caña vieja
El 9	3.22706	M058	Caña antigua resembrada
Laguna 4	10.67200	M027	Caña Vieja
EL 8	6.02938	M056	Caña Vieja
El Triagulo	3.90528	M018	Caña Atigua Resembrada
El 109	3.00628	M012	Caña Nueva
Laguna 1	11.21146	M054	Caña Vieja
El 7A	1.64925	M053	Caña Vieja
El 7	6.73372	M055	Caña Vieja
El 5	4.56658	M014	Caña Antigua sin Resembrar
La Montana 1	0.93958	M017	Caña Nueva
El Pino Nuevo	7.55218	M010	Caña Nueva
El Chancho	0.96218	M011	Caña Nueva
La Montana	1.23421	M016	Caña Nueva
El Cedro	0.47892	M007	Caña Vieja
El 2	9.38910	M013	Caña Anatigua sin Resembrar

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5566431, EXT. 377
 FAX: (506)5561533

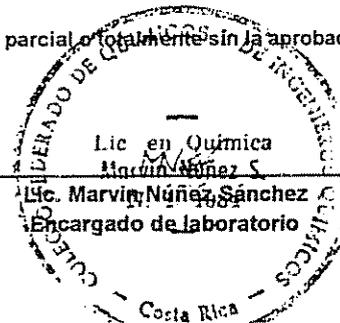


Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: Suelo
 Fecha Ingreso: 16 de junio de 1997
 Fecha Análisis: 21 y 22 de julio de 1997
 Método Análisis: pH en agua, extracción en KCl 1M y OLSEN modificado.
 Materia Orgánica por digestión húmeda (Walkley y Black)
 Nitrógeno por Kjeldahl.

No. Lab.	No. Ident.	Prof. (cm)	pH AGUA	ACD. EXT.	Ca cmol(+)/kg	Mg	K	P mg/kg	M.O. %	N %
LS97- 861	M001	0-30	4.8	0.48	2.61	1.08	0.10	2.0	6.97	0.32
LS97- 862	M002	0-30	5.4	0.08	5.22	2.22	0.35	2.4	7.49	0.36
LS97- 863	M003	0-30	5.0	0.76	3.04	1.16	0.28	7.9	7.32	0.34
LS97- 864	M004	0-30	5.5	0.11	5.98	1.95	0.26	3.7	7.09	0.35
LS97- 865	M005	0-30	5.1	0.48	4.67	1.24	0.24	24.4	9.61	0.39
LS97- 866	M006	0-30	5.3	0.46	5.87	1.72	0.23	17.2	12.18	0.46
LS97- 867	M007	0-30	4.9	1.18	1.63	0.56	0.26	9.6	5.23	0.21
LS97- 868	M008	0-30	5.4	0.22	5.22	1.98	0.43	7.8	6.65	0.32
LS97- 869	M009	0-30	5.0	0.69	4.24	1.55	0.42	28.8	9.68	0.42
LS97- 870	M010	0-30	6.2	0.02	11.20	3.38	0.30	1.9	4.95	0.25
LS97- 871	M011	0-30	6.1	0.00	12.72	2.60	0.30	6.1	5.73	0.27
LS97- 872	M012	0-30	6.2	0.01	9.46	2.42	0.23	1.8	5.20	0.25
LS97- 873	M013	0-30	5.8	0.08	7.39	2.05	0.24	2.2	5.37	0.25
LS97- 874	M014	0-30	5.7	0.13	6.63	1.61	0.20	2.3	6.04	0.26
LS97- 875	M015	0-30	5.3	0.42	2.93	1.18	0.37	7.8	5.15	0.23
LS97- 876	M016	0-30	5.4	0.32	4.35	1.11	0.53	10.7	5.66	0.24
LS97- 877	M017	0-30	5.0	0.71	1.96	0.84	0.36	15.5	6.25	0.25
LS97- 878	M018	0-30	5.4	0.44	6.41	2.92	0.21	16.4	7.34	0.28
LS97- 879	M019	0-30	4.8	1.16	4.02	0.82	0.42	28.7	7.00	0.36
LS97- 880	M020	0-30	4.2	1.83	0.76	0.37	0.36	30.2	7.38	0.35
LS97- 881	M021	0-30	4.5	1.85	2.17	0.60	0.31	39.7	6.68	0.32
LS97- 882	M022	0-30	4.5	1.59	1.52	0.55	0.36	14.0	5.48	0.29
LS97- 883	M023	0-30	4.8	1.19	2.07	0.44	0.29	15.5	5.55	0.28
LS97- 884	M024	0-30	4.6	1.29	1.20	0.39	0.28	16.0	5.54	0.27
LS97- 885	M025	0-30	5.3	0.10	7.17	2.43	0.57	6.5	8.52	0.41
LS97- 886	M026	0-30	5.5	0.16	7.07	2.48	0.52	13.8	7.97	0.31
LS97- 887	M027	0-30	5.0	0.64	5.76	1.76	0.34	12.2	12.83	0.48
LS97- 888	M028	0-30	5.3	0.36	5.11	1.85	0.45	18.5	12.42	0.47
LS97- 889	M029	0-30	4.4	1.40	1.74	0.47	0.40	15.6	6.11	0.31
LS97- 890	M030	0-30	4.3	1.63	1.20	0.44	0.41	24.1	7.33	0.35

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

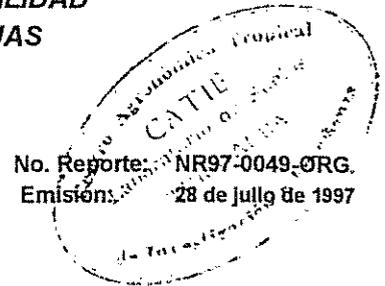


CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

**LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS**

TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533



Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
Dirección del sitio/finca: CATIE
Tipo de muestra: Suelo
Fecha Ingreso: 16 de junio de 1997
Fecha Análisis: 21 y 22 de julio de 1997
Método Análisis: pH en agua, extracción en KCl 1M y OLSEN modificado.
Materia Orgánica por digestión húmeda (Walkley y Black)
Nitrógeno por Kjeldahl.

No. Lab.	No. Ident.	Prof. (cm)	pH AGUA	ACD. EXT.	Ca cmol(+)/kg	Mg	K	P mg/kg	M.O. %	N %
LS97- 891	M031	0-30	4.6	1.08	3.70	0.95	0.48	37.9	6.13	0.32
LS97- 892	M032	0-30	4.9	0.71	4.35	0.90	0.43	8.8	6.08	0.31
LS97- 893	M033	0-30	4.6	1.51	2.07	0.61	0.49	31.6	5.52	0.28
LS97- 894	M034	0-30	4.6	1.38	2.17	0.56	0.49	18.2	7.06	0.35
LS97- 895	M035	0-30	4.6	1.40	1.96	0.63	0.35	20.0	6.36	0.32
LS97- 896	M036	0-30	5.6	0.02	5.43	2.21	0.51	8.2	8.27	0.38
LS97- 897	M037	0-30	5.2	0.35	5.43	1.60	0.51	14.2	6.81	0.35
LS97- 898	M038	0-30	4.6	0.96	2.61	0.73	0.40	14.5	6.41	0.32
LS97- 899	M039	0-30	4.6	1.04	2.28	0.52	0.24	6.0	7.52	0.36
LS97- 900	M040	0-30	4.6	1.17	1.20	0.32	0.17	5.3	7.97	0.33
LS97- 901	M041	0-30	5.1	0.52	2.39	0.90	0.22	3.6	9.47	0.37
LS97- 902	M042	0-30	5.7	0.05	5.65	2.76	0.45	2.4	6.83	0.32
LS97- 903	M043	0-30	5.5	0.14	5.33	1.71	0.46	6.8	6.78	0.31
LS97- 904	M044	0-30	5.2	0.19	3.70	1.60	0.42	15.2	7.23	0.34
LS97- 905	M045	0-30	5.1	0.26	3.80	1.93	0.62	7.8	9.89	0.46
LS97- 906	M046	0-30	5.6	0.05	6.85	2.43	0.36	4.3	8.88	0.42
LS97- 907	M047	0-30	5.4	0.12	5.00	2.47	0.55	11.2	9.98	0.44
LS97- 908	M048	0-30	5.3	0.30	4.24	1.48	0.47	8.8	8.40	0.39
LS97- 909	M049	0-30	4.8	0.91	2.93	1.06	0.34	16.0	6.78	0.32
LS97- 910	M050	0-30	4.8	1.27	1.52	0.58	0.44	19.2	8.16	0.36
LS97- 911	M051	0-30	5.1	0.20	7.61	1.74	0.40	7.1	6.87	0.37
LS97- 912	M052	0-30	4.8	0.79	2.93	0.77	0.38	32.6	5.45	0.25
LS97- 913	M053	0-30	5.2	0.60	5.22	0.92	0.32	10.1	6.35	0.27
LS97- 914	M054	0-30	5.2	0.69	4.35	1.48	0.28	14.4	7.06	0.29
LS97- 915	M055	0-30	5.6	0.24	6.63	1.50	0.34	6.7	6.86	0.30
LS97- 916	M056	0-30	5.5	0.23	6.52	1.79	0.29	4.2	7.49	0.33
LS97- 917	M057	0-30	5.2	0.67	4.13	1.76	0.23	18.4	7.93	0.33
LS97- 918	M058	0-30	5.3	0.35	5.87	1.56	0.21	5.3	7.57	0.33
LS97- 919	M059	0-30	5.4	0.30	4.35	2.06	0.17	4.1	8.46	0.41

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

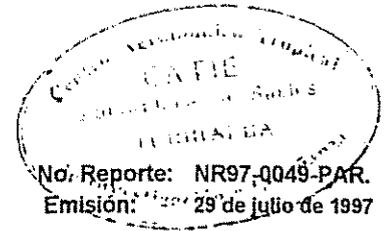
Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Lic. Marvin Núñez Sánchez
Encargado de laboratorio

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5566431, EXT. 377
 FAX: (506)5561533



Nombre Cliente: Marco Jonathan Lainez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Lainez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: Suelo
 Fecha Ingreso: 16 de junio de 1997
 Fecha Análisis: 21 y 22 de julio de 1997
 Método Análisis: Gravimetría. Volumen promedio de cilindro: 137.4 mL

No. Lab.	No. Ident.	Prof. (cm)	Masa muestra (g)	Densidad Aparente (g/mL)
LS97- 861	M001	0-30	118.847	0.86
LS97- 862	M002	0-30	143.240	1.04
LS97- 863	M003	0-30	125.860	0.92
LS97- 864	M004	0-30	143.910	1.05
LS97- 865	M005	0-30	118.063	0.86
LS97- 866	M006	0-30	99.180	0.72
LS97- 867	M007	0-30	125.220	0.91
LS97- 868	M008	0-30	102.140	0.74
LS97- 869	M009	0-30	123.303	0.90
LS97- 870	M010	0-30	128.834	0.94
LS97- 871	M011	0-30	141.967	1.03
LS97- 872	M012	0-30	141.334	1.03
LS97- 873	M013	0-30	160.348	1.17
LS97- 874	M014	0-30	149.208	1.09
LS97- 875	M015	0-30	138.466	1.01
LS97- 876	M016	0-30	105.966	0.77
LS97- 877	M017	0-30	117.323	0.85
LS97- 878	M018	0-30	110.817	0.81
LS97- 879	M019	0-30	94.668	0.69
LS97- 880	M020	0-30	132.953	0.97
LS97- 881	M021	0-30	107.866	0.79
LS97- 882	M022	0-30	96.541	0.70
LS97- 883	M023	0-30	94.016	0.68
LS97- 884	M024	0-30	101.318	0.74
LS97- 885	M025	0-30	114.259	0.83
LS97- 886	M026	0-30	93.262	0.68
LS97- 887	M027	0-30	83.819	0.61
LS97- 888	M028	0-30	91.555	0.67
LS97- 889	M029	0-30	132.623	0.97
LS97- 890	M030	0-30	95.963	0.70

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

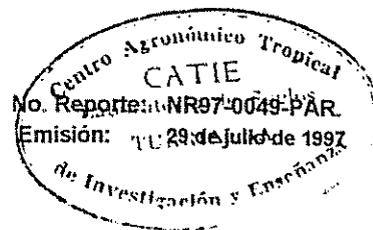
Lic. en Química
 Marvin Nuñez S.
Lic. Marvin Nuñez Sánchez
 Encargado de laboratorio

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

**LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS**

TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533

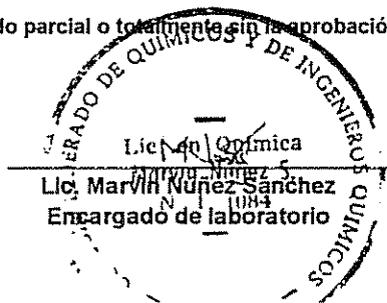


Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
Dirección del sitio/finca: CATIE
Tipo de muestra: Suelo
Fecha Ingreso: 16 de junio de 1997
Fecha Análisis: 21 y 22 de julio de 1997
Método Análisis: Gravimetría. Volumen promedio de cilindro: 137.4 mL

No. Lab.	No. Ident.	Prof. (cm)	Masa muestra (g)	Densidad Aparente (g/mL)
LS97-891	M031	0-30	138.630	1.01
LS97-892	M032	0-30	131.317	0.96
LS97-893	M033	0-30	117.591	0.86
LS97-894	M034	0-30	126.825	0.92
LS97-895	M036	0-30	123.948	0.90
LS97-896	M036	0-30	150.244	1.09
LS97-897	M037	0-30	132.316	0.96
LS97-898	M038	0-30	113.855	0.83
LS97-899	M039	0-30	107.265	0.78
LS97-900	M040	0-30	83.372	0.61
LS97-901	M041	0-30	104.219	0.76
LS97-902	M042	0-30	140.469	1.02
LS97-903	M043	0-30	162.602	1.18
LS97-904	M044	0-30	123.715	0.90
LS97-905	M045	0-30	121.168	0.88
LS97-906	M046	0-30	136.360	0.99
LS97-907	M047	0-30	129.882	0.95
LS97-908	M048	0-30	148.910	1.08
LS97-909	M049	0-30	135.694	0.99
LS97-910	M050	0-30	129.232	0.94
LS97-911	M051	0-30	144.408	1.05
LS97-912	M052	0-30	137.860	1.00
LS97-913	M053	0-30	132.020	0.96
LS97-914	M054	0-30	127.060	0.92
LS97-915	M055	0-30	161.950	1.18
LS97-916	M056	0-30	140.320	1.02
LS97-917	M057	0-30	147.070	1.07
LS97-918	M058	0-30	137.566	1.00
LS97-919	M059	0-30	140.280	1.02

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

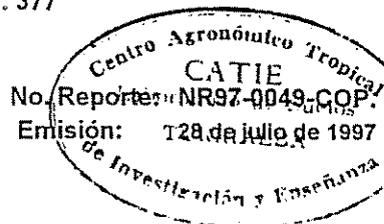


. CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

**LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS**

TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533



Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: Suelo
 Fecha Ingreso: 16 de junio de 1997
 Fecha Análisis: 27 al 30 de Agosto de 1997.
 Método Análisis: Extracción con acetato de amonio y análisis por AA para bases intercambiables.
 Extacción con cloruro de sodio y destilación por Kjeldahl para la capacidad de intercambio total

No. Lab.	No. Ident.	Prof. (cm)	C.I.C.	Ca	Mg	K	Na
				cmol(+)/kg			
S97- 861	M001	0-30	27.50	2.35	1.07	0.17	0.02
S97- 862	M002	0-30	31.42	5.10	2.33	0.56	0.01
S97- 863	M003	0-30	30.29	3.01	1.17	0.45	0.03
S97- 864	M004	0-30	28.92	5.80	2.33	0.39	0.03
S97- 865	M005	0-30	37.56	4.46	1.28	0.35	0.06
S97- 866	M006	0-30	40.01	5.30	1.83	0.33	0.06
S97- 867	M007	0-30	28.63	1.54	0.53	0.40	0.01
S97- 868	M008	0-30	31.15	4.95	2.00	0.70	0.03
S97- 869	M009	0-30	36.09	3.92	1.60	0.66	0.03
S97- 870	M010	0-30	29.85	13.40	3.33	0.49	0.03
S97- 871	M011	0-30	30.25	14.60	2.67	0.45	0.06
S97- 872	M012	0-30	30.27	10.30	2.50	0.41	0.06
S97- 873	M013	0-30	28.65	7.40	2.00	0.43	0.04
S97- 874	M014	0-30	29.64	6.40	1.67	0.35	0.03
S97- 875	M015	0-30	28.30	2.96	1.23	0.58	0.02
S97- 876	M016	0-30	29.39	4.17	1.08	0.84	0.02
S97- 877	M017	0-30	27.37	1.90	0.80	0.54	0.01
S97- 878	M018	0-30	34.35	6.10	3.00	0.34	0.13
S97- 879	M019	0-30	32.28	4.00	0.82	0.74	0.02
S97- 880	M020	0-30	32.61	0.77	0.25	0.58	0.01
S97- 881	M021	0-30	31.73	2.66	0.57	0.52	0.01
S97- 882	M022	0-30	28.32	1.65	0.53	0.59	0.02
S97- 883	M023	0-30	27.29	2.28	0.43	0.50	0.02
S97- 884	M024	0-30	26.33	1.23	0.33	0.44	0.02
S97- 885	M025	0-30	33.37	7.50	2.50	0.90	0.03
S97- 886	M026	0-30	34.14	7.30	2.67	0.80	0.05
S97- 887	M027	0-30	40.64	5.20	1.83	0.51	0.06
S97- 888	M028	0-30	39.70	5.10	2.00	0.70	0.07
S97- 889	M029	0-30	29.18	1.91	0.40	0.67	0.01
S97- 890	M030	0-30	32.19	1.45	0.40	0.70	0.15

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.
 Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

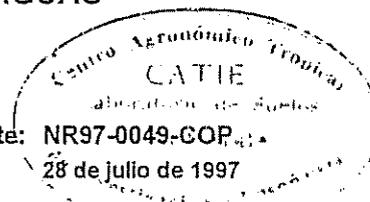
CATIE

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533



No. Reporte: NR97-0049-GOP

Emisión: 28 de julio de 1997

Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: Suelo
 Fecha Ingreso: 16 de junio de 1997
 Fecha Análisis:
 Método de Análisis: Extracción con acetato de amonio y análisis por AA para bases intercambiables.
 Extacción con cloruro de sodio y análisis por Kjeldahl para la capacidad de intercambio total

No. Ident.	Prof. (cm)	C.I.C.	Ca	Mg	K	Na	
			cmol(+)/kg				
7- 891	M031	0-30	31.46	3.78	1.02	0.85	0.17
7- 892	M032	0-30	32.05	6.18	0.93	0.78	0.02
7- 893	M033	0-30	31.65	2.25	0.62	0.84	0.01
7- 894	M034	0-30	34.40	2.23	0.53	0.86	0.01
7- 895	M035	0-30	31.21	2.11	0.60	0.64	0.02
7- 896	M036	0-30	28.42	5.50	2.17	0.75	0.03
7- 897	M037	0-30	33.14	5.40	1.67	0.84	0.04
7- 898	M038	0-30	29.78	2.72	0.77	0.69	0.01
7- 899	M039	0-30	30.66	2.44	0.50	0.40	0.01
7- 900	M040	0-30	29.22	1.27	0.28	0.30	0.02
7- 901	M041	0-30	30.58	2.39	0.87	0.35	0.08
7- 902	M042	0-30	31.17	6.20	3.00	0.76	0.04
7- 903	M043	0-30	29.32	4.90	1.67	0.76	0.05
7- 904	M044	0-30	31.48	4.03	1.67	0.69	0.03
7- 905	M045	0-30	33.77	4.03	2.00	1.09	0.07
7- 906	M046	0-30	33.07	6.70	2.33	0.64	0.07
7- 907	M047	0-30	34.79	4.80	2.50	0.87	0.10
7- 908	M048	0-30	34.90	4.68	1.57	0.77	0.03
7- 909	M049	0-30	30.27	2.89	1.00	0.58	0.03
7- 910	M050	0-30	35.25	1.74	0.57	0.78	0.03
7- 911	M051	0-30	34.79	7.20	1.67	0.69	0.03
7- 912	M052	0-30	27.83	2.94	0.75	0.62	0.10
7- 913	M053	0-30	29.24	5.02	0.92	0.54	0.11
7- 914	M054	0-30	31.34	4.14	1.57	0.50	0.02
7- 915	M055	0-30	30.69	6.10	1.52	0.58	0.07
7- 916	M056	0-30	32.89	6.10	1.83	0.52	0.03
7- 917	M057	0-30	31.78	4.09	1.83	0.43	0.03
7- 918	M058	0-30	31.19	5.10	1.62	0.37	0.04
7- 919	M059	0-30	29.24	4.12	2.00	0.29	0.04

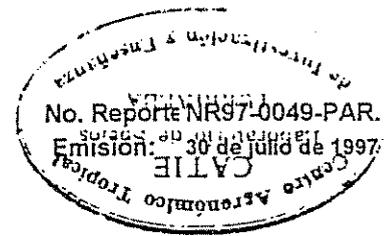
Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante al laboratorio.
 Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533



Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
Dirección del sitio/finca: CATIE
Tipo de muestra: Suelo
Fecha Ingreso: 16 de junio de 1997
Fecha Análisis: 29 de julio de 1997
Método Análisis: Extracción con KCl 2 M y destilación por Kjeldahl

No. Lab.	No. Ident	Prof. (cm)	NH4-N mg/kg	NO3-N mg/kg
LS97- 861	M001	0-30	12.84	14.67
LS97- 862	M002	0-30	18.76	15.63
LS97- 863	M003	0-30	14.78	12.09
LS97- 864	M004	0-30	23.36	16.44
LS97- 865	M005	0-30	24.12	21.71
LS97- 866	M006	0-30	36.19	26.90
LS97- 867	M007	0-30	17.45	11.77
LS97- 868	M008	0-30	19.92	10.91
LS97- 869	M009	0-30	25.26	21.65
LS97- 870	M010	0-30	5.61	8.02
LS97- 871	M011	0-30	26.76	12.06
LS97- 872	M012	0-30	18.34	8.77
LS97- 873	M013	0-30	14.41	10.17
LS97- 874	M014	0-30	16.24	8.93
LS97- 875	M015	0-30	16.47	10.98
LS97- 876	M016	0-30	12.67	9.69
LS97- 877	M017	0-30	15.95	10.15
LS97- 878	M018	0-30	23.64	12.69
LS97- 879	M019	0-30	9.97	9.58
LS97- 880	M020	0-30	23.24	19.09
LS97- 881	M021	0-30	23.04	19.59
LS97- 882	M022	0-30	32.31	19.07
LS97- 883	M023	0-30	19.48	16.70
LS97- 884	M024	0-30	25.46	19.00
LS97- 885	M025	0-30	31.91	23.12
LS97- 886	M026	0-30	14.84	10.18
LS97- 887	M027	0-30	42.28	25.74
LS97- 888	M028	0-30	25.46	20.18
LS97- 889	M029	0-30	16.93	17.32
LS97- 890	M030	0-30	37.60	29.75

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

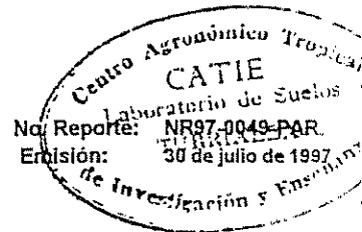
Lic. Marvin Núñez Sánchez
Encargado de laboratorio

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533



Nombre Cliente: Marco Jonathan Lainez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Lainez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: Suelo
 Fecha Ingreso: 16 de junio de 1997
 Fecha Análisis: 29 de julio de 1997
 Método Análisis: Extracción con KCl 2 M y destilación por Kjeldahl

No. Lab.	No. Ident.	Prof. (cm)	NH ₄ -N ----- mg/kg -----	NO ₃ -N
LS97- 891	M031	0-30	58.73	38.90
LS97- 892	M032	0-30	24.01	6.48
LS97- 893	M033	0-30	38.01	22.40
LS97- 894	M034	0-30	16.42	10.94
LS97- 895	M035	0-30	25.91	17.66
LS97- 896	M036	0-30	26.12	14.13
LS97- 897	M037	0-30	19.88	16.37
LS97- 898	M038	0-30	30.48	30.89
LS97- 899	M039	0-30	29.39	25.67
LS97- 900	M040	0-30	20.09	17.63
LS97- 901	M041	0-30	21.88	16.83
LS97- 902	M042	0-30	27.27	20.98
LS97- 903	M043	0-30	33.89	19.06
LS97- 904	M044	0-30	37.51	33.72
LS97- 905	M045	0-30	27.27	19.48
LS97- 906	M046	0-30	24.37	16.24
LS97- 907	M047	0-30	34.75	27.03
LS97- 908	M048	0-30	32.76	29.49
LS97- 909	M049	0-30	15.12	14.30
LS97- 910	M050	0-30	20.15	11.06
LS97- 911	M051	0-30	22.86	22.08
LS97- 912	M052	0-30	29.43	27.75
LS97- 913	M053	0-30	26.01	15.85
LS97- 914	M054	0-30	23.49	15.39
LS97- 915	M055	0-30	24.28	19.57
LS97- 916	M056	0-30	30.91	23.29
LS97- 917	M057	0-30	29.95	19.22
LS97- 918	M058	0-30	20.22	14.32
LS97- 919	M059	0-30	22.15	10.86

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente, sin la aprobación escrita del laboratorio.

Lic. Marvin Núñez Sánchez, 11184
 Encargado de laboratorio

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533

No. Reporte: NR97-0036-ORG.

Emisión: 1710797

Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: Suelo
 Fecha Ingreso: 07 de mayo de 1997
 Fecha Análisis: Mayo de 1997
 Método Análisis: Gravimetría para sólidos totales y disueltos.
 Nitratos y amonio por destilación.



No. Lab.	No. Ident.	Masa ST (mg)	Vol. ST (mL)	ST (mg/L)	Masa SD (mg)	Vol. SD (mL)	SD (mg/L)
LS97- 544	1	5.60	50.00	112.00	0.30	95.00	3.16
LS97- 545	2	2.20	50.00	44.00	0.00	100.00	0.00
LS97- 546	3	4.30	50.00	86.00	0.10	100.00	1.00
LS97- 547	4	4.40	50.00	88.00	0.10	100.00	1.00

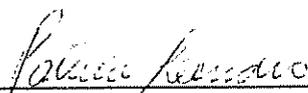
SD: Sólidos Disueltos

ST: Sólidos Totales

No. Lab.	No. Ident.	NH4-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)
LS97- 544	1	1.97	1.31
LS97- 545	2	2.15	1.37
LS97- 546	3	2.41	1.49
LS97- 547	4	1.88	1.25

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.


 Patricia Leandro
 Encargado de laboratorio

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5566431, EXT. 377
 FAX: (506)5561533

No. Reporte: NR97-0057-ORG.

Emisión: 1/10/97



Nombre Cliente: Marco Jonathan Lainez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Lainez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: Agua
 Fecha Ingreso: 07 de julio de 1997
 Fecha Análisis: Julio de 1997
 Método Análisis: Gravimetría para sólidos totales y disueltos.
 Nitratos y Amonio por destilación.

No. Lab.	No. Ident.	Masa ST (mg)	Vol. ST (mL)	ST (mg/L)	Masa SD (mg)	Vol. SD (mL)	SD (mg/L)
LS97- 1043	1	12.00	100.00	120.00	0.80	100.00	8.00
LS97- 1044	2	2.80	100.00	28.00	0.20	100.00	2.00
LS97- 4045	3	10.80	100.00	108.00	0.50	100.00	5.00
LS97- 1046	4	8.00	100.00	80.00	0.30	100.00	3.00

ST: Sólidos Totales
 SD: Sólidos Disueltos

No. Lab.	No. Ident.	NH4-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)
LS97- 1043	1	1.57	0.64
LS97- 1044	2	1.06	0.73
LS97- 4045	3	1.21	0.94
LS97- 1046	4	1.09	1.00

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Patricia Leandro
 Encargado de laboratorio

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533

No. Reporte: NR97-0067ORG.

Emisión: 19/9/1997

Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: Agua
 Fecha Ingreso: 16 de setiembre de 1997
 Fecha Análisis: 17 de setiembre de 1997
 Método Análisis: Gravimetría para sólidos totales y disueltos.
 Nitratos y Amonio por destilación.



No. Lab.	No. Ident.	Masa ST (mg)	Vol. ST (mL)	ST (mg/L)	Masa SD (mg)	Vol. SD (mL)	SD (mg/L)
LS97- 1096	1	12.60	100.00	126.00	0.90	100.00	9.00
LS97- 1097	2	5.70	100.00	57.00	0.20	100.00	2.00
LS97- 1098	3	8.60	100.00	86.00	0.40	100.00	4.00
LS97- 1099	4	8.90	100.00	89.00	0.70	100.00	7.00

ST: Sólidos Totales

SD: Sólidos Disueltos

No. Lab.	No. Ident.	NH4-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)
LS97- 1043	1	1.85	1.03
LS97- 1044	2	1.25	1.08
LS97- 4045	3	0.79	0.35
LS97- 1046	4	1.16	0.55

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Patricia Leandro
 Encargado de laboratorio

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, CARTAGO

LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE FERTILIDAD
DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

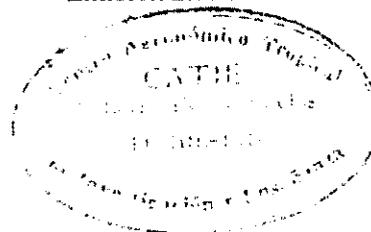
TEL: (506) 5566431, EXT. 377

FAX: (506)5561533

No. Repc NR97-0083-ORG.

Emisión 27/10/97

Nombre Cliente: Marco Jonathan Láinez O.
 Nombre Técnico: Marco Jonathan Láinez O.
 Dirección del sitio/finca: CATIE
 Tipo de muestra: aguas
 Fecha Ingreso: 23/10/97
 Fecha Análisis: 23/10/93
 Método Análisis: Gravimetría para sólidos totales y disueltos.
 Nitratos y amonio por destilación.



No. Lab.	No. Ident.	Masa ST (mg)	Vol. ST (mL)	ST (mg/L)	Masa SD (mg)	Vol. SD (mL)	SD (mg/L)
LS97- 1482	1	10.30	100.00	103.00	0.10	100.00	10.00
LS97- 1483	2	5.20	100.00	52.00	0.30	100.00	3.00
LS97- 1484	3	9.60	100.00	96.00	0.40	100.00	4.00
LS97- 1485	4	9.50	100.00	95.00	0.40	100.00	4.00

SD: Sólidos Disueltos

ST: Sólidos Totales

No. Lab.	No. Ident.	NH4-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)
LS97- 1482	1	0.57	0.38
LS97- 1483	2	0.57	0.30
LS97- 1484	3	0.63	0.46
LS97- 1485	4	0.66	0.30

Los resultados anteriores corresponden únicamente a las muestras físicas sometidas por el cliente o su representante técnico al laboratorio.

Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

