

Gases de Efecto Invernadero y Agricultura Orgánica.

Investigación



Este trabajo valora el aporte de la Agricultura Orgánica en la mitigación de gases de efecto invernadero y fue tomado como base para proponer un esquema de reconocimiento de servicios ambientales. A través de la Norma y Sello “Cam(Bio)2” se plantea la generación de un índice y esquema. Nuevas formas mundiales de reconocimiento vinculan regiones en producción orgánica con un mercado alternativo y voluntario de carbono.

Metodología y Resultados

(2003/2009)
Costa Rica



Tabla de Contenidos

1. RESULTADOS TÉCNICOS.....	3
1.1. APORTES DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA A LA CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD.	3
1.1.1. Selección de indicadores biológicos.....	4
1.1.2. Metodología.....	5
1.1.3. Resultados.....	6
1.1.4. Discusión de resultados.....	7
1.2. SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICOS Y CONVENCIONALES.	7
1.2.1. Metodología.....	8
1.2.2. Resultados.....	8
1.3. MONITOREO DE SUELOS.....	9
2. OPERACIÓN DEL MODELO.	12
2.1. CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO DE SUELOS.	12
2.2. REDUCCIÓN DE EMISIONES POR FERTILIZACIÓN NITROGENADA.....	13
2.3. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	14

1. Resultados técnicos

Los resultados de ciclos de medición anteriores se han integrado al modelo de análisis estadístico para converger en el diseño de una Norma y Sello para producción orgánica. Adicional a este trabajo, que posteriormente será explicado, en el periodo de trabajo febrero 2009 a enero 2010, el proyecto ha profundizado en aspectos técnicos complementarios al sustento de un esquema integral de pago de servicios ambientales.

En el caso particular de la agricultura ecológica, tres estrategias direccionan la mitigación de emisiones, el manejo de la fertilidad natural del suelo y uso de abonos orgánicos que evitan la emisión de óxidos di nitroso, el secuestro de dióxido de carbono por el suelo y bajas tasa de emisiones por renuncia al uso de insumos externos (Muller, A. 2009). La investigación en su desarrollo ha profundizado en estas áreas haciendo énfasis en fincas de pequeños productores ecológicos por región.

Particularmente dos áreas fueron abordadas y ampliadas. Los estudios de biodiversidad y el aporte regional a la conservación por productores como un complemento a los Servicios Ambientales que generan las fincas de producción ecológica. Se trata de establecer y explicar nuevos vínculos entre la agricultura, el Cambio Climático y la Conservación Biodiversidad. Un segundo estudio explica la sostenibilidad de sistemas de producción ecológicos y convencionales, incorporando variables de emisión y fijación de gases. Con sus resultados se respalda una propuesta sostenible y replicable de pago del Servicios Ambiental.

Como una estrategia de monitoreo y validación a largo plazo de los servicios ambientales determinados, en este periodo de evaluación, se realizó un monitoreo del carbono de suelo almacenado. Se seleccionaron siete fincas que fueron evaluadas en el año 2005. La intención es monitorear la evolución del carbono de suelos en las fincas y validar su colocación como Servicio Ambiental a largo plazo.

1.1. Aportes de la agricultura ecológica a la conservación de Biodiversidad

Observaciones de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, citadas por el Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA), aseveran que antes del fin del siglo XXI, el cambio climático se convertirá en la fuerza dominante de la pérdida de la diversidad biológica. Los cambios de clima proyectados, mas el cambio de los usos de la tierra y la propagación de las especies exóticas, probablemente restringirán la capacidad de emigrar y acelerarán la pérdida de algunas especies. Aunque en el pasado los ecosistemas se han ido adaptando a condiciones cambiantes, los cambios actuales se dan en un índice nunca visto. Por lo general, cuanto más rápidos son los cambios climáticos, mayor es el impacto en el hombre y los ecosistemas. Reducir emisiones de gases de efecto invernadero puede disminuir estas presiones y dar más tiempo a los ecosistemas para que se adapten (PNUMA. 2007).

Además de las relaciones entre los cambios climáticos y la pérdida de biodiversidad, se discute como estrategias de mitigación del cambio climático pueden ayudar a la conservación de especies. Esfuerzos importantes de han enfocado a la evaluación de la deforestación evitada (en esquemas REDD) y la conservación de hábitats (Venter, O. et al. 2009). Algunas investigaciones han introducido el tema de conservación en paisajes agrícolas (Pagiola, S. et al. 2004).

La Agricultura ecológica ha demostrado importantes aportes en la conservación de biodiversidad por una gran gama de alternativas (Hole, D, et al. 2005). En la construcción de un esquema de pago por Servicios Ambientales en Agricultura Orgánica resulta prioritario incorporar criterios que reconozcan los aportes en la conservación de biodiversidad. Por ello, en el marco de la investigación desarrollada se han abordado los grupos de productores por regiones intentando crear un índice regional, que logre unirse a los criterios evaluados por la norma y Sello en desarrollo.

Para el año 2009 fueron evaluadas dos zonas de trabajo de la investigación, la región Carraigres con productores de café y la región de Zarcero con productores de hortalizas. Basados en indicadores biológicos fueron comparados sistemas de producción orgánica, convencional y áreas de bosque. Se intenta conocer la influencia de los diferentes manejos y usos de la tierra en la riqueza y abundancia de especies indicadores de la calidad biológica. Se seleccionaron inventarios botánicos y evaluación de insectos (escarabajos coprófagos y mariposas) como indicadores biológicos.

1.1.1. Selección de indicadores biológicos

Los insectos, constituyen el 90% de las especies en los trópicos y son un componente importantísimo de los sistemas agrícolas (Pimentel et al. 1992). Este grupo cumple papeles importantes en las cadenas alimenticias, forman parte de procesos ecológicos claves y son de interés económico ya que pueden ser plagas para los sistemas productivos (Zim y Clarence 1993). Su ciclo de vida está fuertemente influenciado por la estructura y calidad del hábitat (Jeanneret et al. 2003), y son adecuados para evaluar respuestas a corto plazo o escalas espaciales pequeñas (Finegan et al. 2004). Es por esto que han sido uno de los grupos más utilizados como indicadores de salud de los agro-ecosistemas (Perfecto et al. 2003, Pérez 2008).

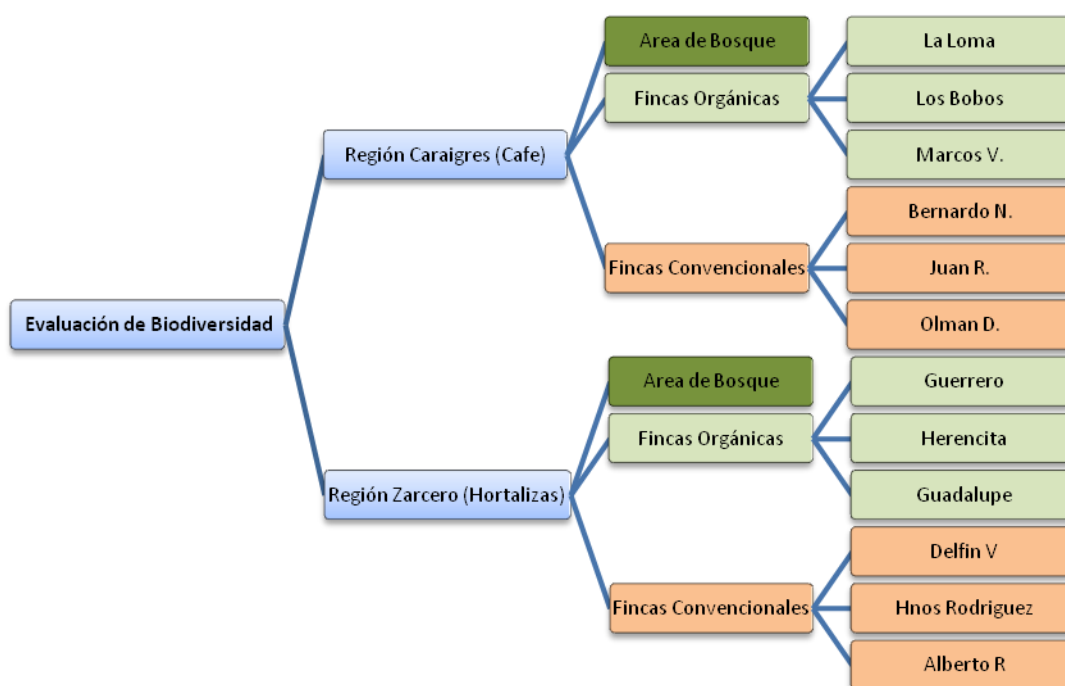
Las mariposas se encargan de la polinización de muchas plantas (Brown y Hutching 1997) y su diversidad va a estar determinada al tipo de vegetación acompañante del cultivo ya que esta vegetación es utilizada como plantas hospederas y de alimentación. Los escarabajos coprófagos, son muy importantes dentro del agroecosistema ya que se encargan de la descomposición de la materia orgánica, son muy sensibles a los cambios en las características de la vegetación y el tipo de suelo (Escobar 2000), ya que la mayoría de las especies cumplen su ciclo biológico en galerías construidas en el interior del suelo. Además, son indicadores indirectos de la presencia de vertebrados en el ecosistema, debido a que éstos les proveen de excremento que es utilizado como alimento y sustrato para su oviposición (Klein 1989, Hernández et al. 2003).

Por otro lado, las comunidades vegetales están íntimamente asociadas al manejo del sistema agrícola y son un claro reflejo de la sostenibilidad del sistema de producción (Becker 1995). La presencia y diversidad de vegetación acompañante puede ser un útil indicador la calidad del sistema productivo en términos de conservación (Becker 1995), debido a que juega un papel importante como fuentes de alimento, refugio y descanso para las mariposas, escarabajos y otros grupos de fauna silvestre.

1.1.2. Metodología

Métodos de captura directa en el campo por transectos fue diseñado para la evaluación de mariposas, de muestreo por trampas de caída para escarabajos y de parcelas de muestreo para vegetación. Por cada región se evaluaron tres fincas orgánicas, tres fincas convencionales y tres áreas de bosque, para un total de doce fincas y seis bosques evaluados.

Figura 4. Fincas y bosques evaluados respecto a valores de conservación de biodiversidad por regiones de estudio.



Los muestreos de mariposas consistieron en la colecta y registró aquellas especies e individuos por especie que pasaron por un transecto 80 m de largo por 6 de ancho, ubicados en cada uno de los sitios de muestreo establecidos. Cada transecto fue recorrido por dos personas a una velocidad constante durante una hora por día durante tres días, la captura se realizó con redes de golpe. Para la captura de escarabajos se utilizaron trampas de foso (trampas pitfall). Se colocó un total de 20 trampas por finca, distribuidas en cada uno de los sitios de muestreo establecidos. Las trampas fueron distribuidas cada 20 m a lo largo del transecto para mariposas y 10 m a cada lado de éste. Las trampas fueron cebadas y revisadas diariamente por tres días, se anotó las especies y número

de individuos por especie capturadas. En cada sitio de muestreo se estableció dos parcelas cuadrangulares de 4 metros cuadrados (2m x 2m) donde se registró plantas herbáceas y arbustivas menores a 75 cm de altura.

1.1.3. Resultados

Los resultados de este estudio no son concluyentes. Son necesarias más observaciones en estas y nuevas regiones para lograr representatividad y alimentar el índice regional de conservación de biodiversidad. Sin embargo las variables evaluadas y sus niveles representan un primer acercamiento del aporte de los sistemas de producción de café ecológico a la conservación de la biodiversidad.

Tabla 2. Resumen de observaciones en variables evaluadas en estudios de biodiversidad en las regiones Caraigres y Zarcero.

Región	Tratamiento	Mariposas		Escarabajos.		Vegetación acompañante		Vegetación de sombra	
		Número de especies	Promedio de individuos	Número de especies	Promedio de individuos	Número de especies	Promedio de individuos	Número de especies	Promedio de individuos
Caraigres (Café)	Ecológico	54	54.56	12	25.56	47	18.44	23	11.78
	Convencional	60	15.00	10	3.00	39	15.72	21	10.17
	Bosque	26	20.00	4	3.67	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	Total	102	NA	14	NA	84	NA	48	NA
Zarcero (hortalizas)	Ecológico	21	29,67	4	187,33	19	237,67		
	Convencional	16	26,67	4	325,44	13	94,56		
	Bosque	7	18,67	4	232,67	N.E.	N.E.		
	Total	31	NA	5	NA	20	NA		

Fuente: CEDECO, 2010.

Tabla 3. Composición de especies¹

Región	Grupo biológico	Especies Sistemas Ecológicos*	Especies Sistemas Convencionales*	Especies compartidas	Índice de Jaccard
Caraigres (Café)	Escarabajos	4	1	8	0.57
	Mariposas	19	33	23	0.25
	V. para sombra	9	8	10	0.29
	H. acompañante	27	20	16	0.23
Zarcero (hortalizas)	Escarabajos	4	4	4	1,00
	Mariposas	11	6	10	0,37
	H. acompañante	7	1	12	0,60

* Especies registradas sólo en ese tipo de agroecosistema. Fuente: CEDECO, 2010.

¹ La composición se define como las diferentes especies registradas en cada uno de los tratamiento (orgánico, convencional o bosque) evaluados. El índice de Jaccard es un estimador cuantitativo que describe el grado de asociación o semejanza entre los elementos comparados, expresado en valor numérico, entre 0 y 1.

1.1.4. Discusión de resultados

De los resultados obtenidos, la composición fue el parámetro que presentó mayor diferencia para los grupos biológicos y hábitat evaluados. La tendencia a una mayor riqueza y abundancia de mariposas, escarabajos y vegetación en cultivos ecológicos podría estar más relacionada a la ausencia en el uso de herbicidas o agroquímicos (calidad de hábitat). Probablemente la riqueza y abundancia para algunos de los grupos ecológicos evaluados no presentaron diferencias entre cultivos ecológicos y convencionales, debido al bajo tamaño de muestra.

La tendencia de los datos, respalda la necesidad de realizar más estudios y seguimiento de biodiversidad en sistemas de producción orgánica. Esto permitirá llegar a conclusiones acertadas sobre su verdadero aporte a la conservación de la biodiversidad.

Varias especies registradas de mariposas, escarabajos y vegetación podrían ser utilizadas como indicadores de sistemas ecológicos. Sin embargo, puede haber otras especies con requerimientos de hábitat más específicos que pueden ser utilizadas como indicadores y que no fueron registradas o que presentaron pocos datos. La presencia de ciertas especies clave podría ayudar a determinar el aporte de la agricultura orgánica a la conservación de la biodiversidad.

Se plantea una profundización en la evaluación del aporte de la Agricultura Ecológica en la conservación de la biodiversidad. Se retomarán las especies incluidas, con especificidad hacia algunas que podrían ser indicadores clave. Igualmente, surge la posibilidad de evaluar otros grupos taxonómicos (hormigas y lombrices de tierra).

De los resultados obtenidos y su complemento con más estudios, se espera generar un índice regional de conservación de biodiversidad por la agricultura orgánica.

1.2. Sustentabilidad de sistemas de producción ecológicos y convencionales

En estudios realizados a sistemas ecológicos para determinar su aporte a la sostenibilidad de las comunidades (Astier et al. 1997, Altieri & Nicholls 2000, Masera & López 2000, Astier et al. 2004, Gomero & Velásquez 2004, Cárdenas et al. 2007) evidencian la eficiencia de este tipo de agroecosistemas con el medio y un manejo más sostenible. Esta sostenibilidad o desarrollo sostenible implica un proceso que debe ser estable y regenerativo en el tiempo, con una visión más amplia de lo que conlleva el desarrollo económico y la conservación de los recursos naturales. Este término de sostenible es más alternativo y defendido por diferentes autores (Leff, 1996 & 2001, Bifani 1995, Mooney 1993) manifestando que lo sostenible complementa la ecología, economía y lo social, es decir se produce garantizando el estado natural de los ecosistemas mediante la distribución equitativa entre los distintos grupos sociales.

1.2.1. Metodología

Basados en los preceptos de la sostenibilidad se diseñó una investigación en donde se evaluaron 17 fincas incluidas en el proyecto sobre Cambio Climático y Agricultura Orgánica de CEDECO. De ellas 10 aplican manejo ecológico y 7 aplican manejo tradicional. Mediante indicadores sociales, económicos y ambientales se buscó aportar nuevos conocimientos e indicadores sobre el manejo de fincas mediante el uso de técnicas en agricultura ecológica, además de generar una metodología que permita evaluar fincas ecológicas desde un punto de vista más sencillo y a bajo costo. Específicamente se busca dar soporte al planteamiento del pago de Servicios Ambientales en la agricultura ecológica que tiende a la sustentabilidad y replicación de sus beneficios al entorno natural y social.

La selección y validación de los indicadores de la sostenibilidad se basó en el uso de indicadores propuestos por los siguientes estudios: la metodología MESMIS (Masera et al. 1999, López-Ridaura et al. 2001), el Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café (Altieri & Nicholls 2002), Enfoque metodológico: emisión de gases efecto invernadero, la fijación de carbono y la agricultura orgánica (Castro & Amador 2006) y Metodología para evaluar sistemas campesinos de caficultores ecológicos desarrollada en Colombia (Cárdenas et al. 2005).

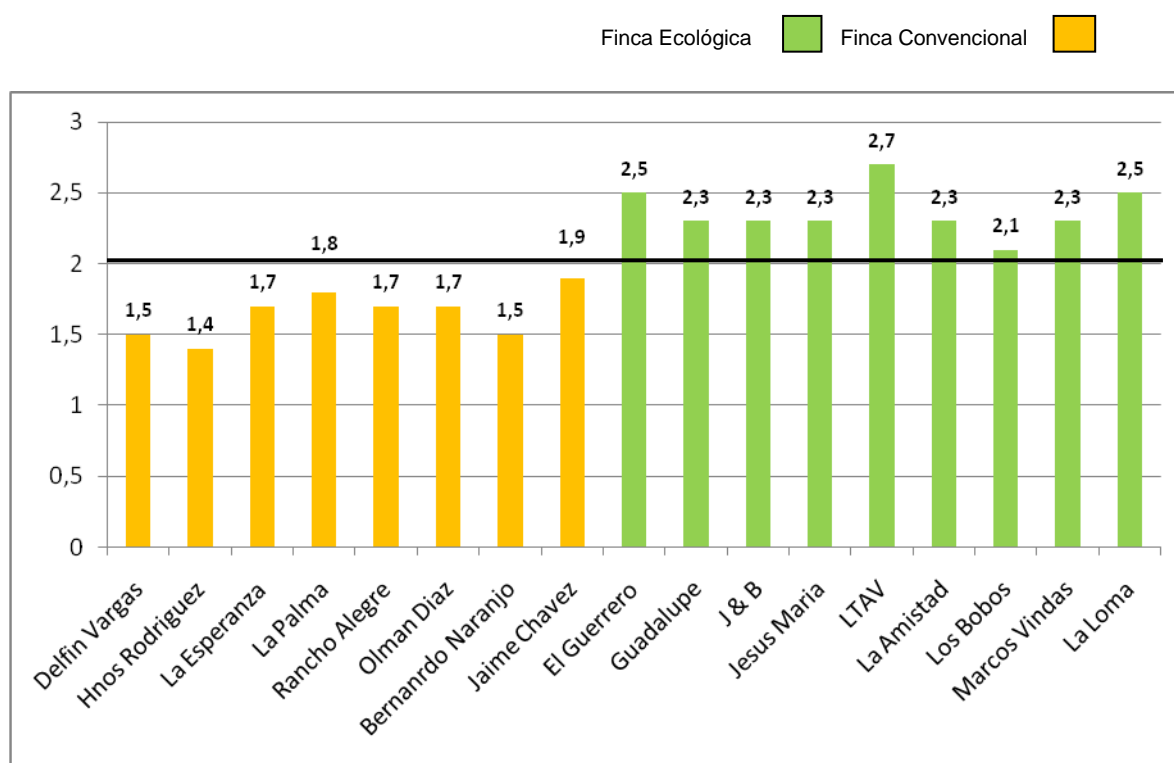
Para mejorar el análisis de sostenibilidad de las fincas por medios indicadores, este estudio propuso tres indicadores relacionados con servicios ecosistémicos (agrobiodiversidad, diversidad de árboles y conservación de bosques). En total se seleccionaron 15 indicadores para el análisis, los cuales fueron agrupados en siete atributos.

Cada indicador fue valorado mediante una escala de 1 a 3, donde 1 fue el valor más bajo y tres el valor más alto. Posteriormente, se promedió el indicador por finca, lo que permitió establecer el índice de sostenibilidad. Además, se estableció un umbral de sostenibilidad a partir del valor de 2 (valor mínimo de una magnitud a partir de la cual se produce un efecto determinado) donde valores mayores a 2 se consideran que tienden a la sostenibilidad y valores menores a 2 se consideran por debajo del umbral y por tanto, no son sostenibles.

1.2.2. Resultados

Los índices obtenidos muestran que las fincas ecológicas presentan niveles por encima del umbral, alcanzando una tendencia hacia la sostenibilidad dentro del rango establecido en esta investigación. En el caso de las fincas tradicionales, se encuentran por debajo del umbral, por lo tanto, no tienden a ser sostenibles (Fig. 5). En cuanto a los indicadores las fincas ecológicas con respecto a las tradicionales, muestran fortalezas en el manejo de suelo mediante la implementación de prácticas de conservación, muestran un mayor aporte en servicios ecosistémicos y una alta productividad similar a fincas tradicionales, esto hace que las fincas ecológicas presenten tendencia hacia la sostenibilidad.

Figura 5. Índice de sustentabilidad para fincas orgánicas y convencionales en el proyecto.



Fuente: Fallas, G. 2009.

Queda demostrado que las fincas con manejo ecológico tienden hacia la sostenibilidad debido a que llevan a cabo prácticas de conservación de suelo, reciclan sus nutrientes, conservación biodiversidad, mejoramiento del paisaje y hay un mayor involucramiento de la familia en las labores de la finca y en la comunidad.

La metodología desarrollada por esta investigación contribuirá en estudios sobre el pago de servicios ecosistémicos a fincas ecológicas, debido al papel de las fincas en la conservación de la biodiversidad local, conectividad de áreas boscosas y aporte en la reducción del cambio climático.

1.3. Monitoreo de suelos

Siete fincas fueron seleccionadas para realizar una reevaluación del carbono almacenado de suelos. Las siete fincas habían sido evaluadas en el año 2005. Todas cuentan con cuatro años de manejo bajo agricultura orgánica, convencional o en transición. No han mostrado variaciones en sus itinerarios. Inclusive, la finca determinada en transición, sigue un esquema mixto de prácticas ecológicas y uso de algunos insumos convenciones.

El método consistió en la ubicación del sitio de estudio original, recurriendo al Sistema de Información Geográfico del proyecto. Determinado el sitio de estudio, en un radio no mayor a 4 metros, reelaborar una fosa de observación, Calicata, donde nuevamente se anotan las variables

de cálculo para el carbono almacenado en suelos, esto hasta un metro de profundidad. Se evaluaron cambios en la densidad aparente y contenido de materia orgánica de los suelos.

Los resultados, por tener pocas observaciones no son concluyentes. Las variaciones fluctuaron en el orden de las 100 toneladas por hectárea tanto al aumento como a la disminución. Tales variaciones podrían deberse tanto a error experimental (por variaciones de suelos tropicales y de toma de muestras) como a variaciones reales de variables de suelos. Futuros monitoreos permitirán definir un valor buffer para la colocación del carbono de suelos en mediante el esquema de pago de Servicios Ambientales.

Tabla 4. Evolución de las variables determinantes y contenidos de carbono almacenado de suelos para siete fincas de producción bajo investigación.

Finca	Tipo de Finca	Horizonte	Profundidad inicio	Profundidad final	Profundidad total	Materia Orgánica (%) 2005	Densidad Aparente 2005	Materia Orgánica (%) 2009	Densidad Aparente 2009	Toneladas C/ha 2005	Toneladas C/ha 2009	Suma Toneladas C/ha 2005	Suma Toneladas C/ha 2009
Jaime Chávez	transición	Ap	0	16	16	8.20	0.89	7.80	0.66	201.39	191.50	543.53	612.46
		AB	16	60	44	5.20	0.55	6.10	0.62	216.85	254.52		
		Bw1	60	94	34	3.51	0.55	4.40	0.56	113.06	141.86		
		Bw2	94	100	6	2.19	0.54	4.40	0.56	12.24	24.58		
El Guerrero	certificada	Ap	0	35	35	5.06	0.80	5.15	0.58	244.11	248.62	279.48	279.75
		Bw1	35	65	30	0.76	0.49	0.65	0.62	19.22	16.47		
		B/C	65	85	20	0.38	0.52	0.50	0.56	6.80	8.97		
		2Bw2	85	100	15	0.82	0.44	0.50	0.56	9.35	5.69		
La Loma	certificada	Ap	0	25	25	0.50	1.23	5.0	1.13	26.31	265.09	236.73	586.39
		CB	25	65	40	0.31	1.37	3.3	1.4	29.31	307.07		
		Ab	65	100	35	2.54	1.18	0.2	1.0	181.12	14.24		
Los Bobos	certificada	A	0	17	17	6.39	0.95	4.90	0.76	177.93	136.44	306.17	180.47
		Bw	17	50	33	1.25	1.29	0.60	1.05	91.75	44.04		
		Bw/Bt	50	80	30	0.56	1.26	0.00	1.32	36.50	0.00		
		C	80	100	20	0.31	SD	0.00	1.32	0.00	0.00		
Bernardo Naranjo	convencional	Ap	0	12	12	6.3	0.80	4.1	1.05	104.61	67.86	261.95	149.18
		Bw	12	28	16	3.6	0.91	1.4	1.39	89.62	35.14		
		C1	28	100	72	0.4	1.24	0.3	1.39	67.73	46.18		
Jesús María	certificada	Ap	0	17	17	9.06	0.72	7.7	0.77	191.20	162.50	418.86	768.91
		AB	17	42	25	2.48	0.70	7.1	0.84	74.83	214.22		
		B1	42	92	50	1.68	0.96	4.2	0.65	139.03	347.59		
		B2	92	100	8	1.3	0.77	4.2	0.65	13.81	44.61		
Gonzales Prado	certificada	Ap	0	40	40	13.96	0.60	11.8	0.68	577.66	488.28	935.56	852.86
		A2	40	90	50	7.2	0.55	7.3	0.55	341.38	346.12		
		Bw	90	100	10	1.88	0.51	2.1	0.59	16.53	18.47		

2. Operación del modelo

El Modelo de análisis estadístico es la herramienta metodológica propuesta por la investigación CEDECO para lograr condensar métodos de evaluación en finca y seleccionar las variables 1 que determina el comportamiento de la agricultura ecológica en la mitigación de gases de efecto invernadero.

A partir de los resultados obtenidos en el periodo anterior de medición, mas los datos adquiridos en la evaluación 2009-2010 se realizo el ultimo corrido del modelo estadístico. Con los resultados y las orientaciones del equipo asesor, se determinaron los métodos simplificados para dos de las tres áreas de medición principales del proyecto a incluir en la Norma, Carbono de Suelos y reducción de emisiones por fertilización nitrogenada. Los resultados también situaron un trabajo directo usando metodologías alternativas para la evaluación de Biomasa de Cultivos Perennes y Análisis Energético.

2.1. Cuantificación del Carbono de Suelos

El análisis de las variables que determinan el carbono de suelos se discriminaron mediante los análisis de correlación. Estos derivaron en dos variables claves para determinar el carbono de suelos a un metro de profundidad: La profundidad de la capa arable (A_p) de los suelos y el contenido de materia orgánica (%M.O.) de esta capa. La variable Contenido de Potasio (K Cmol/L) de suelos presentó el tercer lugar de correlación, sin embargo en un posterior análisis de regresión resulto no significativa.

Con las variables de mayor correlación (Profundidad A_p en cm, Materia Orgánica en % y Potasio en Cmol/L) se realizaron análisis de regresión para el mejor ajuste en la predeterminación de la variable Carbono almacenado a un metro de profundidad. Resultando la de mejor ajuste la que incorpora únicamente Profundidad de A_p y % Materia Orgánica.

$$\text{Ton C 1 m} = -40.11 + 4.06 (\text{Prof. } A_p) + 15.75 (\% \text{ M.O})$$

Donde:

- **Ton C 1 m:** Toneladas de carbono estimadas almacenadas a un metro de profundidad en el área o subunidad de suelo.
- **Prof. A_p :** Profundidad en centímetros de la capa arable del suelo
- **% M.O:** Materia organiza del suelo en porcentaje mediante el procedimiento de Walkley y Black en un laboratorio de suelos.

Tabla 5. Análisis de regresión lineal. Resumen de indicadores estadísticos

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC	
Ton C 1 m	48	0.66	0.64	3441.79	525.94	533.42	
Coeficientes de regresión y estadísticos asociados							
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp Mallows
Constante	-40.11	21.86	-84.14	3.92	-1.83	0.0731	
Prof.Ap	4.06	0.88	2.28	5.84	4.59	<0,0001	22.66
% M.O.	15.75	2.61	10.49	21.01	6.03	<0,0001	37.62
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)							
Factor de Variación.	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	CM	F	p-valor		
Modelo	259498.62	2	129749.31	42.79	<0,0001		
Prof.Ap	63953.57	1	63953.57	21.09	<0,0001		
% M.O.	110334.53	1	110334.53	36.39	<0,0001		
Error	136445.46	45	3032.12	-	-		
Total	395944.07	47	-	-	-		

Fuente. CEDECO, 2010.

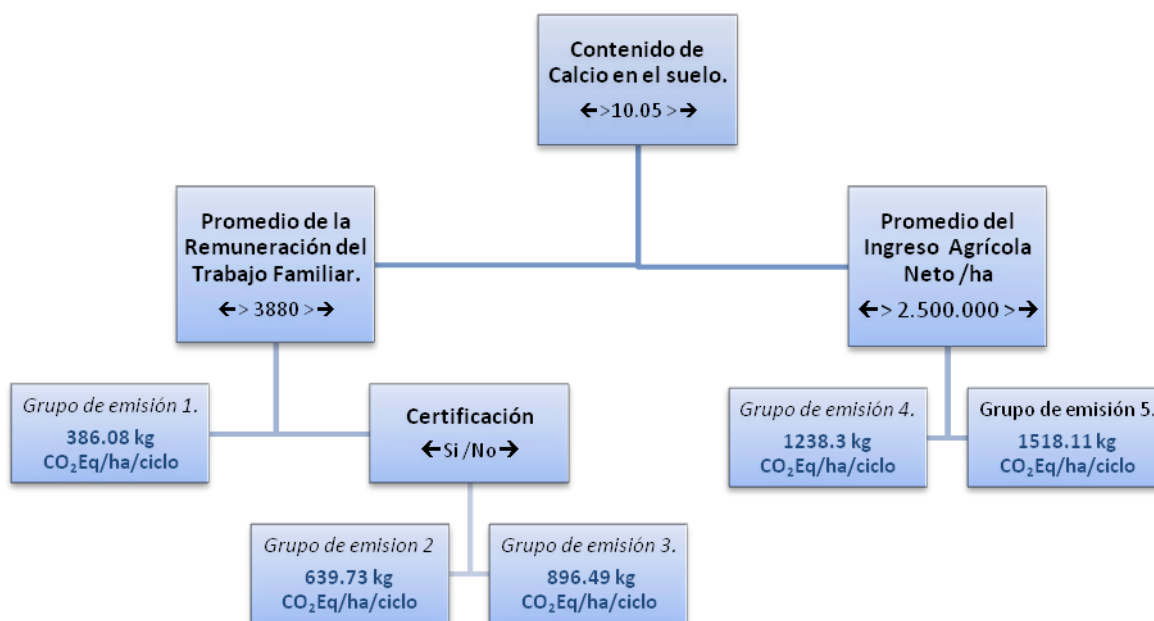
2.2.Reducción de emisiones por fertilización nitrogenada

En el caso de la Reducción de emisiones por fertilización nitrogenada, se continuó utilizando los modelos diseñados en etapas anteriores de análisis. Por tener mayores repeticiones y cantidad de datos, se seleccionaron los cultivos de Cacao y Banano, Caña de Azúcar, Café y Hortalizas. Basados en análisis de correlación lineal, se determinaron las variables que predecían la emisión de gases desde suelos, tanto para fincas orgánicas como para fincas convencionales. En esta etapa se determinó que el contenido de calcio de la capa arable del suelo (Ca en Cmol/l), la remuneración del trabajo familiar (colones -¢- costarricenses/hora), la acreditación oficial de certificación de una finca (tenencia de certificado) y el ingreso agrícola neto de un ciclo de cultivo (colones -¢- costarricenses/hectárea) eran las variables que podían agrupar las fincas en diferentes niveles representativos de emisión.

La relación del Calcio en centmoles por litro (cmol(+)/L) y la emisión de gases de suelo es explicada por la capacidad reguladora de pH del calcio y las condiciones generales del suelo frente a las necesidades de fertilización y aprovechamiento de nitrógeno por las plantas. En el caso de los indicadores económicos, existe una alta tasa de correlación explicado por la intensidad de la fuerza de trabajo y la capacidad adquisitiva de las familias que manejan los sistemas orgánicos que permiten una mayor o menor gestión del nitrógeno en los cultivos. Por último, Fincas orgánicas certificadas en general poseen las tasas más bajas de emisión de gases desde suelos según los estudios en que se sustenta esta norma.

Con las variables determinantes se procedió a realizar un análisis de regresión por el método gráfico, que define el límite de influencia de la variable determinante y la agrupación que hace de las fincas.

Figura 6. Árbol de regresión para la agrupación de fincas en niveles de emisión de gases desde suelos.



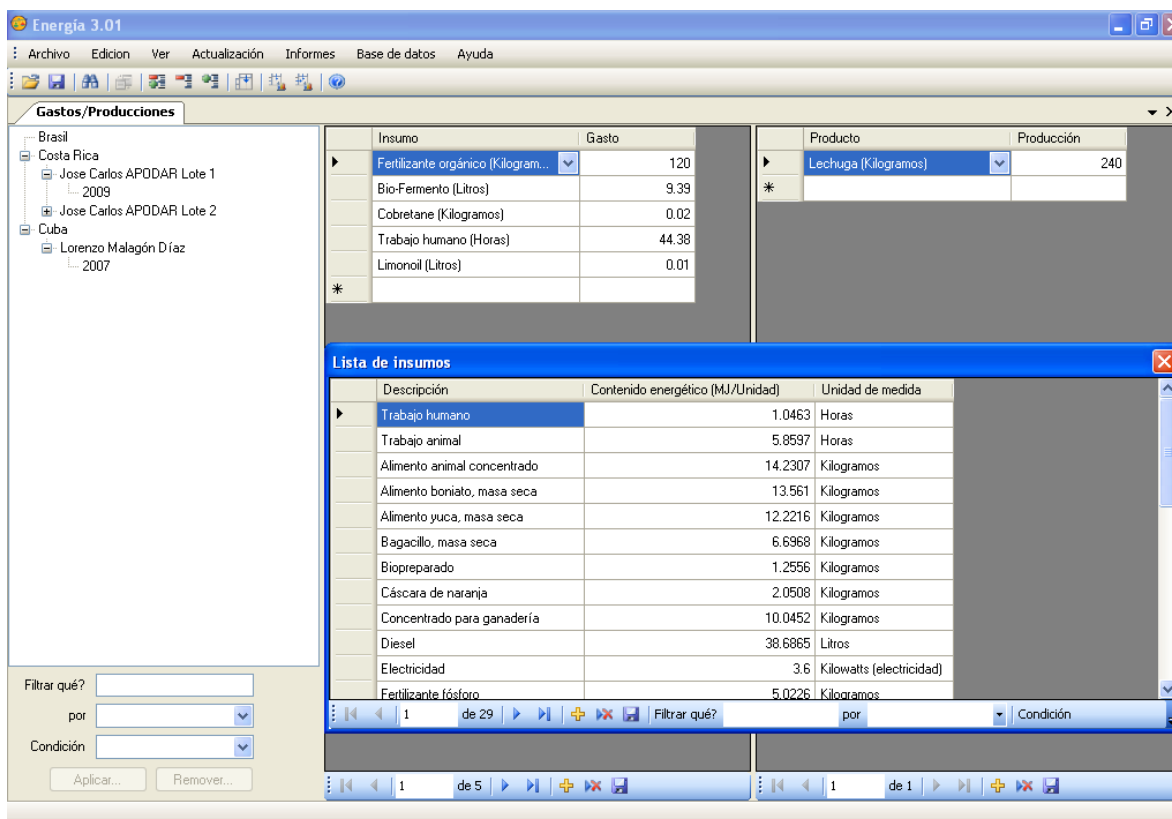
El análisis agrupa los ciclos de cultivo en fincas en cinco grandes categorías. El valor mayor observado se fija en 1518.11 kg de Dióxido de Carbono Equivalente por ciclo de cultivo (kg CO₂Eq/ha/ciclo) para el grupo de emisión 5. A partir de ese dato, se expresan las contribuciones de reducción. Por ejemplo, el grupo de emisión 4 muestra 1238.3 kg CO₂Eq/ha/ciclo con una diferencia de 279.81 kg CO₂Eq/ha/ciclo evitado. Así sucesivamente hasta la diferencia con el grupo de emisión 1, donde la reducción neta es de 1132.03 kg CO₂Eq/ha/ciclo evitado. Estos resultados son retomados posteriormente para definir las variables y niveles a evaluar en la Norma Cam(Bio)₂.

2.3. Análisis de la Eficiencia Energética

Para el periodo de trabajo 2008-2010 se concluyó la tercera versión del software ENERGÍA. Se trabajó con el equipo de investigación en Cuba, del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, INCA. Recopilando la experiencia de evaluación en ambos países (Costa Rica y Cuba). La versión 3.01 del software ha mejorado las características de amigabilidad y facilidad de uso por el usuario. Ha incluido nuevas y mejores herramientas para la generación, almacenamiento y manipulación de bases de datos. Se han incluido nuevas variables de desempeño energético (costo energético de la proteína de alimentación por ejemplo). La generación de informes se ha dinamizado, pudiendo

contar con combinaciones de fincas, periodos de medición y variables a evaluar. La generación de gráficos se ha mejorado, teniendo las mismas utilidades de la generación de informes en términos de combinación de datos de análisis y variables.

Figura 7. Interfaces del programa ENERGÍA V 3.0.



Por las nuevas características contenidas en la versión 3.0 del software, se ha decidido realizar los cálculos de indicadores energéticos con base a la sistematización completa de información en finca. Se utiliza además como un criterio de verificación de la Norma Cam(Bio)2 en fincas y regiones, el uso del software y la alimentación de bases de datos.