

EMISIÓN DE GASES CON EFECTO INVERNADERO Y AGRICULTURA ORGÁNICA

AVANCE DE RESULTADOS. 2004.- 2006.



SAN JOSÉ, FEBRERO 2006



CEDECO
AGRICULTURA ORGÁNICA:
RECUPERANDO EL FUTURO



EMISIÓN DE GASES CON EFECTO INVERNADERO Y AGRICULTURA ORGÁNICA

AVANCE DE RESULTADOS. 2004.- 2006.

PROYECTO APOYADO POR



CEDECO
APDO 209-1009
San José – Costa Rica
<http://www.cedeco.or.cr>
cedeco_pigi@racsa.co.cr

SAN JOSÉ, FEBRERO 2006.



ÍNDICE.

II. INTRODUCCIÓN.	1
II. ROL DE CEDECO.	2
III. METODOLOGÍA.	3
IV ETAPA IMPLEMENTACIÓN RESULTADOS	5
<i>Emisión de gases desde el suelo</i>	8
<i>Emisión de metano por fermentación ruminal</i>	11
<i>Eficiencia energética</i>	14
<i>Secuestro de Carbono</i>	18
Discusión Preliminar de Resultados.	25
V. CONCLUSIONES.	29
VI. PERSPECTIVAS.	31



LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Desarrollo metodológico del proyecto.

Figura 2. Ubicación de fincas en cantones de estudio en Costa Rica.

Figura 3. Emisión de CO₂ equivalente de suelos a partir de la fertilización y abonamiento nitrogenado en tres sistemas de producción de lechuga (*Lactuca sativa* L) en Zarcero, Costa Rica.

Figura 4. Evolución de la Emisión de CO₂ equivalente de suelos a partir de la fertilización y abonamiento nitrogenado en producción de lechuga (*Lactuca sativa* L) y culantro (*Coriandrum santivum* L.) en una finca en transición a la agricultura orgánica en Zarcero, Costa Rica.

Figura 5. Emisión de CO₂ equivalente de suelos a partir de la fertilización y abonamiento nitrogenado en tres sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Caraigres, Costa Rica.

Figura 6. Emisión de CO₂ equivalente de suelos a partir de la fertilización y abonamiento nitrogenada de sistemas orgánicos, convencionales y en transición de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en San Ramón, Costa Rica.

Figura 7. Eficiencia Energética de la producción de Culantro (*Coriandrum santivum* L) en sistemas orgánicos y en transición en Zarcero, Costa Rica.

Figura 8. Eficiencia Energética de la producción de Lechuga (*Lactuca sativa* L) en sistemas orgánicos y en transición en Zarcero, Costa Rica.

Figura 9. Eficiencia Energética de la producción de Lechuga (*Lactuca sativa* L) y Culantro (*Coriandrum santivum* L) en un sistema en transición en Zarcero, Costa Rica.

Figura 10. Inversión energética por finca de la producción de café (*Coffea arabica* L) en sistemas orgánicos certificados y en convencionales en región Caraigres, Costa Rica.

Figura 11. Eficiencia energética de la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en sistemas de producción convencionales, en transición y orgánicos certificados en San Ramón, Costa Rica.

Figura 12. Toneladas de carbono orgánico por hectárea según profundidades en tres sistemas de producción de hortalizas en Zarcero, Costa Rica

Figura 13. Toneladas de carbono orgánico por hectárea según profundidades en tres sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la Región Caraigres, Costa Rica.

Figura 14. Toneladas de carbono orgánico por hectárea según profundidades en cuatro sistemas de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en San Ramón, Costa Rica.

Figura 15. Distribución porcentual del carbono orgánico por hectárea según profundidad en un sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Caraigres, Costa Rica.

LISTA DE CUADROS.

Cuadro 1. Zonas, fincas, sistemas de producción y estado de avance en la producción orgánica analizados para estimar la emisión de Óxidos Nitrosos en la fertilización orgánica de fincas agroecológicas o en transición a la agricultura orgánica. Costa Rica, 2005.

Cuadro 2. Emisión de CO₂ equivalente desde suelo a partir de la labor de fertilización nitrogenada en fincas de investigación para varias regiones de Costa Rica.

Cuadro 3. Estratificación de hato en la finca La Esperanza, Moravia, Costa Rica.

Cuadro 4. Emisión de metano por vacas lactantes y secas de raza Jersey, en la finca La Esperanza, Moravia, Costa Rica.

Cuadro 5. Emisión de metano por animales en crecimiento de raza Jersey, en la finca La Esperanza, Moravia, Costa Rica.

Cuadro 6. Emisiones de N₂O y equivalentes de CO₂ en la finca La Esperanza, Moravia, Costa Rica.

Cuadro 7. Indicadores de la eficiencia energética en fincas de investigación para varias regiones de Costa Rica para el periodo de análisis 2004-2005.

Cuadro 8. Caracterización Preliminar de suelos de las fincas del proyecto de investigación en varias regiones de Costa Rica.

Cuadro 9. Toneladas de Carbono Orgánico en suelos a cuatro distintas profundidades de las fincas del proyecto de investigación en varias regiones de Costa Rica.



I. INTRODUCCIÓN.

La investigación emprendida por CEDECO alrededor de gases de efecto invernadero y agricultura orgánica cuenta con dos años de trabajo. Durante este tiempo ha sido fundamental la construcción metodológica a partir de muy pocos y dispersos antecedentes técnico científicos. Uno de los avances fundamentales es generar y validar enfoque propio de investigación que incluye una serie de elementos metodológicos particularizados a la agricultura orgánica.

La adecuación metodológica según áreas claves para la agricultura orgánica ha sido una de las tareas de la investigación. Se ha tomado referencia de las organizaciones encargadas a nivel mundial para determinar metodologías aplicadas a la valoración de gases de invernadero y las condiciones de la investigación.

Uno de los valores agregados generados en la investigación a partir de la experiencia de CEDECO es ir más allá de la propuesta técnica de cuantificación. Se pretende incorporar criterios que expliquen con claridad, la dinámica de la producción agroecológica en fincas de pequeños y medianos productores. El planteamiento de un modelo de análisis estadístico pretende ser el núcleo integrador de la investigación. Se busca reunir todas las variables evaluadas en las fincas y relacionarlas, con las diferencias observadas en las mediciones de gases de invernadero y fijación de carbono a través de las diferentes etapas de transición hacia la agricultura orgánica.

El presente documento presenta los resultados de la primera etapa de dos años.



II. ROL DE CEDECO.

CEDECO es una organización que no se especializa en la investigación. A pesar de esto, en el marco del proyecto, ha sido la plataforma de discusión y articulación metodológica interdisciplinaria. Ha buscado generar una propuesta de valoración del aporte de las pequeñas y medianas fincas orgánicas en la mitigación de los gases de invernadero. Así es como, se retoma su experiencia y relaciones con el sector orgánico nacional, la relación con centros académicos y de investigación.

Los objetivos de la primera etapa incluían:

- 1) Elaboración de métodos e instrumentos que permitan evaluar pequeñas y medianas fincas respecto de emisión de gases invernadero y fijación de CO₂.
 - 1 Validar técnicas agrícolas comunes (orgánicas y convencionales) acerca del efecto invernadero (fertilización, manejo de cultivos, plagas, suelos, animales, estiércoles y otras.).
- 2) Identificación de potenciales de mitigación del efecto invernadero en la agricultura orgánica.
 - 1 Enfatizar diferencias entre la agricultura orgánica y convencional¹ respecto a gases invernaderos.
 - 2 Detectar los potenciales de la agricultura orgánica en la mitigación del efecto invernadero (identificación de mayores fuentes de gases invernadero y sumideros de carbono).
 - 3 Cuantificar posibilidades de mitigación específicas.
- 3) Elaboración y promoción de Buenas Prácticas de Manejo, (BMP “Best Management Practices”).
- 4) Investigación de la factibilidad de la implementación de estrategias de mitigación del efecto invernadero en las fincas.
 - 1 Evaluar parámetros socioeconómicos en las fincas.
 - 2 Documentar la transición de fincas convencionales hacia un modelo agroecológico.
- 5) Identificación de futuras necesidades de investigación.

¹ Manejo convencional: Incorpora técnicas de alta intensificación en el uso de agroquímicos, que requiere grandes cantidades de insumos externos y tiene como finalidad principalmente mayor remuneración económica por la inversión, sin prestar mayor importancia a la sostenibilidad de los recursos explotados.



III. METODOLOGÍA:

La investigación relacionada a la temática de los gases de efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático ha crecido de manera exponencial en los últimos años. Diversos centros académicos y de investigación han plegado sus programas a las tendencias actuales de desarrollo sostenible incluyendo el cambio climático. A nivel internacional es posible encontrar organismos como el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático y la Comisión sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC y UNFCCC, respectivamente por sus siglas en inglés) que tratan de combinar y unificar las distintas propuestas de evaluación, cuantificación, reducción y mitigación en el tema del cambio climático.

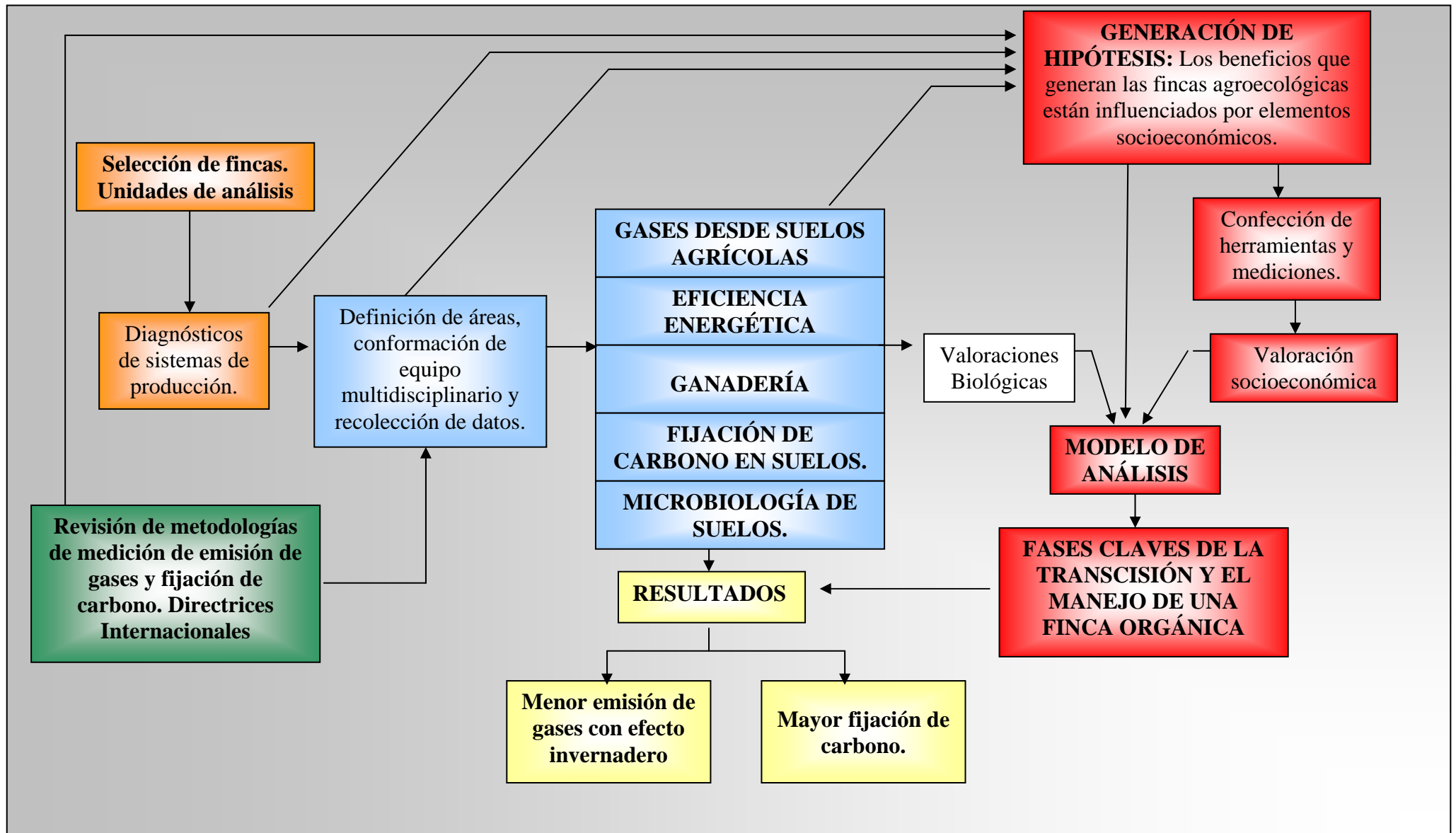
A pesar de ello, la discusión ampliada hace que las líneas particulares y de valoración de gases de efecto invernadero sean dinámicas y cambiantes. La particularización a áreas específicas (como podría ser la agricultura orgánica) no se aprecia. Muchas de las actuales opciones de mitigación que se buscan no enfatizan los posibles aportes que puede hacer la sociedad civil mediante la adopción de estilos de vida alternativos. Se deja por fuera el protagonismo de este sector para participar directamente en las políticas de mitigación y reconocimiento de los servicios ambientales.

Los elementos de política internacional, discusión científica y potencial rol de la sociedad civil, se suman a las líneas particulares de CEDECO alrededor de la agricultura orgánica para generar una propuesta metodológica de investigación.

La figura 1 esquematiza el camino metodológico planteado y seguido por CEDECO para el desarrollo de la investigación.



FIGURA 1. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL PROYECTO. INTEGRACIÓN DE VALORACIONES SOCIOECONÓMICAS Y BIOLÓGICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS.





IV ETAPA IMPLEMENTACIÓN. RESULTADOS.

Cada una de las áreas ha sido desarrollada a través de mediciones en el campo. La complejidad específica de cada una de las áreas abordadas ha llevado a tener diferentes grados de avance en el afinamiento metodológico y la obtención de datos cuantitativos. La distribución de la muestra y la toma de datos efectuada en los primeros dos ciclos de mediciones se muestran en el cuadro 12.

Particularmente el área de ganadera muestra un rezago en la evaluación. La complejidad del análisis y la falta de elementos orientadores para abordar la evaluación desde la perspectiva de producción orgánica ha sido parte las dificultades que ha encontrado el equipo.

La información ha sido recabada por el personal técnico de CEDECO a través de las herramientas de recolección de datos generadas para cada área. Así mismo, estas han sido mejoradas durante el proceso.

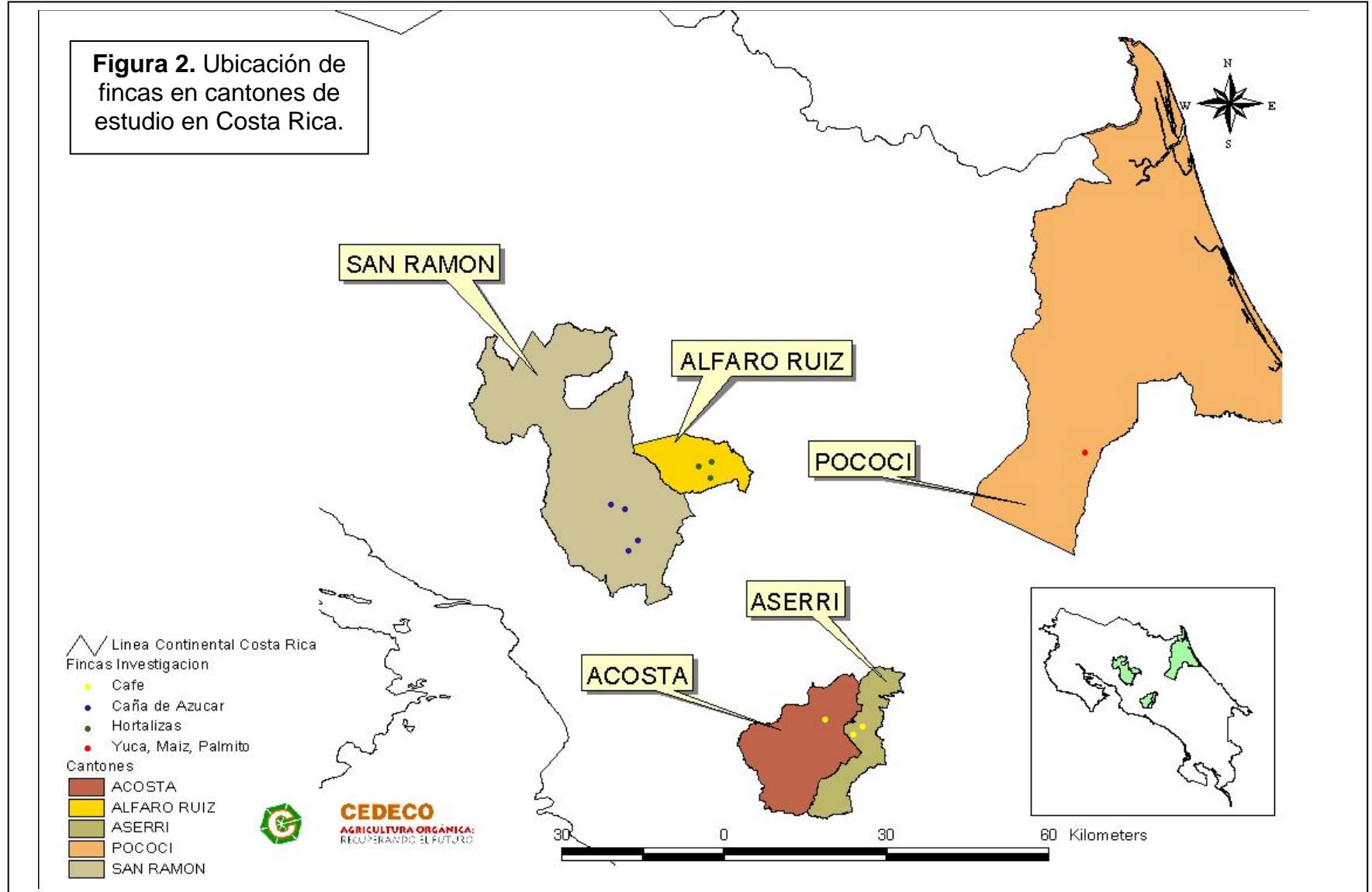
La agrupación de datos ha sido llevada a cabo mediante la generación de bases de datos. Para cada área se ha seguido el procedimiento anteriormente expuesto en la discusión metodológica por áreas. Los resultados concretos se presentan en los siguientes apartados.



Cuadro 1. Zonas, fincas, sistemas de producción y estado de avance en la producción orgánica analizados para estimar la emisión de Óxidos Nitrosos en la fertilización orgánica de fincas agroecológicas o en transición a la agricultura orgánica. Costa Rica, 2005.

Zona	Finca	Área	Propietario	Sistema analizado	Área	Avance en la producción Orgánica.	Toma de datos por áreas ²					
							GS	EE	GN	CS	MB	SE
Los santos.	La Loma- El Llano	5.4 Ha	Felipe Arias Segura.	Café Orgánico	1.1 ha	3 años de certificación	X	X		X		X
Los santos.	Los Bobos	70 Ha	Familia Corrales Gamboa.	Café Orgánico	2.7 ha	3 años de certificación	X	X		X	X	X
Los santos.	Bernardo Naranjo	3 Ha	Bernardo Naranjo.	Café Convencional.	1 ha	Sistema Convencional.	X	X		X	X	X
San Ramón.	Jesús Vargas	2.4 Ha	Jesús Maria Vargas.	Caña Azúcar Orgánica certificada.	1.1 ha	5 años de certificación.	X	X		X		X
San Ramón.	La Palma	3.5 ha	Jesús Maria Vargas.	Caña de azúcar convencional	0.7 ha	Sistema Convencional	X	X				X
San Ramón.	Barranca	6.6 Ha	Coopecañera R. L.	Caña Azúcar en transición.	6.6 ha	2 años de transición.	X	X		X		
San Ramón.	Gonzáles Prado	8.4 ha	Coopecañera R. L.	Caña Azúcar en transición.	8.4 ha	2 años de transición.	X	X		X		
San Ramón.	Bellavista	5.4 Ha	Coopecañera R. L.	Caña de azúcar convencional	5.4 ha	Sistema Convencional	X	X		X		
Zarcelero.	El Guerrero	4 Ha	Hnos. Guerrero.	Lechuga y Culantro orgánicos.	0.9 ha	5 años de certificación.	X	X		X	X	X
Zarcelero.	J&B	0.7 Ha	Juan José Paniagua	Lechuga y Culantro orgánicos.	0.28 ha	5 años de certificación.	X	X		X		X
Zarcelero.	Jaime Chávez	1 Ha	Jaime Chávez.	Lechuga y Culantro transición.	0.8 ha	Sistema en transición	X	X		X	X	X
Atlántica	La Tierra del Abrazo Verde	7 Ha	Jorge Guido Pérez.	Palmito, yuca y maíz.	2.7 ha	Sistemas orgánicos. transición y convencional	X	X		X	X	X
Atlántica	Bellavista	20 ha	Alexis Pérez.	Diversificado	20 ha	Sistema en transición	X	X				X
Atlántica	La Amistad	10 ha	José Chávez.	Ganadería doble propósito	10 ha	Sistema en transición			X			X
Valle Central	La Esperanza	6 ha	Anselmo Rodríguez	Ganadería de Leche	4,5 ha	1 año de certificación			X			X
Valle Central	Estación Experimental Santa Lucia	33 ha	Escuela de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional	Ganadería de Leche	11,4 ha	Sistema Convencional			X			

² GS = Gases desde suelos, EE = Eficiencia Energética, GN = Ganadería, CS = Carbono de Suelos, MB = Microbiología de suelos, SE = Socioeconómico.





Emisión de gases desde el suelo

La evaluación se ha llevado a cabo en fincas de Café, caña de azúcar, hortalizas y diversificadas. El procedimiento seguido es el expuesto en el área de gases desde el suelo. La medición se efectuó durante los años 2004 y 2005. Para el caso particular de hortalizas se han ampliado los ciclos de mediciones aumentando la periodicidad de toma de datos.

A pesar de la exhaustividad que posee la investigación en recolección de datos no se completan datos en algunos ciclos. Los vacíos de información se presentan principalmente por no ejecución de actividades. Por ejemplo algunas hortalizas en las fincas de la región Zarcero.

Los resultados se presentan a continuación.

Cuadro 2. Emisión de CO₂ equivalente desde suelo a partir de la labor de fertilización nitrogenada en fincas de investigación para varias regiones de Costa Rica.

Finca	Cultivo	Año	Semestre	Kg. de CO ₂ Equivalente / hectárea
El Guerrero	Culantro	2004	I	31,01
			II	310,09
		2005	I	396,92
			II	3247,44
	Lechuga	2004	I	325,60
			II	31,01
		2005	I	446,54
			II	274,62
Finca J & B	Culantro	2004	II	2865,28
			2005	I
		II		1488,46
	Lechuga	2004	I	334,90
		2005	I	952,61
Jaime Chávez	Culantro	2004	I	318,41
			II	148,85
		2005	I	148,85
			II	99,17
	Lechuga	2004	I	1250,46
			II	676,50
		2005	I	285,28
La Tierra del Abrazo Verde	maíz	2004	I y II	730,42
	palmito	2004	I y II	92,80
	yuca	2004	I y II	218,04
La Loma y El Llano	Café	2004	I y II	73,58
		2005	I y II	98,10
Bernardo Naranjo	Café	2004	I y II	1976,86
		2005	I y II	1779,17



Cuadro 2. Continuación.

Finca	Cultivo	Año	Semestre	Kg. de CO2 Equivalente / hectárea
Los Bobos	Café	2004	I y II	1364,42
		2005	I y II	770,93
Jesús Maria	Caña de azúcar	2004	I y II	184,86
		2005	I y II	1470,50
Bellavista-Coopecañera.	Caña de azúcar	2004	I y II	242,26
		2005	I y II	156,66
La Palma	Caña de azúcar	2004	I y II	276,43
		2005	I y II	367,80
Barranca-Coopecañera	Caña de azúcar	2004	I y II	1639,80
		2005	I y II	1639,80
Gonzalez Prado-Coopecañera	Caña de azúcar	2005	I y II	1449,80

La información obtenida se interpreta de mejor manera agrupando los datos según regiones analizadas y sistemas particulares de cultivo. Para tal fin se presentan los siguientes gráficos.

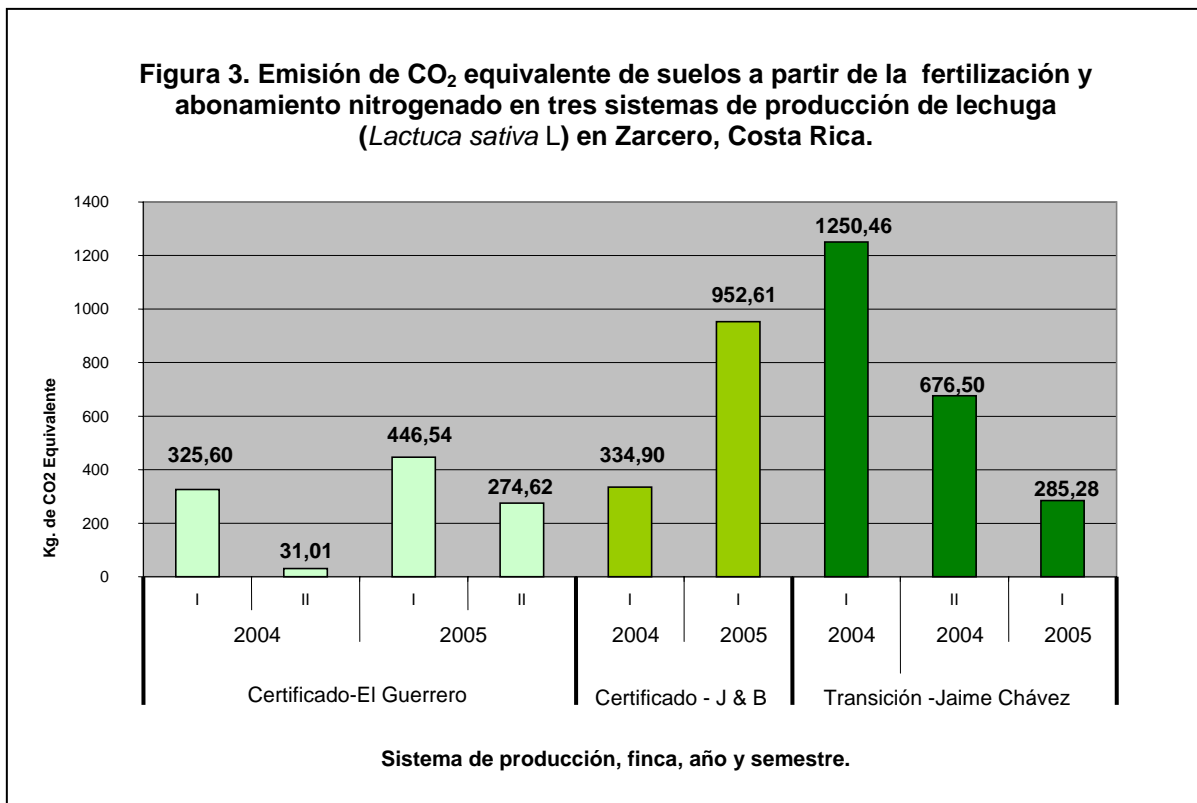




Figura 4. Evolución de la Emisión de CO₂ equivalente de suelos a partir de la fertilización y abonamiento nitrogenado en producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y culantro (*Coriandrum sativum* L.) en una finca en transición a la agricultura orgánica en Zarcero, Costa Rica.

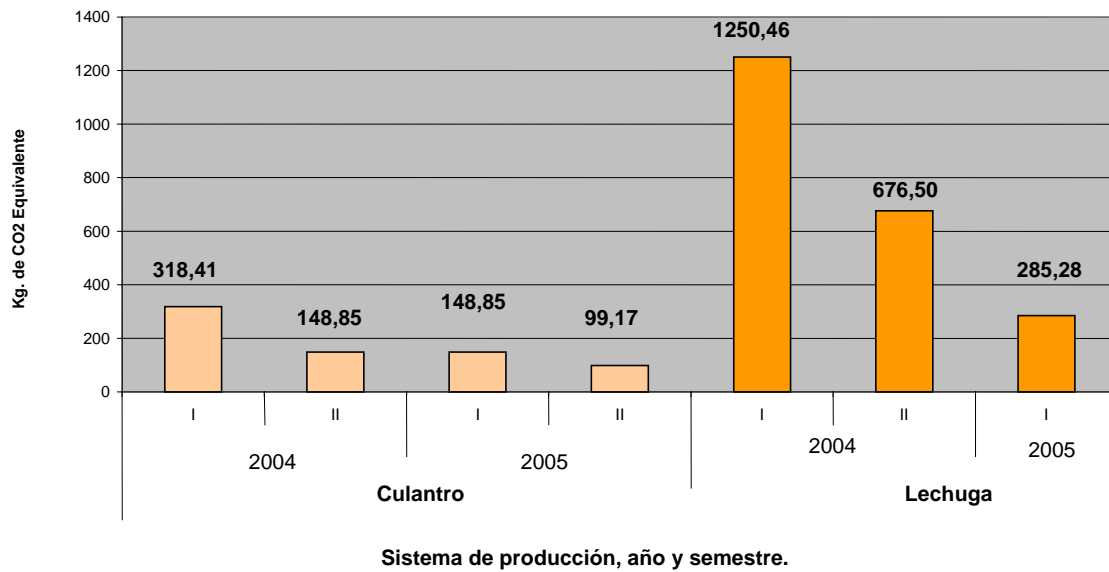
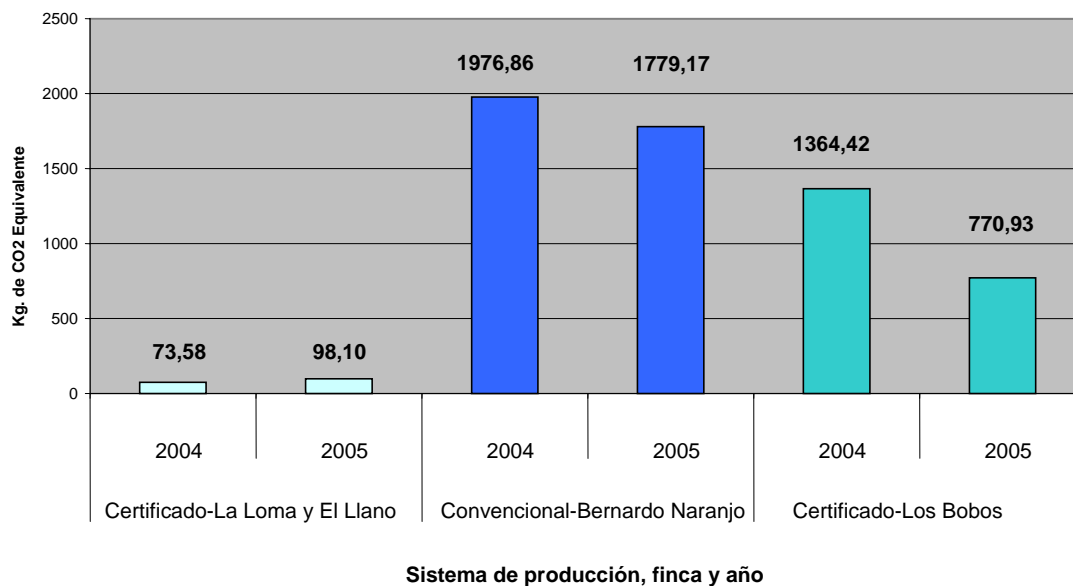
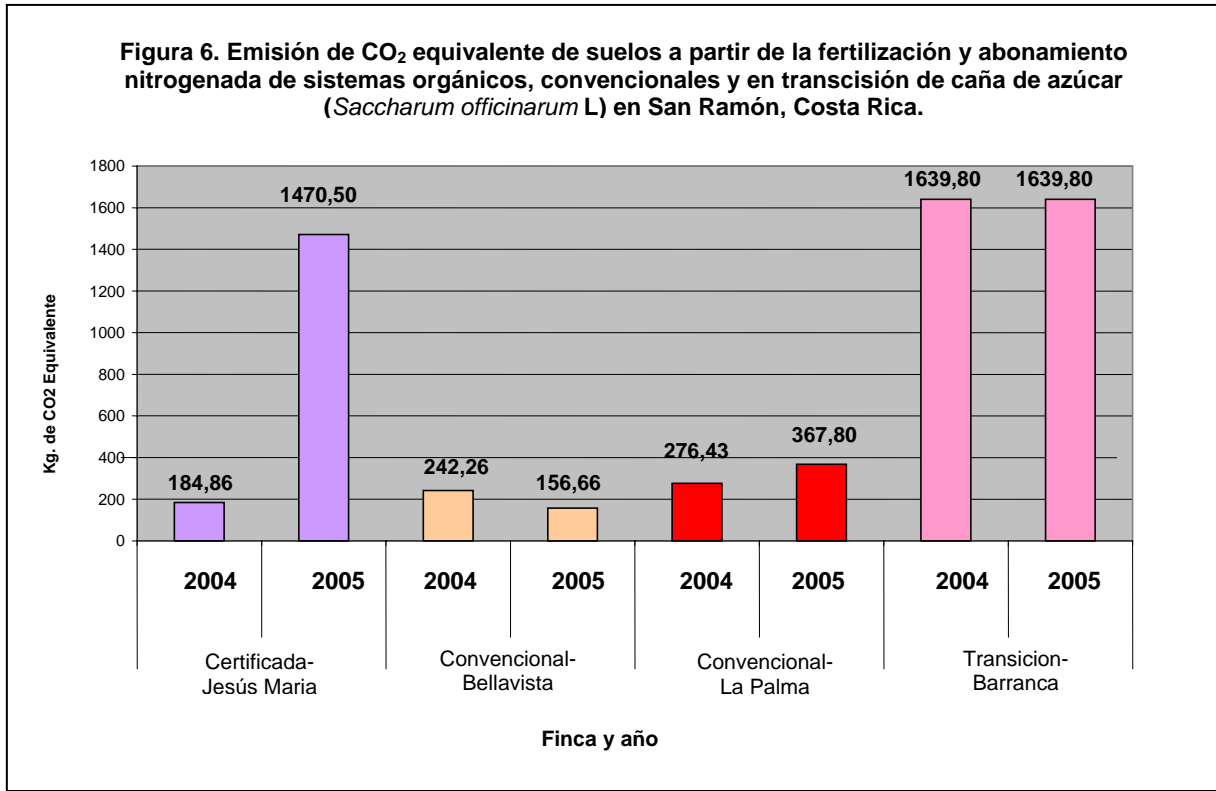


Figura 5. Emisión de CO₂ equivalente de suelos a partir de la fertilización y abonamiento nitrogenado en tres sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Caraiques, Costa Rica.





Emisión de metano por fermentación ruminal

Para el área particular de emisión de metano desde la producción ganadera el avance no ha sido el proyectado. En múltiples ocasiones se ha recalado la complejidad del análisis que se requiere para llegar a mediciones indirectas. Para los periodos de medición ejecutados hasta el momento ha sido posible caracterizar las fincas ganaderas (tres en total). En una de ellas, La Esperanza, se llevó a cabo un trabajo en conjunto con colaboradores externos al proyecto, para la determinación de metano y óxido di nitrógeno por métodos indirectos desde las actividades ganaderas.

Los resultados preelminares de la finca La esperanza se presentan a continuación.

Cuadro 3. Estratificación de hato en la finca La Esperanza, Moravia, Costa Rica.

Vacas ordeño	Vacas secas	Vaquillas no servidas	Novillas mayores 8 meses	Terneras 0-8 meses	Torete reproductor	Total
11	3	3	2	3	1	23

Fuente: Anselmo Rodríguez. Propietario.

Parámetros productivos, de manejo y alimentación:

1. Peso promedio de vacas: 300 Kg.
2. Vacas con una producción láctea de 15.5 Kg./ vaca/ día, con un porcentaje graso de 5.5%
3. Vacas de raza Jersey, en semiestabulación.
4. Pasto de piso compuesto de Estrella africana en mezcla con Maní forrajero (*Arachis pintoi*)
5. La dieta de suplementación está conformada por 15.0 Kg. de material fresco conformado en un 50% por Morera y 50% por una mezcla de forrajes (Pasto Camerún, pasto Braquiaria, Caña de azúcar, pasto San Juan, Botón de oro, Sauco y Nacedero) en cantidades de 1 Kg. de cada uno de ellos.
6. Ingesta de 2.7 Kg. de alimento concentrado con 2.1 Mcal/ kg de materia seca y una digestibilidad del 77.1%.
7. Tanto las vacas en producción como las secas reciben una dieta compuesta por lo descrito en los puntos 4 – 5 y 6.
8. La duración de la lactancia se estableció en 305 días.
9. La estimación de la energía digestible de la dieta se hizo con base en la cantidad (Kg.) de cada componente y el contenido de energía digestible de los mismos, para una digestibilidad total de la dieta de 63.9% y 1.46 Mcal/ Kg. de materia seca de Energía Neta de mantenimiento.

La ingesta de alimento y la cantidad de energía bruta consumida por los animales está directamente relacionada con la emisión de metano, tal y como se muestra en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 4. Emisión de metano por vacas lactantes y secas de raza Jersey, en la finca La Esperanza, Moravia, Costa Rica.

Categoría	Energía Bruta (Mega joules / animal / día)	CH ₄ (gramos / animal / día)	CH ₄ (kilogramos / animal /Período)	CO ₂ equivalente (kilogramos / finca / año)
Lactantes	299.2	349	106.6	24.6
Secas	124.7	146	8.7	0.55

Cuadro 5. Emisión de metano por animales en crecimiento de raza Jersey, en la finca La Esperanza, Moravia, Costa Rica.

Categoría	Peso vivo (kg)	Consumo M.S. (kilogramos /animal /día)	Energía Bruta (Megajoules / anima / día)	CH ₄ (gramos / animal / día)
Terneritas 0-8 meses	100	3.1	57.2	66.8
Terneritas > 8 meses	150	4.3	79.3	92.7
Torete reproductor	300	7.2	132.8	155.2



Las excretas son manejadas en un biodigestor, por tanto el metano es quemado y liberado como CO₂ sin afectar el balance de gases de la finca. Sin embargo, con fines ilustrativos se presenta el cálculo de emisión de metano vía excretas.

Excretas: 6.6 kg CH₄/Vc/año = 138.6 kg CO₂ equiv/Vc/año

Cuadro 6. Emisiones de N₂O y equivalentes de CO₂ en la finca La Esperanza, Moravia, Costa Rica.

Categoría	Consumo N (kilogramos /animal /día)	N excretado boñiga (kilogramos /animal /día)	N excretado orina (kilogramos /animal /día)	N ₂ O excretado (kilogramos /animal /día)	CO ₂ equiv (kilogramos /animal /año)
Lactantes	0.15	0.11	0.08	0.0013	125.4
Secas	0.08	0.06	0.05	0.0008	14.0
Reemplazos	0.113	0.08	0.06	0.0010	113.0
Torete	0.107	0.08	0.06	0.0009	107.0



Eficiencia energética

Cuadro 7. Indicadores de la eficiencia energética en fincas de investigación para varias regiones de Costa Rica para el periodo de análisis 2004-2005.

Finca	Cultivo	Año	Semestre	Gasto energético total (Mcal)	Producción Total (Ton / Ha)	Energía (Mcal / Hac)	Proteínas (kg/hac)	Relacion Energética (Cal pro/ cal inv)
Barranca-Coopecañera	Caña de azúcar	2004	I y II	20465	62,12	17766,67	2857,58	5,73
		2005	I y II	17865,75	37,88	10833,33	1742,42	4
Bellavista- Coopecañera	Caña de azúcar	2004	I y II	10214,63	20,93	5984,81	962,59	3,16
		2005	I y II	4933	20,74	5931,85	954,07	6,49
Gonzáles Prado- Coopecañera	Caña de azúcar	2005	I y II	9427	24,94	7131,43	1147,01	5,82
Jesús Maria	Caña de azúcar	2004	I y II	2223,9	48,81	13960,68	2245,42	7,41
		2005	I y II	1528	61,02	17450	2806,78	13,48
La Palma A	Caña de azúcar	2004	I y II	34468,55	32,86	9397,14	1511,43	0,95
		2005	I y II	13873	37,71	10786,29	1734,86	2,72
Bernardo Naranjo	Café	2004	I y II	14349,54	8,6	17,2	1006,2	N. D. ³
		2005	I y II	13041,66	8,67	17,33	1014	N. D. ⁹
Los Bobos	Café	2004	I y II	4179,75	4,33	8,67	507	N. D. ⁹
		2005	I y II	2489	2,6	5,2	304,2	N. D. ⁹
La Loma y El Llano	Café	2004	I y II	411,91	3,38	6,76	395,6	N. D. ⁹
		2005	I y II	429,06	1,48	2,95	172,85	N. D. ⁹
La Tierra del Abrazo Verde	Yuca	2005	II	3912	37,5	49500	375	12,65
	Palmito	2005	II	308	5,28	6072	1425,6	19,71
Jaime Chávez	Lechuga	2004	I	15251,8	73,33	12466,61	880	0,82
		2004	II	3076	73,33	12466,61	880	4,05
		2005	I	1353	58,95	10022,18	707,45	7,4
	Culantro	2004	I	3624,21	15	3450	3195	0,95
		2004	II	425,48	15	3450	3195	8,11
		2005	I	810,35	15	3450	3195	4,26
2005	II	358,77	15	3450	3195	9,62		
J & B	Lechuga	2004	I	446	32	5440	384	12,18
		2005	I	1573,5	137,52	23378,4	1650,24	14,86
	Culantro	2004	II	5760	150	34500	31950	5,99
		2005	I	527,5	12,9	2967	2747,7	5,62
2005	II	4537	78,75	18112,5	16773,75	3,99		
El Guerrero	Lechuga	2004	I	650,23	25	4250	300	6,54
		2004	II	444,68	25	4250	300	9,65
		2005	I	757,37	16,67	2833,22	199,99	3,74
		2005	II	392,71	14,76	2509,2	177,12	6,39
	Culantro	2004	I	413,93	10,5	2415	2236,5	5,83
		2004	II	1101,01	27,75	6382	5910,75	5,8
		2005	I	945,79	28,92	6651,6	6159,96	7,03
		2005	II	6325,93	114,91	26428,61	24475,19	4,18

³ El café al no ser un producto alimenticio presenta valores bajos de energía en el producto fina. No es posible aun generar un balance energético.



Figura 7. Eficiencia Energética de la producción de Culantro (*Coriandrum sativum* L) en sistemas orgánicos y en transición en Zarcero, Costa Rica.

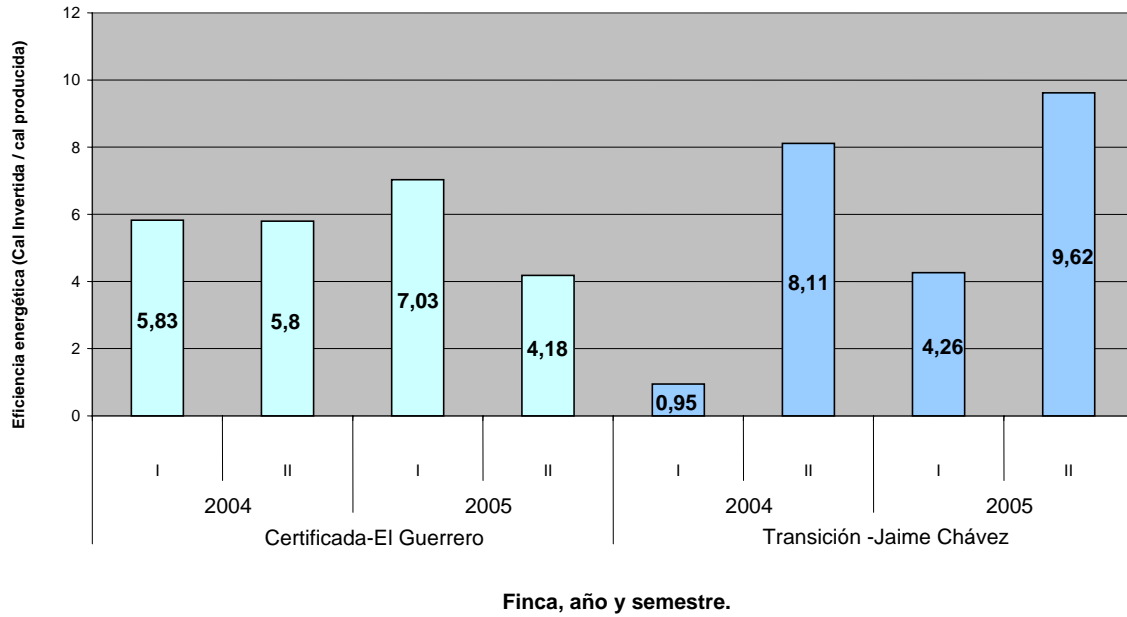


Figura 8. Eficiencia Energética de la producción de Lechuga (*Lactuca sativa* L) en sistemas orgánicos y en transición en Zarcero, Costa Rica.

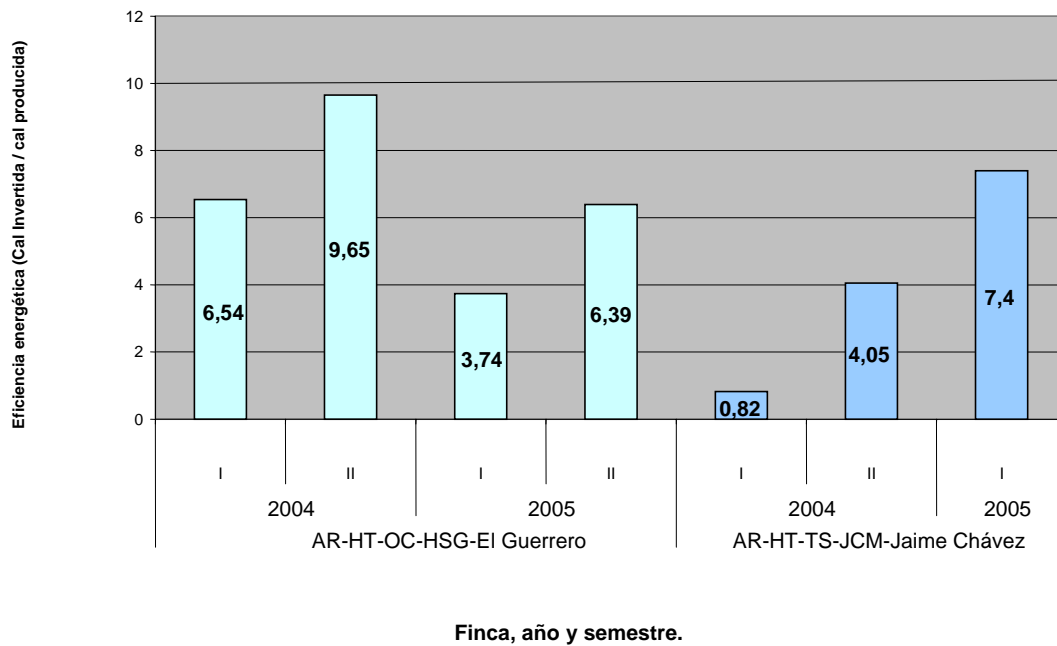




Figura 9. Eficiencia Energética de la producción de Lechuga (*Lactuca sativa* L) y Culantro (*Coriandrum santivum* L) en un sistema en transición en Zarcero, Costa Rica.

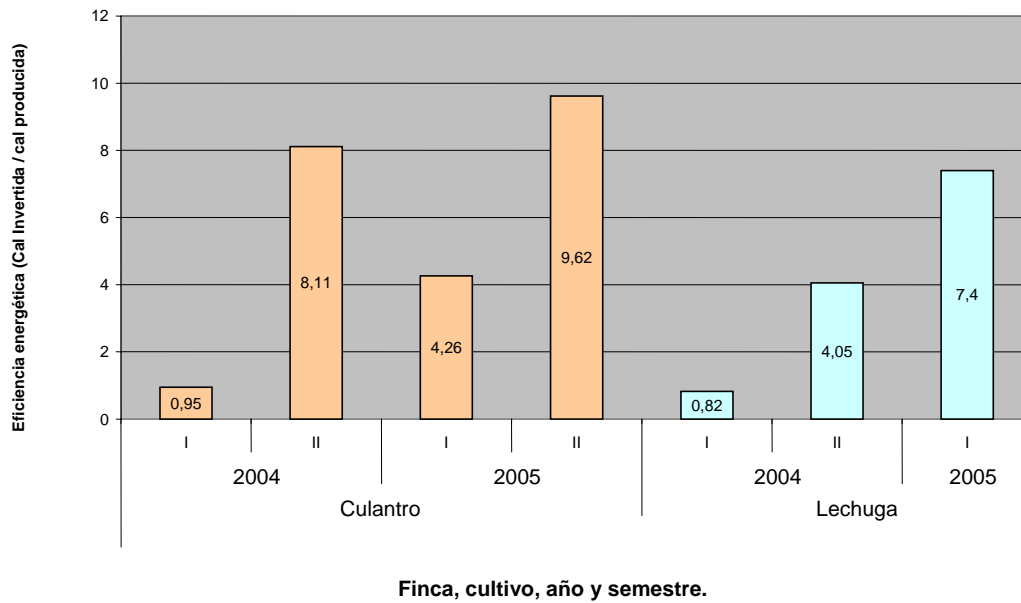


Figura 10. Inversión energética por finca de la producción de café (*Coffea arabica* L) en sistemas orgánicos certificados y en convencionales en región Caraiques, Costa Rica.

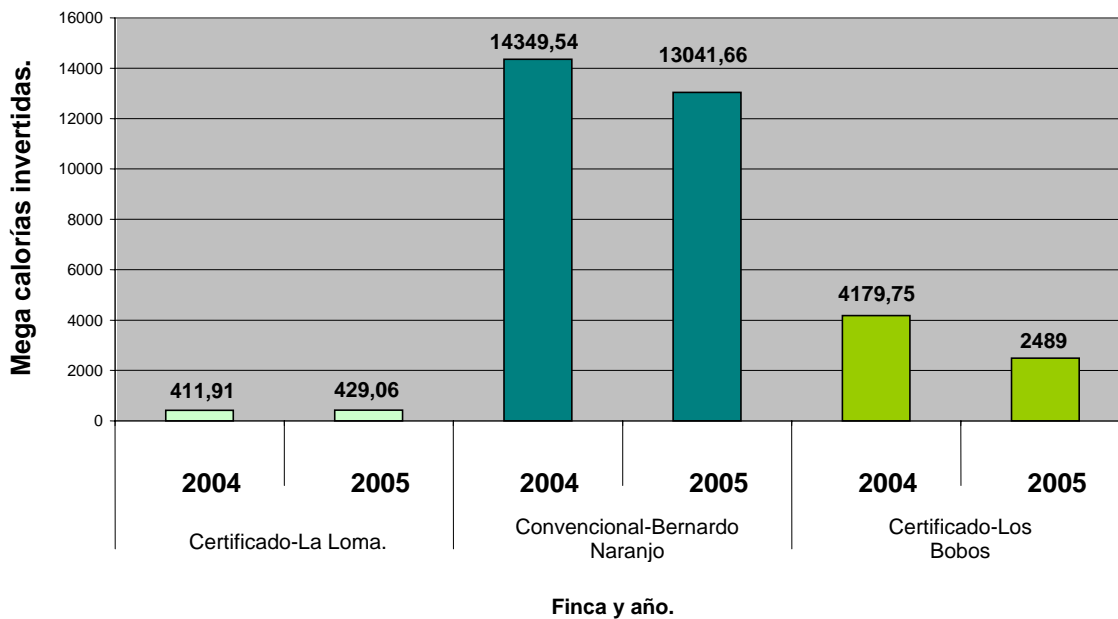
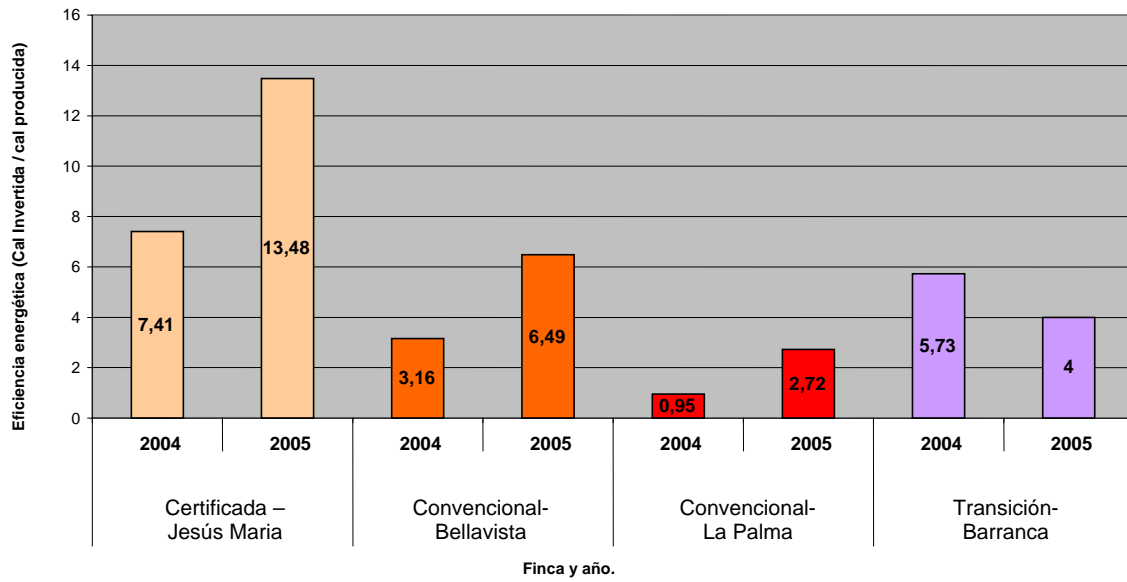




Figura 11. Eficiencia energética de la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en sistemas de producción convencionales, en transición y orgánicos certificados en San Ramón, Costa Rica.



*Secuestro de Carbono***Cuadro 8.** Caracterización Pree preliminar de suelos de las fincas del proyecto de investigación en varias regiones de Costa Rica.

Finca	Perfil	Localización ⁴	Altura M.S.N.M.	Clasificación taxonómica temporal ⁵	Pendiente	Material Parental	Clima	Relieve
J & B	1	X 493 490, Y 244 118	1911	Pachic Hapludands	48%	Cenizas/ lahar	Ústico	Fuertemente ondulado
Jaime Chávez	2	X 493 896, Y 241 934	1845	ND	22%	Ceniza volcánica	Údico	Ondulado
Jesús Maria	3	X 477 519, Y 236 448	1147	Andic Haplustults	8%	Lahar antiguo	Ústico	Ligeramente ondulado
La Loma y El Llano	4	X 515 066, Y 196 592	1003	Alfic Ruptic Dystrustepts	75%	Sedimentario	Ústico	Quebrado
La Loma y El Llano	5	X 515 045, Y 196 712	1020	Thaplic Usturthents	60%	Sedimentario	Ústico	Quebrado
El Guerrero	6	X 492 139, Y 244 353	1787	Andic Dystrustepts	48%	Cenizas y arenas	Ústico	Fuertemente ondulado
La Tierra del Abrazo Verde	7	X 564 900, Y 246 490	159	Andic Dystrudepts	3%	Lahar, ceniza	Údico	Casi Plano
La Tierra del Abrazo Verde	8	X 564 940, Y 246 362	165	ND	3%	Lahar, ceniza	Údico	Casi Plano
Los Bobos	9	X 521 198, Y 194 749	1198	Alfic Ruptic Haplustepts	38%	Deposito de ladera (coluviales)	Ústico	Quebrado
Bernardo Naranjo	10	X 521 012, Y 194 242	1420	Paralithic Haplustepts	30%	Roca sedimentaria / Esquistos	Ústico	Ondulado
Bellavista-Coopecañera.	11	X 479 166, Y 228 997	894	Typic Haplustults	12%	Sedimentos antiguos, Volcán	Ústico	Moderadamente ondulado
Barranca-Coopecañera.	12	X 479 602, Y 224 402	923	Thypic Hapluhumult	8%	Volcánicos	Ústico	Ligeramente ondulado
Barranca-Coopecañera.	13	X 479 813, Y 229 766	919	Andic Dystrustepts	17%	Lacústricos/ ceniza volcánica	Ústico	Ligeramente ondulado
Gonzalez Prado-Coopecañera.	14	X 476 360, Y 237 074	1212	Typic Hapludands	10%	Cenizas volcánicas	Údico	Moderadamente ondulado

⁴ Coordenadas planas para proyección Lambert Costa Rica Norte Fundamental Ocotepeque.⁵ Sujeta a cambios según análisis de la información



Cuadro 9. Toneladas de Carbono Orgánico en suelos a un metro de profundidades de las fincas del proyecto de investigación en varias regiones de Costa Rica.

Finca	Perfil	Rango de Profundidad en Cm.	Toneladas de Carbono Orgánico.
El Guerrero	6	0-10.	23,46
		10-30.	46,92
		30-50.	14,96
		50-100.	8,66
		Total 0- 100	94,01
Finca J & B	1	0-10.	30,22
		10-30.	60,45
		30-50.	72,96
		50-100.	95,81
		Total 0- 100	259,45
Jaime Chávez	2	0-10.	3,02
		10-30.	48,61
		30-50.	33,15
		50-100.	58,72
		Total 0- 100	143,52
La Tierra del Abrazo Verde.	7	0-10.	31,11
		10-30.	36,62
		30-50.	30,22
		50-100.	17,10
		Total 0- 100	115,06
	8	0-10.	21,15
		10-30.	37,66
		30-50.	25,88
		50-100.	43,145
		Total 0- 100	127,85
La Loma y El Llano	4	0-10.	40,41
		10-30.	40,04
		30-50.	40,04
		50-100.	98,48
		Total 0- 100	218,99
	5	0-10.	3,54
		10-30.	6,54
		30-50.	4,92
		50-100.	64,62
		Total 0- 100	79,63
Bernardo Naranjo	10	0-10.	29,32
		10-30.	36,64
		30-50.	6,32
		50-100.	15,82
		Total 0- 100	88,12



Cuadro 9. Continuación.

Finca	Perfil	Rango de Profundidad en Cm.	Toneladas de Carbono Orgánico.
Los Bobos	9	0-10.	35,20
		10-30.	36,80
		30-50.	18,70
		50-100.	16,80
		Total 0- 100	107,52
Jesús Maria	3	0-10.	37,83
		10-30.	39,57
		30-50.	19,56
		50-100.	43,93
		Total 0- 100	140,90
Bellavista-Coopecañera.	11	0-10.	25,01
		10-30.	29,73
		30-50.	22,96
		50-100.	28,63
		Total 0- 100	106,35
Barranca-Coopecañera.	12	0-10.	29,33
		10-30.	33,85
		30-50.	9,05
		50-100.	21,25
		Total 0- 100	93,49
	13	0-10.	37,76
		10-30.	75,53
		30-50.	15,844
		50-100.	24,45
		Total 0- 100	153,61
Gonzalez Prado-Coopecañera.	14	0-10.	48,58
		10-30.	97,16
		30-50.	71,54
		50-100.	97,43
		Total 0- 100	314,72



Figura 12. Toneladas de carbono orgánico por hectárea según profundidades en tres sistemas de producción de hortalizas en Zarcero, Costa Rica

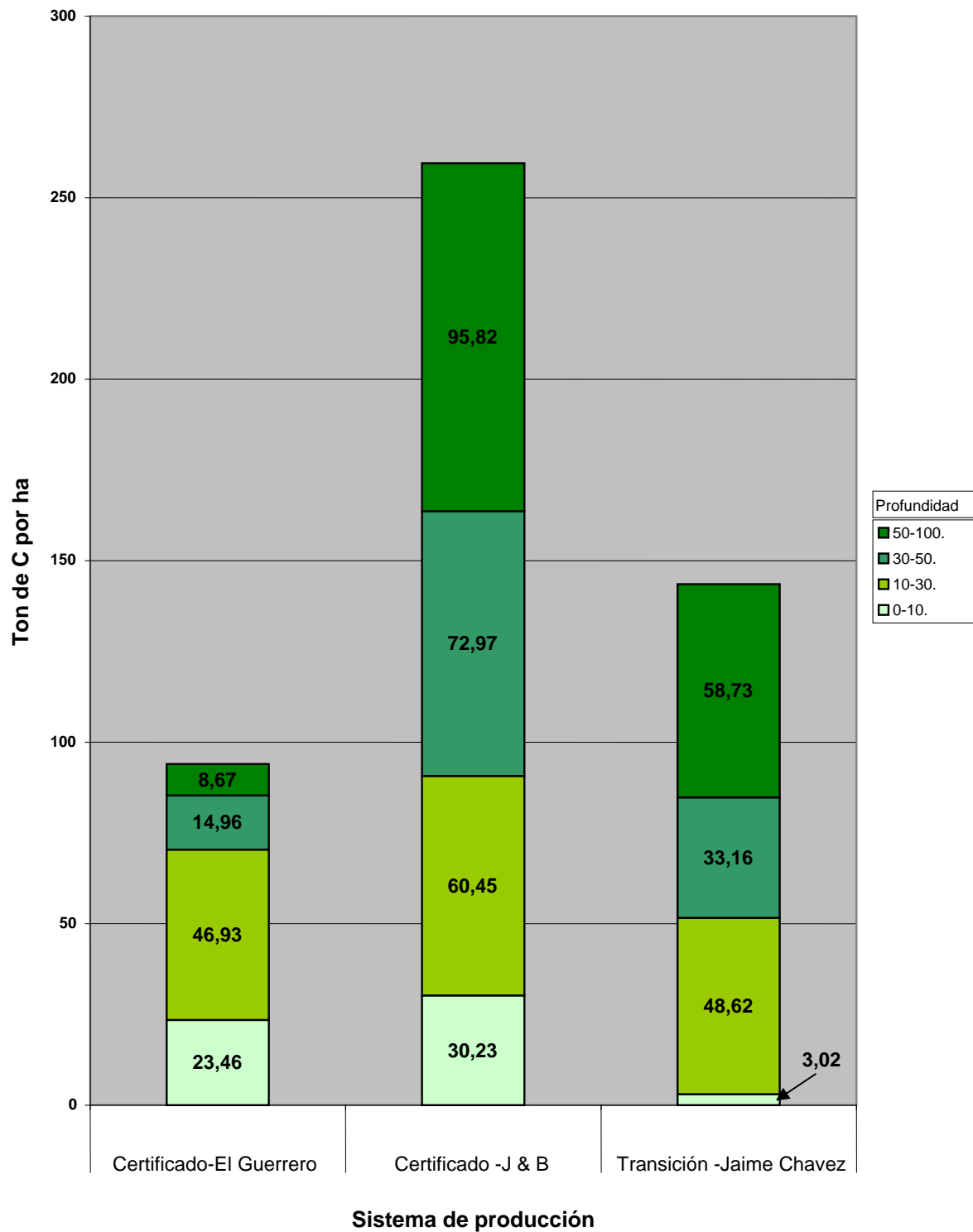




Figura 13. Toneladas de carbono orgánico por hectárea según profundidades en tres sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la Región Caraiques, Costa Rica.

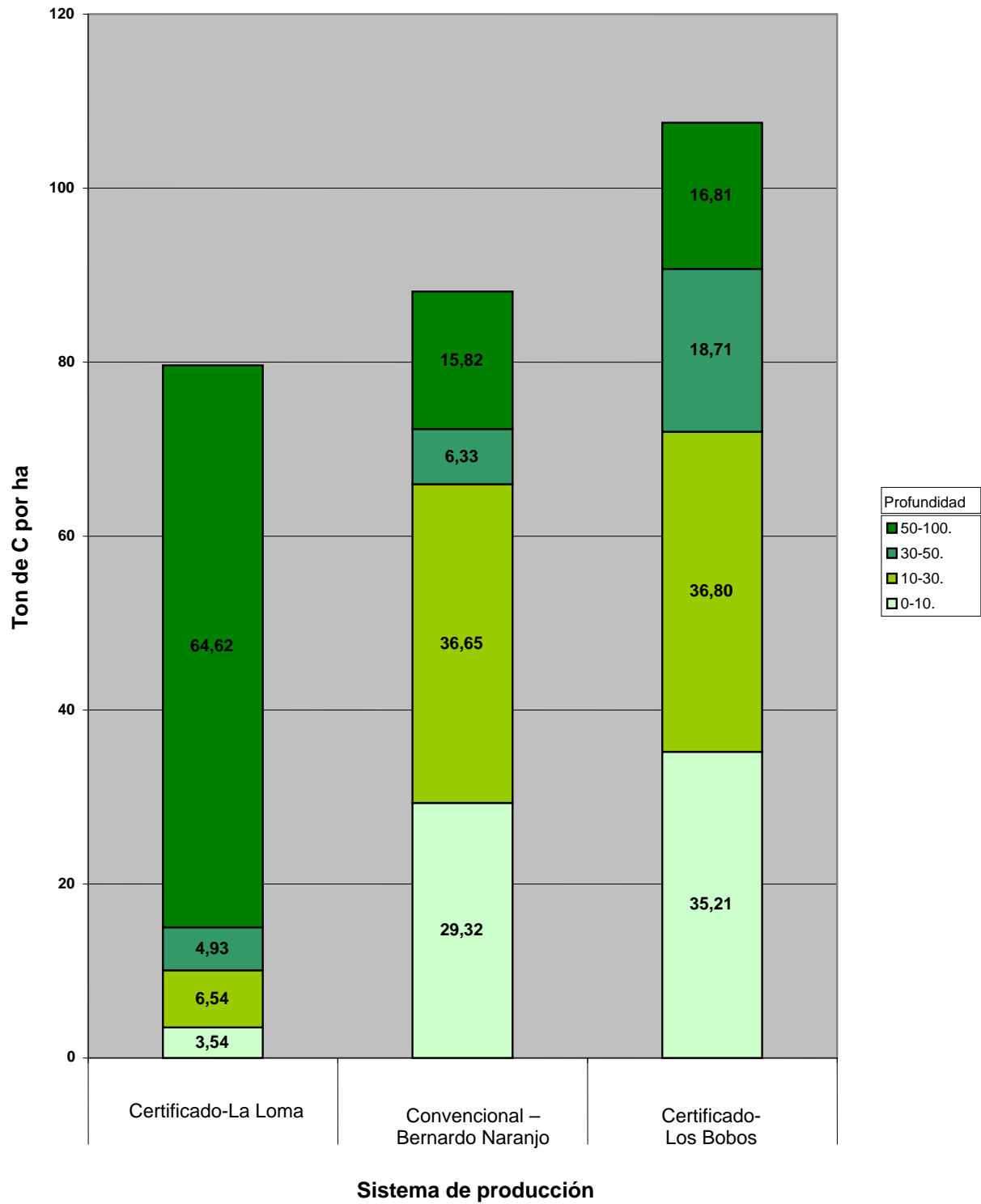




Figura 14. Toneladas de carbono orgánico por hectárea según profundidades en cuatro sistemas de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en San Ramón, Costa Rica.

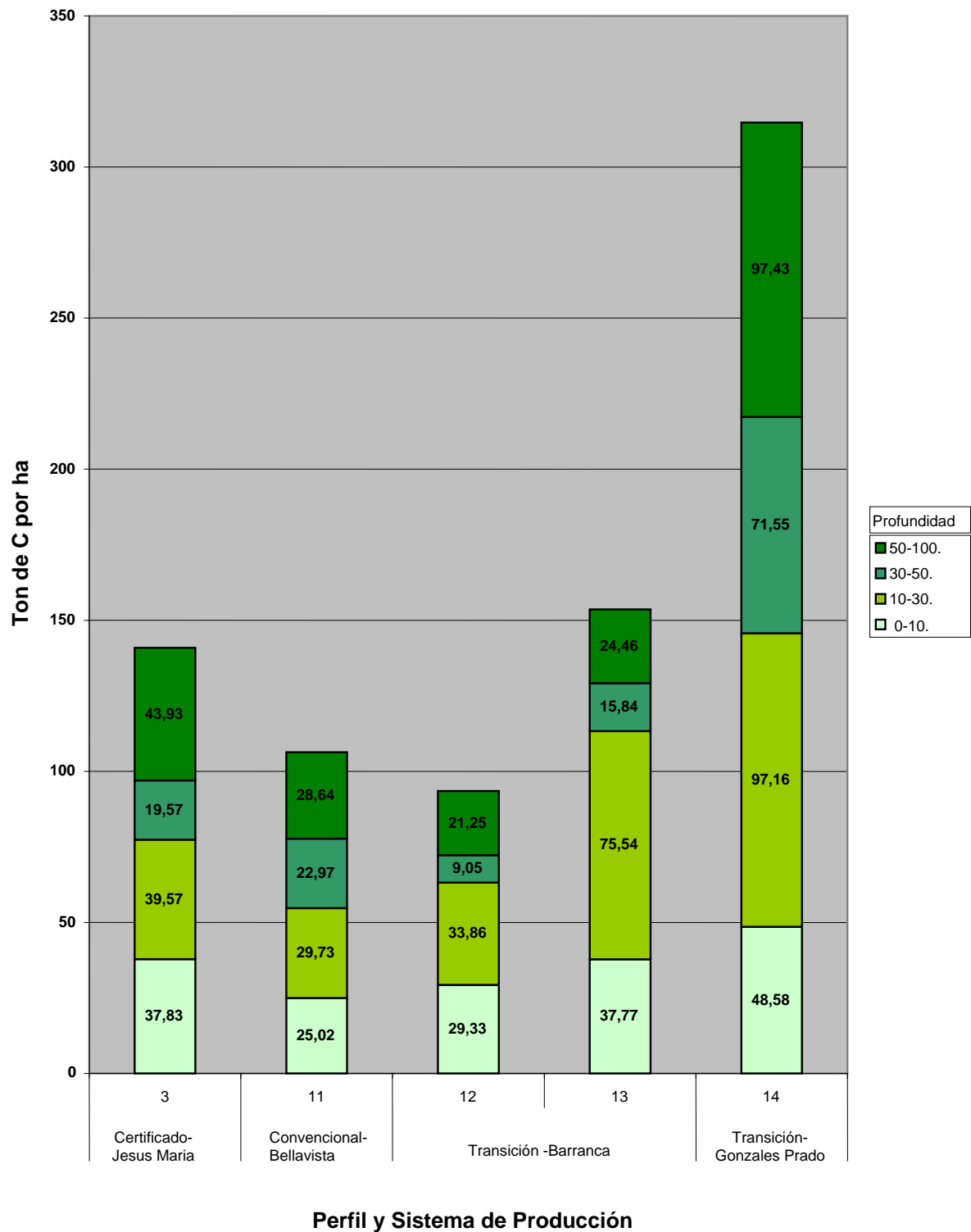
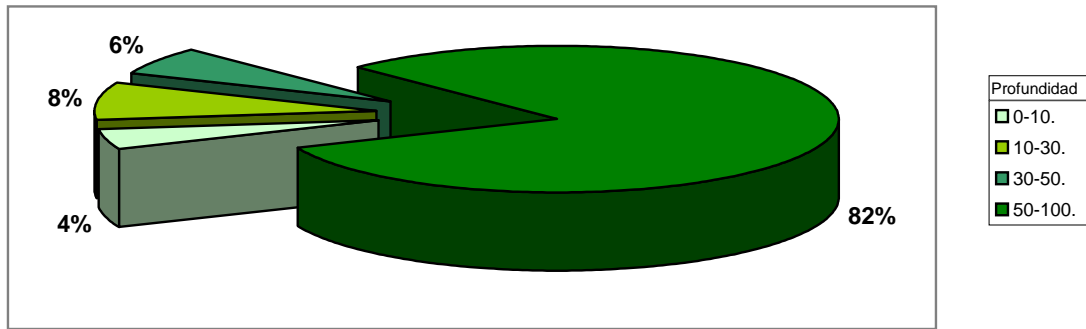
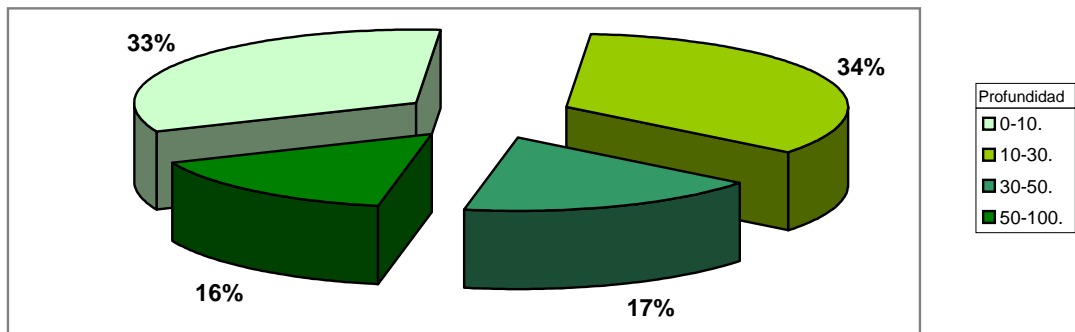




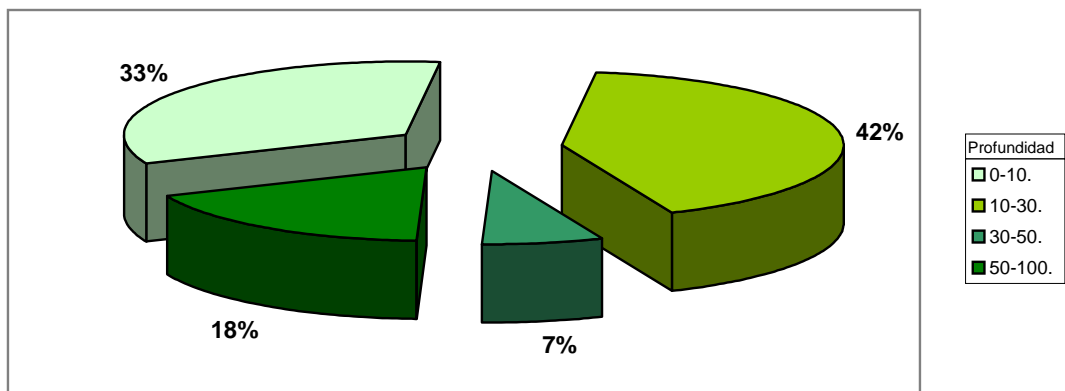
Figura 15. Distribución porcentual del carbono orgánico por hectárea según profundidad en un sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Caraiques, Costa Rica.



Café Certificado-La Loma



Convencional -Bernardo Naranjo



Certificado-Los Bobos



DISCUSIÓN PREELIMINAR DE RESULTADOS.

Los datos anteriores son el resultado de dos años de seguimiento y evaluación de las fincas. Hasta el momento la muestra seleccionada, particularidades de la producción en las fincas y el proceso de construcción del modelo solo permiten generar tendencias que respaldan la hipótesis. Es un avance si se considera que en la segunda fase se profundizará el estudio de las variables para probar el modelo, es decir, provocar la sustentación estadística a través del aumento de los ciclos de medición.

En los resultados obtenidos se observan diferencias en las fincas evaluadas por áreas y volumen de datos. Estas diferencias responden la complejidad metodológica de cada área de investigación y de características propias de cada finca, coordinación con equipos multidisciplinarios (caso ganadería) y otras. La documentación metodológica de la medición por área y el afinamiento del trabajo con el equipo de investigación permitirán dar simetría a las mediciones en las diferentes áreas en la segunda fase del proyecto.

La metodología utilizada ha permitido compilar datos, observaciones y conclusiones que normalmente que no tienen antecedentes en la investigación tradicional respecto al tema. Esto explica nuevas variables en el modelo de análisis que permiten validar conceptos de la Agroecología aun no documentados por otras investigaciones. Ejemplo de esto son, el análisis de la eficiencia energética que profundiza la lógica de uso de insumos y mano de obra. Se logra interpretar el ordenamiento de los recursos de la finca por el productor o su familia, son nuevos elementos que se incorporan a la evaluación socioeconómica.

El proceso de construcción metodológica se complementa con nuevos criterios que surgen al realizar las observaciones y mediciones de campo. Los datos cuantitativos obtenidos en las diferentes áreas (i.e. carbono de suelos, microbiología de suelos, eficiencia energética y otras) en los sistemas de producción y regiones del país son la base para la discusión de la metodología.

Gases desde suelo: Los abonos orgánicos usados en fincas orgánicas poseen una menor concentración de nitrógeno respecto a fertilizantes sintéticos debido a la naturaleza de las materias primas que se usan en su fabricación. El abonamiento en fincas orgánicas es más integral, se realiza en función de prácticas de conservación y mejora de suelos. Por el manejo de los cultivos en fincas orgánicas los abonamientos son mejor distribuidos durante los periodos productivos de los cultivos y esto determina un mejor aprovechamiento del nitrógeno, que se traducen en menor tasa de emisión de óxido di nítrico (cuadro 13).

En el caso de hortalizas y café (Figuras 10, y 12) se determinaron valores más bajos de emisión de N_2O desde suelos por fertilización nitrogenada en sistemas de manejo orgánico con respecto a los convencionales. En el mismo sentido, la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y culantro (*Coriandrum santivum* L.) en una finca en transición en Zarcero demuestra una disminución de la emisión conforme avanza en el proceso transición al manejo orgánico (Figura 11).

En caña de azúcar, hay resultados inversos. Las tasa de emisión de óxido di nítrico aumenta en los sistemas en transición y orgánicos certificados. (Figura 13). Esta situación



corresponde a la disponibilidad y calidad del abono orgánico. En la zona existe una mayor disposición de materiales orgánicos, así como facilidades para su aplicación en grandes cantidades. A pesar de lo anterior, es importante resaltar que existen diferencias productivas en los sistemas orgánicos y en transición respecto a los convencionales, en este sentido, se encontró mayor producción en sistemas orgánicos y transición respecto a los otros. La investigación retomará en la siguiente fase el análisis de emisión de óxido nítrico por tonelada de caña para obtener resultados más representativos.

Emisión de metano por fermentación ruminal: El desarrollo metodológico en esta área para la Agroecología ha sido difícil debido a la complejidad del análisis indirecto y referencias nacionales e internacionales. A pesar de esto, con la primera evaluación, se tiene delimitado el camino metodológico para el análisis en finca. Preliminarmente se ha determinado que posibles diferencias en las variaciones de emisiones entre sistemas de ganadería orgánica y convencional no están únicamente relacionadas con la fermentación ruminal. Existe la necesidad de construir un balance de gases a través de valoraciones de stocks de carbono en el suelo, influencia del manejo de excretas, Fijación de carbono en biomasa de bancos forrajeros y árboles en potreros.

Eficiencia Energética: De acuerdo a lo observado hasta el momento, los insumos para la producción orgánica son energéticamente menos costosos. Debe considerarse que las fincas orgánicas renuncian total o parcialmente al uso de insumos industriales. Otro aspecto importante es que la mano de obra utilizada en la finca aumenta como estrategia para disminuir las entradas de energía al sistema. (Chapias por uso de herbicidas, reciclaje interno y fabricación de abonos en finca, entre otras). Esto podría explicar las tasas de eficiencia energética más altas en las fincas orgánicas analizadas (Cuadro 18).

Los sistemas orgánicos certificados presentan rangos de variación respecto a la eficiencia energética en los dos años de estudio. (Figuras 14, 15, 16 y 18). En este sentido, las tasas de eficiencia son mayores a las observadas en los sistemas convencionales.

Es interesante el caso de la producción hortícola en transición en Zarcero (Figura 16). Para la producción de Culantro y Lechuga, se observa que en la transición (desde I semestre 2004 hasta II semestre 2005) la tasa de eficiencia posee un crecimiento sostenido. En algunos casos más alta que en los sistemas orgánicos certificados.

El manejo agroecológico y el ciclaje energético en las fincas en transición y orgánicas son resultados que podrían orientar programas de manejo para aumentar eficiencia en el uso de la energía en la producción agrícola. La integración de prácticas agroecológicas se enfrenta a un paradigma futuro de una sociedad cada vez más demandante de energía contaminante. Propone una mejor utilización de los recursos locales recortando dependencias externas y emisiones precadena por industrialización y transporte de insumos agrícolas.

Secuestro de carbono. Los análisis en el área de secuestro de carbono de suelo poseen un mayor nivel de detalle respecto a las referencias de estudios anteriores. La metodología se ha basado en métodos documentados de caracterización de suelos, métodos específicos de



evaluación de carbono, que se ha enriquecido con la propuesta metodológica del proyecto y particularidades de las fincas. El estudio de suelos también aporta a las variables del modelo de análisis. De acuerdo a lo anterior, se ha avanzado en un mayor número de argumentos que explican almacenamiento de carbono en suelos y el comportamiento de este en mediano plazo.

Los datos obtenidos son la base del monitoreo a largo plazo en fincas orgánicas de regiones tropicales. Sumar este análisis a otras áreas de investigación (eficiencia energética e influencias socioeconómicas en finca) lograría mayor detalle sobre el potencial de los suelos de fincas orgánicas para conservar y aumentar los depósitos de carbono. Las características actuales de la valoración de suelos es pionera, considerando la exhaustividad del análisis, las fincas analizadas y su manejo.

Los criterios para la toma e interpretación de datos de datos permiten flexibilidad de interpretación. Se adaptan a exigencias de diferentes estándares científicos de organizaciones internacionales. Es posible observar tendencias utilizando parámetros de caracterización taxonómica de suelos, usos de suelos, profundidades o análisis según conformación original del suelo (horizontes) y otras.

En conjunto, centros de investigación y productores, han realizado interpretaciones de los análisis de suelos, valorando las propiedades físicas y químicas del suelo. Se realizan observaciones sobre las prácticas actuales de manejo y se brindan elementos de orientación al manejo de la finca dirigida a la mejora en la productividad, conservación de suelos y contenido de carbono.

Los resultados obtenidos de depósitos de carbono orgánicos en suelos no presentan diferencias entre sistemas orgánicos y convencionales (Cuadro 23). Principalmente porque esta variable (implementación de manejo orgánico) no es la única que está influyendo en el almacenamiento de carbono. Otras variables como órdenes de suelo, su uso a través del tiempo, topografía y otras se suman a las tendencias observadas en esta área.

La figura 19 muestra los datos obtenidos en las fincas de producción hortícola en Zarcero. Los resultados indican que pesar de que las unidades certificadas orgánicas cuentan con 15 años de ser manejadas orgánicamente, los contenidos de carbono presenta irregularidad entre si posiblemente por diferencia en el manejo y las condiciones particulares de suelo. A pesar de esa irregularidad entre las fincas orgánicas, el valor de un sistema en transición se ubica dentro del promedio de ambas fincas orgánicas. Igualmente estos resultados son influenciados por las condiciones de finca, la pendiente y las propiedades particulares del suelo (diferencias edáficas en formación).

Las fincas orgánicas de café de la región Caraiques poseen valores de carbono con similares irregularidades a las observadas en las fincas hortícolas de Zarcero (Figura 20). Donde encontramos diferencias entre dos fincas de café orgánico en cuanto a carbono orgánico de suelo. Se supone que el stock de carbono ha sido afectado por condiciones del entorno y propias de suelos. Aquí es interesante rescatar la distribución de carbono en el perfil del suelo de la finca La Loma (Figura 22) donde alrededor del 80% del carbono está a una profundidad mayor a los 50 Cm. Esto garantiza junto a prácticas de manejo orgánico y



conservación de suelos, una mayor permanencia del carbono secuestrado en el suelo a largo plazo.

Las fincas analizadas en el cantón de San Ramón de caña de azúcar aportan a la discusión sobre las variables que influyen el carbono de suelo (Figura 21). Este aporte está basado en análisis de la finca Barranca (en transición) donde se realizaron dos mediciones en puntos diferentes dentro de la misma finca. Las diferencias en contenido carbono orgánico variaron debido a la diferencia en propiedades físicas, químicas y del suelo a pesar de la cercanía de las observaciones. De esta forma, se valida la exhaustividad en que se realiza el análisis de suelos en fincas orgánicas para determinar *stocks* de carbono.

La finca Gonzalez-Prado (en transición) presenta valores de carbono superiores al promedio de las otras fincas en la región independientemente de las modalidades de manejo (orgánicas, convencionales o en transición). El equipo llega a la conclusión que esta diferencia se debe a la categoría taxonómica del suelo de la finca. Esta situada en un orden de suelo Andisol (de origen volcánico) frente a las otras fincas que poseen ordenes de suelos con otras características (ultisoles e inceptisoles).

Los resultados de los análisis de suelos orientan donde el potencial de almacenamiento y conservación de carbono, según su taxonomía. Así como orienta la conservación y aumento de los *stocks* de carbono con prácticas agroecológicas.



III. CONCLUSIONES.

Avances del proyecto.

1. Consistencia en el seguimiento a las fincas seleccionadas. Se mantienen la relación con los productores y anuencia a colaborar con el proyecto. Las fincas en transición mantienen su proceso hacia la certificación. No hay sesgo en los datos recolectados hasta el momento debido a que no cambian las condiciones de muestreo. Esto permite profundizar en la segunda fase.
2. Existe un alto nivel de documentación y retroalimentación basadas en las áreas de análisis en las fincas (gases desde suelos, ganadería, eficiencia energética, fijación de carbono en suelos y microbiología de suelos). Los ciclos de medición han podido retroalimentar los procesos y definir el camino metodológico con base en la integralidad planteada. El trabajo conjunto y la asesoría externa proporcionan solidez a las metodologías.
3. El desarrollo de la metodología en su totalidad incorpora elementos de contexto actualizados del cambio global y gases de invernadero. Constantemente se revisan los avances en cuanto a procesos de aprobación de metodologías en organismos internacionales. CEDECO incorpora criterios a la construcción metodológica por medio del modelo de análisis que retoma variables no estudiadas a profundidad (i.e. microbiología de suelos y valoraciones socioeconómicas).
4. Resultados en las áreas de análisis demuestran la viabilidad metodológica del proceso. Mecanismo de recolección, procesamiento y presentación de datos. Se consolida la valoración socioeconómica de las fincas y se completan los datos para el modelo de análisis.
5. Se ha logrado enlazar la investigación a instituciones relacionadas con la temática analizada. Entre ellas, Instituto Meteorológico Nacional, Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, Ministerio del Ambiente y Energía. El vínculo ha sido más fuerte con centros de investigación, algunos trabajan directamente a la temática y otros con relación indirecta. Se aprovechan y adecuan los servicios del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, Universidad Nacional, así como la asesoría del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
6. Generación de documentos (Separatas Informativas y Documento Conceptual de Investigación). Las separatas sirven como medio de información básica del proyecto, así como de los avances recientes. Documento Conceptual Metodológico que resume la propuesta del proyecto y las orientaciones actuales de investigación. Se convierten en un medio, además, de intercambio con diversos sectores (Productores, investigadores y técnicos de áreas específicas). Brinda los elementos para la discusión y retroalimentación de la propuesta.



7. Talleres de intercambio con productores involucrados con el proyecto. Actitud de respeto e incorporación de los productores relacionados al proyecto. Amplía su consciencia crítica en la adopción de la agricultura orgánica. Regresa resultados en un lenguaje de utilidad. Brinda elementos para fortalecer prácticas identificadas como claves en la hipótesis de reducción de emisiones y aumento del secuestro de carbono.
8. Talleres de intercambio con técnicos. Se han identificado actores claves para estas actividades. Los eventos han tomado un carácter constructivo en la medida que los participantes cuentan con elementos previos a la discusión. La retroalimentación es mayor por los procesos de discusión.
9. La investigación ha logrado detectar vacíos de información. Esto orienta el trabajo hacia los futuros ciclos de medición. Se determinan las necesidades futuras de investigación. Se complementan los procesos metodológicos conociendo la información que se debe generar.



IV. PERSPECTIVAS.

1. Repetir ciclos de medición de fincas. Contar con más datos de finca. Dar énfasis a las mediciones en fincas en transición. Con un mayor número de datos es posible trabajar a profundidad los análisis estadísticos y de correlación. Así mismo, el modelo puede generar resultados en un mayor número de observaciones.
2. Realizar los análisis con el modelo estadístico. Con la información actual es posible generar los primeros resultados del modelo de análisis estadístico. Se espera retroalimentar y compartir con las investigaciones en Cuba y Brasil.
3. Mantener relación con el CATIE. Continuar bajo la modalidad de asesoría científica alrededor de metodologías específicas de cuantificación y monitoreo de gases. Intercambiar los alcances y valoraciones socioeconómicas en los proyectos de ambas instituciones (CATIE y CEDECO). Definición de competencias institucionales claves y explorar posibilidades de trabajo conjunto en la ampliación del proyecto.
4. Incidir en el Reconocimiento de Servicios Ambientales. Demostrar que la evaluación en fincas orgánicas es viable. Indicar con valoraciones, la fijación de carbono y la reducción de emisiones de gases de invernadero en fincas orgánicas. Introducir la discusión del reconocimiento del estímulo económico en fincas orgánicas.
5. Compartir elementos de base para proceso de investigaciones similares en Brasil y Cuba. Apoyar los procesos de generación de argumentos de incidencia política de carácter más global.
6. Contacto con estudios comparativos en otros continentes e intercambiar sobre las metodologías usadas en cada contexto.
7. Incorporar nuevas fincas a la muestra actual. Con los procesos metodológicos más acabados es posible incorporar unidades en esquemas convencionales. Con esto se logran hacer evaluaciones estadísticas de las diferencias entre la producción convencional, el proceso de transición y la agricultura orgánica.

Iniciar con la Evaluación de Conservación de biodiversidad en fincas de la investigación. Esta variable será incorporada al modelo de análisis. Se busca ampliar los criterios de generación de servicios ambientales globales desde las fincas orgánicas.