



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

**BALANCE DE NUTRIENTES EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO
(*Theobroma cacao*) ORGANICO EN EL MUNICIPIO DE WASLALA, NICARAGUA**

por

Francisco José Estrada Garro

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

Turrialba, Costa Rica, 2010

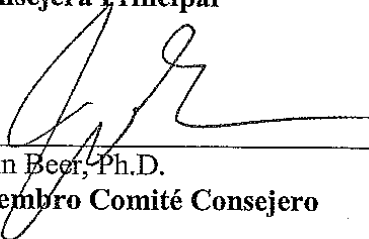
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

FIRMANTES:



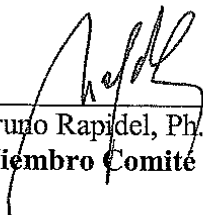
Gabriela Soto, M.Sc.
Consejera Principal



John Beer, Ph.D.
Miembro Comité Consejero




Rolando Cereza, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Bruno Rapidel, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Francisco José Estrada Garro
Candidato

DEDICATORIA

A mi abuelita Elodia Garro que en paz descansa

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor consejero Gabriela Soto por su apoyo y motivación en todo momento, y más que todo por su amistad.

A todos los miembros del comité consejero, por el tiempo que me brindaron durante la elaboración de la Tesis, y por las correcciones y consejos en beneficio del presente documento.

Al CATIE, y al proyecto MAP por haber financiado mis estudios.

A todos los agricultores y amigos en Nicaragua y Waslala, en especial a Aura, Roberto mi guía, a Jorge el “prix” y a Luis Orozco por su apoyo logístico y asistencia en el desarrollo de mi trabajo en campo

A mis amigos y compañeros del CATIE, con quienes compartí experiencias inolvidables estos dos años y por todo su apoyo sobre todo a mis amigos de la colonia mexicana de quienes aprendí muchas cosas. Y a Su por sus buenos consejos y apoyo.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	IX
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XIV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
1.2 Hipótesis del estudio.....	3
2 MARCO CONCEPTUAL.....	4
2.1 Antecedentes de la producción cacaotera en la región centroamericana	4
2.2 Producción cacao Nicaragua.....	5
Descripción de la actividad cacaotera en la zona de estudio	5
2.3 Requisitos nutricionales y manejo de la fertilidad en sistemas agroforestales con cacao	7
2.4 Balances de nutrientes en Agro ecosistemas	11
Herramientas para el cálculo de balances de nutrientes	14
NUTMON	14
2.4.1.1 Análisis de sensibilidad.....	19
Estudios previos de balances de nutrientes en sistemas agroforestales con cacao	20
3 MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Descripción del área de estudio	21
3.2 Selección de las parcelas de estudio	22
3.3 Caracterización de las parcelas	23

3.4	Muestreo y análisis de suelos	23
3.5	Análisis de abonos	23
3.6	Elaboración del balance de nutrimentos	24
	Datos adicionales requeridos por el programa.....	25
	Estimación de las entradas	26
	Entradas por enmiendas orgánicas o químicas.....	27
	Entradas por deposiciones húmedas y secas	27
	Entrada por fijación simbiótica y no simbiótica de nitrógeno	27
	Entrada por aporte de estiércoles	28
	Estimación de las salidas del sistema	29
	Salida por lixiviación	29
	Salida por cosecha de cultivos	30
	Salidas por pérdidas gaseosas	30
	Salidas en residuos de cosecha o uso para leña.....	30
	Calculo del balance general	30
3.7	Métodos estadísticos.....	32
3.8	Análisis de sensibilidad	32
	Selección de parámetros para el estudio	33
	Disgregación de las fuentes de variación.....	34
	Flujos a partir de mediciones en campo.....	35
	Reporte del productor	35
	Unidades de medida.....	35
	Peso seco.....	36
	Contenido de nutrientes	36
	Fertilizantes minerales	36
	Abonos orgánicos	36
	Nutrientes removidos en la cosecha.....	37
	Flujos de sub modelo	37
	Nutrientes que entran y salen por pastoreo de animales	37

Flujos difíciles.....	37
Deposición atmosférica.....	37
Fijación biológica de nitrógeno	38
Lixiviación.....	38
Desnitrificación.....	38
Selección de parámetros para el análisis de sensibilidad.....	38
4 Resultados y discusión	39
4.1 Caracterización de los sistemas productivos	39
Descripción de los componentes.....	41
4.1.1 Unidades de producción primarias	41
4.1.2 Unidades de producción secundaria	42
4.1.3. Unidad de producción primaria: el cacaotal	43
4.1.4 Componente arbóreo en el cacaotal	45
4.1.5. Descripción de suelos de estudio	48
4.1.5.1 Propiedades físicas	48
4.1.5.2 Propiedades químicas	49
4.1.6 Tipificación de los sistemas productivos	50
4.2 Abonos orgánicos	51
4.3 Balance de nutrientes.....	55
4.3.1. Descripción y validación de entradas y salidas	55
Entrada 1 Fertilizantes químicos (En1)	55
Entrada 2 Fertilizantes orgánicos (En2).....	56
Entrada 2a Uso de abonos orgánicos	56
Entrada 2b Pastoreo de gallinas en los cacaotales	57
Entrada 3 Deposición atmosférica (En3).....	58
Entrada 4 Fijación biológica de nitrógeno (En4).....	59
Entrada 4a Fijación biológica no simbiótica (En4a)	59
Entrada 4b Fijación simbiótica (En 4b)	60

4.3.2 Salidas.....	62
Salida 1 Cosecha (Sal 1).....	62
Salida 2 Residuos de cosecha (Sal 2).....	63
Salida 3 Lixiviación (Sal 3).....	63
Salida 4 Desnitrificación (Sal 4).....	66
Salida 5 Erosión (Sal 5).....	67
4.4 Análisis de Sensibilidad.....	68
4.5 Balances Totales y Parciales.....	69
5 Conclusiones.....	74
6 recomendaciones.....	75
7 BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	87

RESUMEN

Se elaboró un balance parcial y total de nutrimentos (NPK) en fincas de pequeños productores de cacao orgánico en el municipio de Waslala, Nicaragua utilizando el programa NUTMON. , las fincas se analizaron y se identificaron las unidades de producción primarias (cultivos) y unidades secundarias (componente animal) los balances se enfocaron en la unidad de producción primaria compuesta por los SAF de cacao orgánico, los cuales representan casi el 50 % de ingreso económico para las familias siendo el principal medio de vida económico. Se identificaron grupos de parcelas con diferencias entre balances positivos y negativos, los balances totales resultaron N=-3,0 P =1,6 K= -5,0 (Grupo 1), N= -9,3 P= 0,5 K= -9,8 (Grupo 2); y N= -5,7 P= 0,5 K= -10,6 en el caso de los balances parciales fue de N=-0,2 P =0,6 K= -5,7 (Grupo 1) , N= -4,2 P= -0,4 K= -9,3 (Grupo 2); y N= -5,1 P= -0,5 K= -10,8 (Grupo 3) . Las diferencias entre balances totales y parciales fue producto de la utilización de fórmulas para el cálculo de los flujos difíciles de estimar como lixiviación y desnitrificación los que resultaron en sobreestimaciones de acuerdo a comparaciones con datos reportados por diversos autores en la región. Los balances de potasio de las parcelas siempre resulto ser negativo evidenciándose una alta extracción de este elemento sin posterior reincorporación. Se analizó la elaboración y uso de fertilizantes orgánicos encontrándose que más del 80% de los productores aplicaban abono siendo el aporte nutricional de estos en kg ha⁻¹ año⁻¹ de 1,3 a 8,3 de N, 0,2 a 1,5 para P y 0,7 a 4,0 para K.

Se concluye que el uso de balances parciales es de más utilidad en agriculturas de bajo uso de insumos externos y donde los suelos son de una baja fertilidad, por lo que la información suministrada por productores en cuanto al traslado, ingreso y egreso de materiales de una unidad de producción a otra, permite conocer la interacción entre los cultivos y el componente animal, permitiendo diferenciar fincas con balances negativos y positivos. lo que permitiría identificar puntos donde los productores fallan en cuanto al manejo de nutrientes permitiendo establecer mejores estrategias para elevar la producción.

Palabras clave: Sistema agroforestal, cacao orgánico, *Theobroma cacao*, balances de nutrientes, abonos orgánicos, Nicaragua.

Nutrient balance in Agroforestry Systems of organic cacao (*Theobroma cacao*) in WASLALA, NICARAGUA

SUMMARY

Produced a partial and total balance of nutrients (NPK) in small-scale producers of organic cocoa in the municipality of Waslala, using the NUTMON model. The farms were analyzed and identified the primary production units (crops) and secondary units (animal component) balances are focused on the primary production unit composed of organic cocoa SAF, representing almost 50% of income economical for families to be the main economic livelihood. We identified groups of sites with differences between positive and negative balances, the total balances were N = -3.0 P = 1.6 K = -5.0 (Group 1), N = -9.3 P = 0.5 K = -9.8 (Group 2), and N = -5.7 P = 0.5 K = -10.6 (Group 3), in the case of partial balance was N = -0.2 P = 0.6 K = -5.7 (Group 1), N = -4.2 P = -0.4 K = -9.3 (Group 2), and N = -5.1 P = -0.5 K = -10.8 (Group 3). The differences between total and partial balances resulted from the use of formulas for calculating difficult flows as leaching and denitrification which resulted in overestimation according to comparisons with data reported by various authors in the region. Potassium balances plots turned out to be negative always evidenced a high extraction of this element without subsequent reinstatement. It analyzed the development and use of organic fertilizers found that over 80% of farmers applied fertilizer to be the nutritional content of these in kg ha⁻¹ year⁻¹ of 1.3 to 8.3 N, 0.2 to 1.5 for P and 0.7 to 4.0 for K.

We conclude that the use of partial balances is more useful in agriculture, with low external input and where soils are infertile, so the information provided by producers on the transfer, incoming and outgoing materials a production unit to another, allowing to know the interaction between the crops and from animal and crop component, which allows farms to differentiate positive and negative balances, finding points where producers are failing in the management of nutrients with that could develop better strategies to increase production.

Key words: agroforestry system, organic cocoa, *Theobroma cacao*, nutrients balances, organic fertilizers, Nicaragua.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principal organización (cooperativa o asociación) (COA), superficie cultivada, rendimientos, producción total anual en Centro América.....	4
Cuadro 2. Áreas de siembra de cacao por región en Nicaragua.....	5
Cuadro 3. Remoción de nutrientes macro y micro por plantas de cacao en diferentes estados de desarrollo.....	9
Cuadro 4 Extracción de nutrientes en la cosecha de 1000 kg de cacao seco por ha.....	10
Cuadro 5. Rangos de límites de suficiencia de suelos para cacao en un perfil de 0 a 20 cm.....	10
Cuadro 6. Estimado de fertilizantes para aplicación en el suelo, en kg/ha.....	11
Cuadro 7. Características y valores para determinar la tipología de las fincas.....	23
Cuadro 8. Información sobre cada una de las fincas recopilada utilizando los cuestionarios del NUTMON.....	24
Cuadro 9. Datos adicionales utilizados para el cálculo de balances por el modelo NUTMON.....	25
Cuadro10 Ecuaciones de Smaling y Fresco (1993) para el cálculo de lixiviación del nitrógeno según el contenido de arcilla en el suelo.....	29
Cuadro 11. Relación del porcentaje de arcillas en el suelo para la determinación de la fracción lixiviada de potasio.....	29
Cuadro 12. Codificación del flujo de entradas y salidas; y su método de estimación.....	31
Cuadro 13. Características de las fincas estudiadas en Waslala, Nicaragua.....	39
Cuadro 14. Tamaños de finca, área cultivada y relación con tamaño de potreros (%) n=35.....	40
Cuadro15 Estructura demográfica de los hogares (% del total de respuestas) en las parcelas estudiadas de Waslala, Nicaragua.....	41
Cuadro 16. Cultivos presentes y áreas de las Unidades de producción primaria (UPP) presentes en los sistemas productivos (n=35).....	42
Cuadro 17. Composición de unidades secundarias de producción (pecuarias) en las fincas estudiadas Waslala, Nicaragua.....	43
Cuadro 18. Características de los sistemas agroforestales de cacao de Waslala, Nicaragua.....	44

Cuadro 19. Actividades de manejo empleadas por los productores en las parcelas de cacao (%) en la zona de Waslala, Nicaragua.	45
Cuadro 20. Principales problemas mencionados por los productores que afectan la producción de cacao. 45	
Cuadro 21. Tipo, uso y frecuencia de las principales especies arbóreas presentes en el SAF cacao (% de cacaotales con la especie presente). (Datos composición botánica suministrados por el PCC).....	46
Cuadro 22. Tipo y cantidad de especies del dosel de sombra en los cacaotales de Waslala, Nicaragua	47
Cuadro 23. Características físicas de los suelos en las parcelas de cacao.	48
Cuadro 24. Características químicas de los suelos en las parcelas de cacao.	49
Cuadro 25. Análisis de la varianza de las variables que conformaron los conglomerados	51
Cuadro 26. Tipo y uso de abonos orgánicos en la parcelas de cacao en Waslala, Nicaragua.	52
Cuadro 27. Tipo y cantidad ingredientes utilizados en la elaboración de compost (kg).	53
Cuadro28. Análisis de nutrientes de los tipos de abonos encontrados	54
Cuadro 29. Percepción local de los beneficios del uso de abonos orgánicos	55
Cuadro 30. Ingreso promedio de nutrientes al sistema por abonos orgánicos ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).	56
Cuadro 31. Ingreso promedio de nutrientes al sistema por estiércol producto de pastoreo de animales ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).....	57
Cuadro 32. Cantidades de N-P-K resultantes de la deposición atmosférica en diversos estudios en la región ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).....	58
Cuadro 33. Entrada de nutrientes por deposición atmosférica resultado de la formula de transferencia aplicada en la región de Waslala, Nicaragua.....	59
Cuadro 34. Estudios de fijación no simbiótica de nitrógeno reportados por diversos autores en la región	59
Cuadro 35. Estudios de fijación simbiótica de nitrógeno reportados por diversos autores en la región	60
Cuadro 36. Valores de fijación simbiótica de nitrógeno $\text{Kg N ha}^{-1} \text{ año}$, obtenidos en las parcelas de cacao en Waslala, Nicaragua.....	62
Cuadro 37. Extracción de nutrientes en la cosecha de semillas de cacao ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).....	63
Otros productos cosechados en la parcelas fueron la extracción de bananos y leña (Cuadro 38) con considerables extracciones de nutrientes, flujos considerados a la hora de efectuar los cálculos de extracción de nutrientes en el sistema.	63
Cuadro 38. Extracción de nutrientes en subproductos en las parcelas de cacao de Waslala, Nicaragua ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).....	63
Cuadro 39. Estudios de lixiviación de nutrientes $\text{Kg N ha}^{-1} \text{ año}$ reportados por diversos autores en la región	65

Cuadro 40. Valores promedio de lixiviación obtenidos mediante formula en los sistemas de producción estudiados de cacao en Waslala, Nicaragua ($\text{Kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).....	66
Cuadro 41. Cantidades de N por desnitrificación reportados en diversos estudios en la región ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	67
Cuadro 42. Valores promedio de desnitrificación obtenidos mediante formula en los sistemas estudiados de Waslala, Nicaragua ($\text{Kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).....	67
Cuadro 43. Efecto de variación absoluta de los balances de N, P, K variando en +- 10% los parámetros	68
Cuadro 44. Efecto de variación relativa en los balances de N, P, K por variación en +- 10% de diversos parámetros (%).....	69
Cuadro 45. Balances total y parciales de NPK así como la diferencia absoluta entre ellos para las 35 parcelas estudiadas en Waslala, Nicaragua ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	69
Cuadro 46. Efecto de variación absoluta de los balances de N, P, K variando en +- 10% los parámetros	71
Cuadro 47. Análisis de varianza de los grupos de conglomerados formados a partir de NPK total y parcial en las parcelas de cacao en Waslala, Nicaragua.....	72
Cuadro 48. Variables de más peso en la determinación de los balances totales y parciales de NPK en las parcelas de cacao en Waslala, Nicaragua	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entradas y salidas a considerar dentro de un sistema de producción. (Kanmegne et al. 2006)	13
Figura 2. Representación esquemática del proceso de análisis de finca con NUTMON. Modificada de (Van Den Bosch et al. 1998a)	15
Figura 3. Ubicación del área de estudio (Imagen Google Earth 2009 y Mapa de uso de suelo Nicaragua 2003.	22
Figura 4. Dendrograma de los 3 sistemas evaluados en el municipio de Waslala, Nicaragua	50

1

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ICCO: Internacional cacao organization
RAAN: Región autónoma del atlántico norte de Nicaragua
IFOAM: Internacional federation of orgánic agriculture movements
PCC: Proyecto cacao Centroamérica
CATIE: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza
FUNICA: Fundación para el desarrollo tecnológico, agropecuario y forestal de Nicaragua
CACAONICA: Cooperativa agroforestal de cacao de Nicaragua
Coas: Cooperativas y Asociaciones Cacaoteras (COAs)
NUTMON Nutrient monitoring for tropical farming systems
gr/cm³ gramos por centímetro cubico
kg/ha/año⁻¹ kilogramos por hectárea por año
Mat.org materia orgánica
CICE capacidad de intercambio cationico
Dens.apa. Densidad aparente
Des: desnitrificación
Lix: lixiviación
VARINUTS: Spatial and temporal variation of nutrient stocks and flows in Kenya
Sal.cos.: salidas por cosecha
FijNsim: Fijación no simbiótica de nitrógeno
FijSim: fijación simbiótica de nitrógeno
ppm Partes por millón
prec.media Precipitación media anual
Nm= nitrógeno mineralizado del suelo
N_{parcial}_ha = nitrógeno parcial por hectárea
P_{parcial}_ha= fósforo parcial por hectárea
K_{parcial}_ha= potasio parcial por hectárea
N_{total}_ha= nitrógeno total por hectárea
P_{total}_ha= fósforo total por hectárea

K_total_ha= potasio total por hectárea
Valor For.: valor calculado por formula

1 INTRODUCCIÓN

El cacao es una de las materias primas agrícolas más importantes del comercio internacional; y como tal es una fuente indispensable de divisas para muchos países. Se estima la producción mundial en más de siete millones de hectáreas (Faostat 2009 en desarrollo) y unas 3.7 millones de toneladas según la Organización Internacional del cacao (ICCO por sus siglas en inglés) (ICCO 2009). Entre los mayores productores se encuentran Costa de Marfil (33%), Indonesia (18%) y Ghana (15%). En Centroamérica la producción de cacao representa menos del 1% de la producción mundial, pero es de gran importancia para las familias rurales cacaoteras indígenas y mestizas por ser uno de sus principales ingresos económicos y su relevancia sociocultural.

En los últimos años se ha originado un aumento en la demanda de cacao de comercio justo, ecológico y de origen diferenciado, esto significa que los consumidores no solo exigen excelente calidad, sino que también quieren estar seguros de que el cacao con el que se ha elaborado el chocolate ha aportado ingresos justos a los agricultores que lo cultivaron y que se ha producido siguiendo prácticas socialmente y ambientalmente aceptables.

De los 24 países productores de cacao orgánico 14 se ubican en Latinoamérica incluyendo a Nicaragua, siendo República Dominicana el mayor productor orgánico del mundo; reportando entre todos una producción de 15 mil toneladas (ICCO 2006, Federación Internacional de Movimientos Orgánicos (IFOAM por sus siglas en inglés) (2006).

La producción orgánica que cumpla con estándares de calidad y de certificación tiene un incentivo en el sobreprecio llegando incluso a precios superiores a los U\$ 3700.00 por tonelada por encima de los U\$ 3 400.00 que cotiza el cacao convencional en mercados internacionales (ICCO 2009).

Limitantes como enfermedades, plagas, mal manejo, material genético no óptimo así como poco uso de insumos en la producción orgánica ocasionan una baja productividad de los sistemas agroforestales en la región de Centroamérica con un promedio de 200 kg por hectárea por año (Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE) (2006).

Datos comparativos entre regiones centroamericanas del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC), han mostrado que las mejores productividades de cacao orgánico en la región

centroamericana se dan en Waslala, Nicaragua (CATIE 2007). Pero igual los rendimientos en esta zona son bajos con un promedio de 328 kg/ha.

Una de las zonas que produce más cacao en Centroamérica se encuentra en el municipio de Waslala, Nicaragua, cuenta con aproximadamente 45.000 habitantes, con una densidad de 15 habitantes por km², siendo el 85 % activo en el sector agrícola. Más de dos mil productores (as) y sus familias de esta zona se dedican al cultivo extensivo del cacao, siendo la de mayor importancia del cultivo en Nicaragua en donde el uso de abonos orgánicos se ha ido generalizando la producción de cacao orgánico se lleva a cabo por pequeños productores, en zonas remotas y marginadas, que siguen un modelo de producción agroforestal, que provee una forma de reforestar y preservar los bosques y la biodiversidad de la región, combinando las plantaciones de cacao con diferentes especies forestales, y frutales, que permiten reducir la erosión de los suelos, y protegiéndolo de la pérdida de nutrientes (Gaitan 2005).

El estudio de los sistemas de producción agroforestal de cacao orgánico en la región de Waslala, Nicaragua, a través de la caracterización de los sistemas de manejo y del análisis de la fertilización orgánica y de ciclos de nutrientes, determinando si presentan balances positivos o negativos, lo que permitiría demostrar o presentar mejores argumentos en cuanto a la sostenibilidad de estos sistemas agroforestales, para así poder apoyar procesos productivos en esta y en otras regiones será la base de este estudio.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Analizar el balance de nutrientes de sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) orgánico en Waslala, Nicaragua.

Objetivos específicos

- Caracterizar los componentes y el manejo (poda, fertilización, sanidad, suelo, residuos, postcosecha) de los sistemas agroforestales de cacao orgánico.
- Caracterizar la elaboración, composición y aplicación de los fertilizantes orgánicos que se utilizan en los sistemas agroforestales de cacao orgánico.
- Determinar el balance de nutrientes (N-P-K) en los sistemas agroforestales de cacao mediante el software NUTMON
- Desarrollar un análisis de sensibilidad a los diferentes parámetros y variables de entrada al modelo NUTMON.

1.2 Hipótesis del estudio

- Existe un balance sostenible de nutrientes en los sistemas agroforestales orgánicos de cacao en Waslala.
- La productividad de cacao en los sistemas agroforestales orgánicos de Waslala podría estar limitada por falta de prácticas de manejo más que por nutrición.
- El uso de abonos orgánicos en la producción de cacao orgánico agroforestal en Waslala no aporta significativamente al balance sostenible de nutrientes ni se refleja en mejoras en la productividad.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes de la producción cacaotera en la región centroamericana

Si bien la producción de cacao en la región ocupa únicamente el 0,1% de la producción mundial, los cacaotales centroamericanos constituyen una de las principales fuentes de ingreso para grupos marginales de pequeños productores de zonas indígenas con aproximadamente 16400 hogares, a quienes los cacaotales proveen de numerosos bienes y servicios para el consumo familiar, uso en la finca y venta (CATIE 2006).

Al mismo tiempo, los cacaotales de la región, por su estructura agroforestal, se han convertido en adecuadas zonas de amortiguamiento de áreas protegidas, ayudando a conservar biodiversidad, suelos y agua, capturando de carbono atmosférico y contribuyendo así a la mitigación del efecto invernadero y al cambio climático global (CATIE 2006).

Cuadro 1. Principal organización (cooperativa o asociación) (COA), superficie cultivada, rendimientos, producción total anual en Centro América.

COA-País	Socios	Área cacao (ha finca ⁻¹)	Área total cacao (ha)	Rendimiento (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Producción (t año ⁻¹)
Guatemala-ADIPKAKAW	1800	0.75±0.25	1350	255	344
Costa Rica-APPTA	1180	1.4±0.80	1757	236	415
Belice-TCGA	1034	0.80±0.25	827	185	153
Panamá- COCABO	868	3.0±1.50	2614	87.6	229
Nicaragua-CACAONICA	548	1.70±0.70	932	328	305
Honduras-APROCACHO	300	1.50±0.75	450	122	55
Guatemala-APROCA	66	1.0±0.50	66	210	14
Total	5866		7996		1515

Adaptado de CATIE (2007)

2.2 Producción cacao Nicaragua

En el caso de Nicaragua la producción se encuentra en manos de pequeños productores (1 a 2 ha), distribuidos en diferentes zonas del país (Cuadro 2). La producción de cacao se practica con cultivos en asocio a nivel de subsistencia así como establecimiento de áreas forestales las cuales a su vez son utilizadas como barreras rompe vientos, cercas vivas, producción de leña y madera, entre otros (Gaitan 2005). El municipio de Waslala se ubica en la región autónoma del atlántico norte (RAAN).

Cuadro 2. Áreas de siembra de cacao por región en Nicaragua.

Departamento	Área (hectáreas)	Porcentaje
Matagalpa	4 270	46,26
RAAN	1 485	16,09
RAAS	2 415	26,16
Rio San Juan	930	10,08
Rivas/Granada	130	1,41
Total	9 230	100

(Funica 2007)

En Waslala existen pequeñas áreas con un manejo tecnológico, acorde al sistema de producción orgánica, agroforestal y silvopastoril; esto conlleva a la adaptación de técnicas de mejoramiento y manejo para asistir las plantaciones, permitiendo obtener incrementos en la producción y en el control fitosanitario (Gaitan 2005).

Descripción de la actividad cacaotera en la zona de estudio

En Waslala, como en la mayoría de las zonas cacaoteras de Nicaragua, la producción de cacao es potencialmente orgánica, debido a que tradicionalmente el campesino nicaragüense ha desarrollado el cultivo sin fertilizantes químicos o control químico de plagas y enfermedades (Gaitan 2005).

En Waslala existen diferentes agrupaciones de productores entre ellas la Cooperativa agroforestal de cacao de Nicaragua (CACAONICA) que nació como respuesta a la ausencia de canales de comercialización y la manipulación de precios por los intermediarios de la zona (CATIE 2006). La Cooperativa CACAONICA, durante los años 1991–1998, recibe apoyo de la ONG alemana Pro-Mundo Humano, en capacitación, supervisión de los cacaotales y entrega

de los insumos para el establecimiento de parcelas de cacao con sombra para un total de 350 agricultores (Grebe 2003). A cada productor el proyecto le suministró gratuitamente las herramientas e insumos necesarios para la siembra y mantenimiento de una hectárea, con siembra de 625 plantas de Cacao Híbrido, y 0,3 Ha con siembra de árboles forestales y frutales (Grebe 2003).

Actualmente, CACAONICA brinda un servicio de asesoría a sus socios para el manejo de sus sistemas productivos de forma sostenible y con autogestión, y se dedica al acopio y exportación de cacao certificado bajo la modalidad de mercado justo (*Fair Trade*); la cual paga un precio mínimo que se sitúa para el año 2009 US\$2000 por tonelada métrica para el cacao convencional y US\$2200 por tonelada métrica para el cacao orgánico (Fairtrade 2009). Cuando el precio en el mercado mundial excede el precio mínimo, el precio de mercado es pagado más el premio por Fair Trade que generalmente son US\$150 más.

CACAONICA cuenta actualmente con 720 asociados de diferentes comunidades de los municipios de Waslala y Siuna, de los cuales 520 ya recibieron el certificado como productores de cacao orgánico y los 200 restantes se encuentran aún en fase de transición y en espera de su certificado.

Con el apoyo de Pro Mundo Humano, CACAONICA logra además, un acuerdo con la Cía. Ritter-Sport, Fábrica de Chocolates de Alemania, la cual es una de las compañías de más alto prestigio a nivel mundial en la fabricación de chocolate, y se convierte en su principal socio comercial; pagando un precio diferenciado a su producción (Ritter 2009).

Actualmente CACAONICA participa en el “Proyecto Cacao para Centroamérica” (PCC) que implementa una plataforma de cooperación para la innovación tecnológica, divulgación y aplicación del conocimiento, diseñada y operada conjuntamente por el CATIE, familias productoras, co-ejecutores técnicos; y socios para elevar la competitividad de las fincas y cooperativas y asociaciones cacaoteras (COAs) y proveer servicios ambientales a la sociedad (CATIE 2007).

2.3 Requisitos nutricionales y manejo de la fertilidad en sistemas agroforestales con cacao

Generalmente se asume que los sistemas agroforestales con cultivos perennes son más sostenibles que los sistemas con cultivos anuales: p.e. la erosión del suelo es menor y los cultivos perennes tienen ciclos de nutrimentos más cerrados (Imbach *et al.* 1989). Sin embargo el estudio de ciclos de nutrimentos y balances en plantaciones perennes es limitado a pesar de la importancia de las plantaciones de este cultivo para las economías de muchos países en desarrollo (Hartemink 2005).

Los ecosistemas agroforestales representan sistemas eficientes y cerrados de ciclos de nutrientes, queriendo decir que tienen bajas proporciones de salidas o pérdidas a partir del sistema así como ingresos hacia el sistema; en otras palabras, son, en principio auto-sostenibles (Ramachandran 1997). Pero estos sistemas han mostrado baja rentabilidad para los pequeños productores de la región (Catie 2007), por lo que se quiere estudiar su manejo para aumentar su potencialidad productiva, para productores con baja capacidad de inversión en insumos externos.

Los sistemas agroforestales con cacao pueden producir hasta 14 t MS/ha⁻¹ año de hojarasca y residuos de podas, lo cual contiene 340 kg N/ha/año y podrían fijar hasta 60 kg/ha/año de N atmosférico por el uso de árboles leguminosos a una densidad de 300 árboles/ha (Beer *et al.* 1998).

En los sistemas agroforestales la presencia de árboles leguminosos representa una importante entrada de nitrógeno; sin embargo es necesario recordar que del material depositado producto de las podas de los árboles leguminosos, solo del 25 al 30% de su nitrógeno es recobrado por el cultivo, se conoce esto por un amplio número de estudios al respecto tanto en el trópico como en zonas templadas (Crews y Peoples 2005).

Para Crews y Peoples (2005) la estrategia en la incorporación del nitrógeno es producto de la interacción leguminosa-cultivos y en la sincronización la cual define Swift (1984) citado por Crews y Peoples (2005) como el enlace entre la demanda de nutrientes con la liberación de nutrientes producto de la mineralización de la materia orgánica, lo cual depende del conocimiento del tipo de material, el tiempo que le toma mineralizarse así como el conocer los

momentos de mayor demanda del cultivo que queremos favorecer. Asimismo para Isaac *et al* (2007) el manejo del dosel de sombra mediante podas es crítico para mantener los niveles óptimos de productividad de cacao así como su sostenibilidad. es importante recalcar que al momento de la poda se da una muerte de los nódulos, lo que detiene la capacidad de fijación de nitrógeno (Nygren y Ramírez 1995), se ha determinado que los nódulos desaparecen casi en su totalidad después de la poda por 10 semanas, recuperando su capacidad luego de este tiempo; y siendo máxima nuevamente luego de unas 14 semanas (Kass *et al.* 1997), es importante por lo tanto el conocer la fenología de la fijación de Nitrógeno por los nódulos ya que serían estos los que intervienen directamente en la dinámica de fijación en sistemas agroforestales con árboles leguminosos (Ramfrez 1993). Además del proceso de muerte de nódulos es importante considerar el aporte de hecho por la biomasa muerta de raíces finas producto de la poda, la cual incorporaría gran cantidad de nutrientes interviniendo en los procesos de ciclaje de nutrientes en los sistemas (Chesney y Nygren 2002)

El cultivo orgánico del cacao requiere de una conservación o incremento de materia orgánica, lo cual soluciona algunos de los problemas de fertilidad, retención adecuada del agua de la lluvia y una buena circulación del aire en el suelo (Benzing 2001). Un cacaotal con una buena nutrición es capaz de soportar mejor las adversidades del clima los insectos, las enfermedades y algunos patógenos del suelo, desarrollar mejor el potencial genético de su genoma y dar un producto de alta calidad (Enriquez 2003)

Los nutrientes del suelo en una plantación de cacao son anualmente reducidos vía cosecha del cacao, se ha reportado que conforme el cacao madura existe una considerable pérdida de nutrientes (Wessel 1971). Las bases divalentes calcio y magnesio, juegan un papel altamente significativo en la nutrición del cacao. El potasio y el magnesio son antagónicos, el exceso del primero afecta la absorción del segundo. El magnesio se pierde en forma acelerada conforme aumenta la acidez del suelo, mientras que el contenido de potasio se mantiene igual aunque sus pérdidas son elevadas por efecto de lluvia por lixiviación (Urquhart 1963).

Alpizar et al. (1986), determinaron que las pérdidas de calcio y magnesio son también influenciadas por el tipo de árbol en el sistema encontrando que sistemas T.cacao-E.poeppigiana la disponibilidad de Ca y Mg era menor que en sistema T. cacao-C. alliodora.

El nitrógeno es mayormente necesario cuando no hay sombra y esto se aplica especialmente al cacao joven antes de que se haya establecido la sombra alta permanente. El fósforo equilibra la absorción de nitrógeno y estimula la multiplicación bacteriana, siendo posible que éstas tengan una función importante en el desarrollo de las raíces (Sequeira 1981).

El potasio es necesario cuando el cultivo está a la sombra, ya que dicho elemento "acondiciona" las plantas contra las enfermedades. Su deficiencia parece ser un factor importante en el marchitamiento prematuro de los frutos (Urquhart 1963). En el cultivo de cacao las exigencias nutricionales varían de acuerdo a la edad del cultivo y a su estado de crecimiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Remoción de nutrientes macro y micro por plantas de cacao en diferentes estados de desarrollo.

Estado del cultivo	Edad	Requerimientos nutricionales promedio kg ha ⁻¹ año ⁻¹						
		N	P	K	MgO	CaO	Mn	Zn
Vivero	5-12	2.5	1.4	3.0	1.9	3.3	0.04	0.01
Campo:								
inmadura	28	140	33	188	80	163	4.0	0.5
Primera producción	39	219	54	400	122	203	7.3	0.9
Madura	50-87	453	114	788	221	540	7.0	1.6

* Approx. 1 100 plantas/ha Fuente: Thong et al (1978) ; Wessel citados por (Snoeck y Y Jadin S.F.)

Pinzón y Rojas año, estimaron que para el crecimiento anual de una hectárea de cacao, se demandan 60 kg de nitrógeno, 100,2 kg de K₂O, 55,3 de P₂O₅ y 2,5 kg de MgO

Los valores de extracción de nutrientes en la cosecha de granos secos de cacao en la producción de 1000 kg de cacao seco por ha por año muestran que los elementos más importantes para el cacao son nitrógeno y potasio; y casi en igual importancia fósforo, calcio y magnesio (Cuadro 4)

Cuadro 4 Extracción de nutrientes en la cosecha de 1000 kg de cacao seco por ha.

Elemento (kg)	Enríquez (2003)	Mejía (2000)	*Heuveldop et.al (1988)	Omotoso (1975)
Nitrógeno	44	31 a 40	19-26	20
Fósforo	10	5 a 6	4-4.3	4
Potasio	77	86	26-28	10
Calcio		5 a 8	5-7	
Magnesio		5 a 7	4-4.5	

(* Media de extracción de 7 años de producción)

Los nutrimentos demandados por la cosecha deben ser restituidos, teniendo en cuenta que al aplicar en forma de abono orgánico, no todo el elemento que se pone está a disposición de la planta, siempre se escapa un poco en la lixiviación del agua de percolación o se pierde porque otros organismos o plantas los toman del medio. Si las mazorcas del cacao son abiertas en el campo y las cáscaras de ellas se esparcen en el medio, entonces, con la misma producción de 1000 kg/ha, se reciclará aproximadamente 2 kg de N, 5 kg de P y 24 kg de K, esto se debe tener en cuenta para el cálculo de las necesidades de fertilizante que se debe poner al suelo (Enríquez 2003).

Para Urquhart (1963) la aplicación de fertilizantes nitrogenados resulta positiva únicamente en el cacao sin sombra y resulta negativa en el caso contrario; así mismo Uribe et al. 2001 citado por (Sánchez *et al.* 2005), en un estudio de fertilización de cacao encontró respuesta cuando las plantaciones están expuestas directamente al sol, pero que ésta ha sido inconsistente cuando existen árboles de sombra. Para Enríquez (2003) un adecuado manejo de la fertilidad se debe conocer el estado actual de los suelos mediante un análisis químico, el cual nos suministra información del rango de fertilidad relativa del suelo (Cuadro 5), a partir del cual se puedan hacer recomendaciones de fertilización.

Cuadro 5. Rangos de límites de suficiencia de suelos para cacao en un perfil de 0 a 20 cm.

Parámetro	Rango de Fertilidad Relativa		
	Alta	Media	Bajo
pH	7.5-6.5	6.4-5.1	< 5.0
Mat.org	> 6.1	6.0-3.1	< 3.0
Relación C/N	< 10.0	15.5-10.0	> 15.0
P ppm	> 21	20-12	<12
Olsen modificado			
CICE	> 30.1	30.0-12.1	< 12.0

K intercambiable Olsen modificado	> 0.41	0.40-0.21	< 0.20
Mg. Intercambiables Cloruro de potasio 1N)	> 2.1	2.0-0,8	< 0,7
Ca. Intercambiable (Acetato de amonio 1N pH 7,0)	> 18.1	18.0-8.1	< 4.0
Azufre (Fósforo monocálcico 500 ppm P)	> 21 +	20-13	< 12
Al. % Sat.	0-10.0	11.0-25.0	

Adaptado de Enríquez (1985)

A la hora de interpretar los análisis de suelos, Enrique (2003) propone un estimado de fertilizantes a aplicar según las condiciones del suelo (Cuadro 6) y a la vez sigue una recomendación resultante de una larga experiencia de aplicar, dividiendo en 3 ó 4 aplicaciones, el equivalente de un fertilizante o abono orgánico que proporcione aproximadamente 120 gramos de N, 60 g de P₂₀₅, 72 g de K₂O y 140 g de S₀₄ por planta.

Cuadro 6. Estimado de fertilizantes para aplicación en el suelo, en kg/ha.

Elementos	Interpretación del análisis		
	Alto	Medio	Bajo
P ₂₀₅	20	40	60
K ₂ O	20	50	150
S, (S ₀₄)	-	50	150
Ca	-	150	340
Mg	-	10	15

Adaptado de Enríquez (1985)

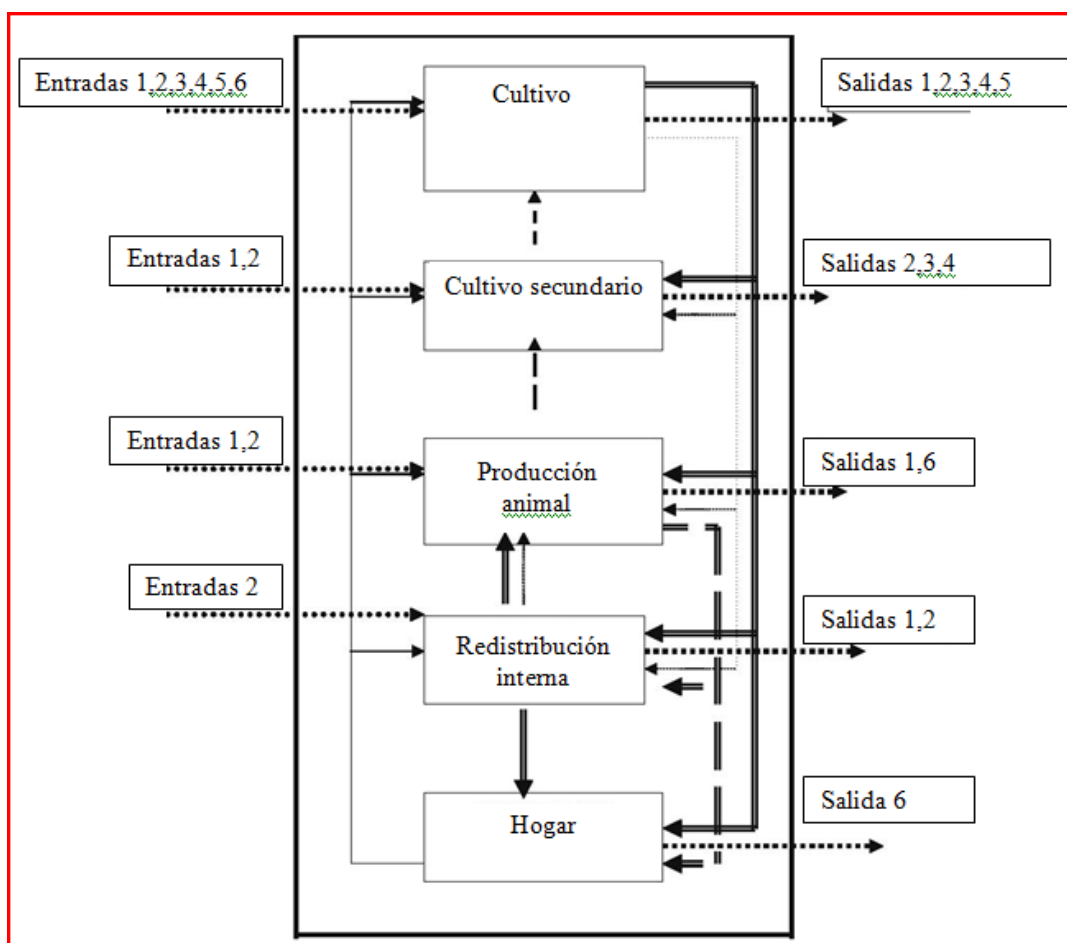
2.4 Balances de nutrientes en Agro ecosistemas

El análisis de los balances de nutrientes en los agro ecosistemas puede ser utilizado como una herramienta para incrementar el conocimiento del ciclo de nutrientes, como un indicador del rendimiento, y como un instrumento para encaminar el manejo de los nutrientes en el cultivo (Oenema *et al.* 2003) citado por (Kanmegne *et al.* 2006). Según Smaling *et. al* (1996) los balances de nutrientes son a la vez indicadores cuantitativos de la sostenibilidad de los

sistemas agrícolas, y también se ha propuesto como indicador de la calidad de las tierras (Pieri *et al.* 1995).

Para Stoorvogel y Smaling (1998) el análisis de balances ha demostrado que agro-ecosistemas con balances negativos han venido ampliándose en un amplio rango de lugares desde tierras de mala calidad a suelos con buenas características en zonas volcánicas del este de África y América Latina.

Smaling *et al.* (1996) y Van den Bosch *et al.* (1998) evaluaron una metodología para el monitoreo de nutrimentos a nivel de finca que considera 5 unidades dentro de la finca: la producción del cultivo, la producción animal, el hogar, los insumos y la redistribución interna.



Entradas	Salidas	Flujos Internos






1. Fertilizantes químicos, concentrados	1. Cosecha cultivo, productos de origen animal.		- Productos de cosecha
2. Enmiendas orgánicas	2. Residuos de cosecha, leña.		- Residuos de cosecha
3. Depositiones por lluvia	3. Deposición de hojarasca		- Productos animales
4. Fijación biológica	4. Volatilización		- Desechos del hogar
5. Sedimentación	5. Erosión		- Estiércoles y compostajes
6. Captura profunda	6. Desechos humanos		

Figura 1. Entradas y salidas a considerar dentro de un sistema de producción. (Kanmegne et al. 2006)

En el estudio de balances se debe considerar como prioritario el análisis del suelo ya que juega un papel muy importante ya que dependiendo de sus estado inicial de fertilidad tendría la capacidad de soportar mayores extracciones de nutrientes; y según Hatermink (2006) en un estudio de balances de nutrientes el suelo debe ser analizado como una “caja”, donde los nutrientes son sacados (salidas) y donde son colocados nuevamente (entradas) la caja representaría el almacén de nutrientes y su contenido declinaría a medida que le sacamos y no reponemos a lo largo del tiempo, se estudiaron las características físicas y químicas del suelo para ver el estado de la “caja” en cuanto al estado inicial del contenido de nutrientes y sus diferentes propiedades.

La principal vía reconocida de adición de materia orgánica en un sistema agroforestal; y, consecuentemente, de nutrientes al suelo es a partir de los árboles a través de la caída de hojarasca; es decir, mediante hojas muertas y hojas que caen, ramitas, ramas, frutos, etc., (Brinson *et al.* 1980). y la mayor vía de salida o remoción de nutrientes de un sistema agrícola es la exportación mediante el producto cosechado. Tales exportaciones son generalmente mayores en los cultivos agrícolas anuales en términos de la cantidad total extraída por unidad de área y unidad de tiempo (Kanmegne *et al.* 2006).

Herramientas para el cálculo de balances de nutrientes

Para el cálculo de balances de nutrientes en agro ecosistemas se han desarrollado múltiples herramientas computacionales para tal fin entre ellas el N-Cycle (Nutrient-Cycling, Crops, Livestock, Environment and Soils) (Pellerin *et al.* S.F.) , el WFN BET (Whole Farm Nutrient Balance Education Tool), FNB (Maryland Farm Nutrient Balancer) (Kohn 2001), WFNB (Whole Farm Nutrient Balance) (Paschold y Koelsch 2006), Whole Farm Nutrient Balance Spreadsheet (Cornell S.F.), que son en esencia hojas de cálculo con programación lineal en Microsoft Excel; así como el programa Nutmon (Nutrient monitoring for tropical farming systems); los cuales facilitan coleccionar, organizar información; y tomar decisiones sobre el manejo del cultivo (Vlaming *et al.* 2003).

NUTMON

Nutmon es un modelo estático de computadora creado para monitorear los flujos de nutrientes especialmente en suelos tropicales (Vlaming *et al.* 2001), desarrollado en conjunto por varias instituciones entre ellas el Instituto Alterra de Wageningen, Holanda y elaborado por André de Jager y colaboradores (Nutmon 2003).

Es una herramienta que comprende cuestionarios estructurados, una base de datos y el modelo para el cálculo de los flujos de nutrientes a nivel de finca, dividiéndola en diferentes unidades de producción primarias que conformarían las principales unidades de análisis como en el caso del presente estudio la unidad de producción de cacao. Presenta una interface de usuario sencilla que facilita la entrada de datos obtenidas en los cuestionarios y la extracción de información de la base de datos. La herramienta calcula flujos y balances de los macro nutrientes N, P, y K.

Con esta herramienta se han elaborado estudios de balances de nutrientes en diferentes países como Indonesia, Tailandia, Vietnam, Burkina Faso, Etiopía, Ghana, Kenia, Mali, Uganda (Van Den Bosch *et al.* 1998b; De Jager *et al.* 2003; Faerge y Magid 2004c; Kathuku *et al.* 2005; Rabindra y Ram 2005; Surendran *et al.* 2005) y pero también existen algunas experiencias en América comparando resultados de África y Costa Rica (Stoorvogel 1993;

Jansen *et al.* 1995; Smaling E.M.A. y Stoorvogel 1998) además del Ecuador (Koning *et al.* 1997).

Esta es una metodología muy criticada por el uso de fórmulas sencillas para el cálculo de flujos difíciles de estimar (desnitrificación, lixiviación, fijación no simbiótica y deposición por lluvia), el no tomar en cuenta la variabilidad espacial y temporal y muchas incertidumbre en sus cálculos (Scoones y Toulmin 1998; Hartemink 2003; Faerge y Magid 2004a) Sin embargo practicas alternativas no han sido sugeridas y esta vieja metodología continua siendo aplicada hasta el día de hoy, sin embargo recientemente reestimaciones de las fórmulas de regresión original y el uso mapas de uso de tierras, y climáticos integrando los sistemas de información geográfica facilitan el estudio de los balances de nutrientes (Lesschen *et al.* 2007) y deberían ser tomado en cuenta para estudios posteriores.

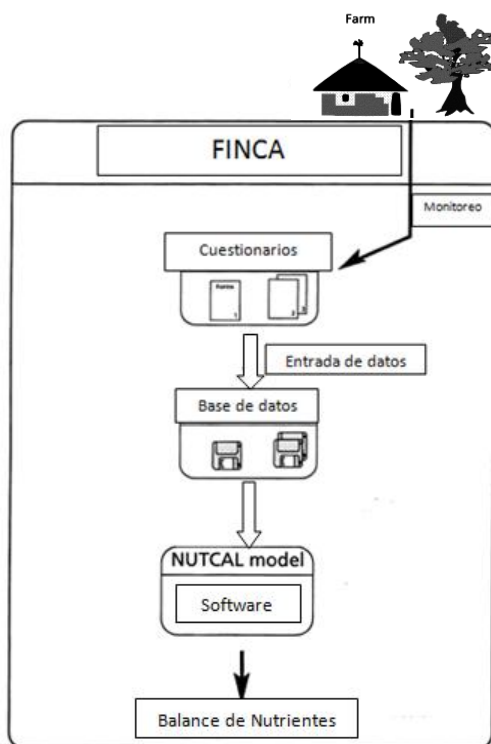


Figura 2. Representación esquemática del proceso de análisis de finca con NUTMON. Modificada de (Van Den Bosch *et al.* 1998a)

Para el cálculo general del balance de los nutrientes la herramienta aplica la siguiente fórmula:
Balance general= Entrada de nutrientes-Salida de nutrientes.

Se basa en el cálculo de 5 entradas (fertilización mineral, entradas orgánicas, deposición atmosférica, fijación simbiótica de N; y sedimentación) y 5 salidas (cosechas, salidas orgánicas (leña, venta de abonos), lixiviación, volatilización, erosión y excretas humanas).

El Nutmon se compone de 4 módulos y dos base de datos que en conjunto facilitan el monitoreo de nutrientes (De Jager *et al.* 1998; Van Den Bosch *et al.* 1998b)

Módulos:

- Cuestionarios para recolectar información específica de inventario y monitoreo de las labores en la finca, estructuradas para recoger la información durante la entrevista con el productor, sobre el ambiente en la finca, manejo, suelo y clima Al momento de monitoreo, con información de años recientes.
- El módulo de entrada de los datos en el programa productos de los cuestionarios.
- Un módulo de entrada de datos con información no específica de la finca, como datos de información de cultivos, y animales presentes en la zona así como de residuos de cosecha.
- Módulo de procesamiento de los datos que calcula el flujo y balance de los nutrientes e indicadores económicos, utilizando los datos de los cuestionarios, reglas de cálculo y asunciones.

Base de datos:

- Base de datos con información no específica de la finca, como nivel de nutrientes en el cultivo y productos de abonos, y compost preparada, parámetros del cultivo y manejo de animales, así como factores de calibración de unidades de medida local.
- Base de datos de la finca, donde la información de cada finca particular es registrada.

Información adicional es necesaria de calcular y que no es suministrada por el productor, como lo son los contenidos de nutrientes (cultivos, abonos), parámetros de suelo (análisis químico, mineralización, densidad aparente y textura) y de clima (precipitación) (Van Den Bosch *et al.* 1998b).

Conceptualización del sistema de producción:

El Nutmon conceptualiza las fincas en un set de unidades dinámicas, que dependen del manejo y la fuente o destino del flujo de los nutrientes(Vlaming *et al.* S.F). Ellas son:

1. Unidad primaria de producción: área de la finca con condiciones homogéneas de producción.
2. Unidad secundaria de producción: incluye los diferentes componentes animales dentro de la finca.
3. Unidades de redistribución: son lugares de almacenamiento de nutrientes, ubicado en la finca y de donde son reubicados posteriormente, como estiércoles, abonos o compost.
4. Hogar: grupo de personas que usualmente viven en el mismo lugar y comparten la comida regularmente.
5. Existencias: cantidad de materiales, fertilizantes, residuos de cosecha, temporalmente almacenados para su uso posterior
6. Exterior: movimiento externo de nutrientes, como mercados, vecinos, y otras familias; que actúan como fuente o destino.

Supuestos del modelo adaptados de (Vlaming *et al.* S.F):

Modelos como este tratan con sistemas complejos de nutrientes, y se basan en una serie de hipótesis. Los datos básicos para las entradas y salidas de nutrientes son usualmente seleccionados de la literatura y mediciones anteriores. Los datos provienen de varios sitios, y no necesariamente son representativos del área en estudio.

Incertidumbre sobre los datos estimados también surgen cuando los flujos de materiales son trasladados a contenidos de nutrientes, debido a la variabilidad en los procedimientos de estimación.

La incertidumbre se introduce básicamente por errores de muestreo y de medición. El mayor punto es la falta de suficiente validación de los datos.

Errores:

Errores de muestreo originados de variaciones espaciales y temporales (Vlaming *et al.* S.F).

Tipos:

- Medición de nutrientes disponibles: Se origina de variaciones introducidas durante la determinación del volumen y composición de las muestra del suelo.

Nutrientes disponibles se concibe como la cantidad de nutrientes presentes en la solución del suelo al momento de inicio de la temporada de crecimiento (o de monitoreo).

- Estimaciones de las pérdidas de N: número limitado de estudios sistematizados han sido llevados a cabo en pérdidas de nitrógeno por lixiviación. Y es a través de fórmulas de regresión múltiple, que las pérdidas por lixiviación han sido estimadas muchas veces, generando un ámbito para la aproximación y errores.
- Pérdidas gaseosas comprenden pérdidas a través de la di nitrificación y volatilización, hay pocos datos fiables en di nitrificación y volatilización para varios condiciones agroclimáticas y de suelo específicas. Estimaciones han sido hechas usando variables y regresiones múltiples
- Procesos como erosión, cuantifica una de las vías de exportación de nutrientes del suelo, sustituyendo las ecuaciones de transferencia de otros estudios algunas veces generan un amplio rango de resultados.
- Vacíos: al nivel de excretas animales, la orina no se incluye específicamente, sin embargo su contenido de nutrientes es muy diferente que el del estiércol, además, las pérdidas de nutrientes de la orina es bastante alta debido a lixiviación y volatilización.

Limitaciones en la metodología:

A nivel micro puede ser posible validar cada flujo de nutrientes, flujos como lixiviación, pueden ser relativamente sencillos de validar por experimentos, pero otros flujos como erosión son mucho más difíciles de validar. Dependiendo mucho de la definición del sistema, disponibilidad de tiempo y recursos (Rabindra y Ram 2005).

Cuantificación del flujo de nutrientes:

Los flujos son calculados por el Nutmon utilizando tres fuentes de información: a. datos primarios (cuestionarios con productores en sus fincas), b. calculo a través de ecuaciones (funciones de transferencia); y c. supuestos con base en la literatura e investigaciones previas (Vlaming *et al.* S.F).

2.4.1.1 Análisis de sensibilidad

El uso de análisis de sensibilidad nos permite estudiar la relación entre la información que fluye en la entrada y la salida de datos de un modelo, por lo tanto forma parte del modelo, y es usado para mejorar y entender el modelo, lo que permite para aumentar la confianza en sus predicciones, mostrando como las variables de respuesta del modelo reaccionan a cambios en las entradas de los parámetros del modelo (Eurostat 1999). Generalmente los análisis de sensibilidad son conducidos para determinar: la eficiencia del modelo para explicar el proceso en estudio, la calidad de definición del modelo, los factores que más contribuyen a la variabilidad de las salidas, y estimar las interacciones entre los factores (Eurostat 1999).

A la hora de conducir un análisis de sensibilidad se debe considerar una serie de pasos a seguir (Eurostat 1999):

- Especificar la función objetivo y seleccionar la variable o parámetro de entrada
- Asignar una función de distribución de la variable o parámetro de entrada
- Generar una matriz de entradas con la distribución asignada a través de un diseño apropiado
- Evaluar el modelo y computar la distribución de la función objetivo
- Selección de un método para la evaluación de la influencia o importancia relativa de cada factor o parámetro de entrada en la función objetivo.

Smaling y Oenema citados por Lal (1998) mencionan que el estudio de balances de nutrientes con el modelo Nutmon siempre debe de ir acompañado de un análisis de sensibilidad, ya que es inevitable que al añadir y sustraer los diferentes flujos de nutrientes en el balance se propaga el error; mencionando incluso que procesos como la lixiviación, volatilización, y erosión tienen coeficientes de variación muy altos ($> 50\%$) contribuyendo fuertemente en el error del cálculo de los balances. Los resultados de los balances de nutrientes son únicamente relevantes o significativos a medida de que se tenga suficiente precisión, y existen riesgos de generar conclusiones y decisiones con base en resultados que no son totalmente confiables y que pueden estar fuertemente desviados de la realidad (Lesschen et al 2007).

Rabindra (2005) considera que en los estudios de balances de nutrientes la falta de validaciones genera una alta incertidumbre relacionada con los diferentes flujos de nutrientes. Esto debido a que debemos recordar que cada uno de estos flujos está sujeto a una serie de

supuestos y los datos básicos de las entradas y las salidas usualmente son seleccionados de la literatura y resultados de estadísticas previas (Rabindra y Ram 2005).

Proyectos como el Varinuts (1999), que utilizaron el modelo Nutmon para calcular los balances de nutrientes en agro ecosistemas en África, destacan la importancia de un análisis de sensibilidad del programa, con el fin de determinar las principales fuentes de variación en cada flujo de nutrientes según los diferentes parámetros de entrada, y cuyo objetivo a largo plazo es crear una situación donde los productores por si mismos se convirtieran en expertos manejando la fertilidad de sus suelos (Vlaming *et al.* S.F.).

Estudios previos de balances de nutrientes en sistemas agroforestales con cacao

Existen estudios de balances de nutrientes en sistemas agroforestales con cacao, tales como el llamado Experimento Central del CATIE, donde se estimó por 10 años, la producción de hojarasca, la lixiviación y los ciclos de materia orgánica y de nutrientes en plantaciones de café o cacao con árboles (Beer 1988 y Beer 1990), modelándose los sistemas de cacao con laurel (*Cordia alliodora*) y poro (*Erythrina poeppigiana*) (Alpízar *et al.* 1988). Sin embargo se determinó que las condiciones de manejo en el área experimental eran intensivas y homogéneas difiriendo en mucho de las fincas típicas de los productores, especialmente aquellas que utilizan bajos insumos o no insumos del todo como el caso del cacao (Somarriba *et al.* 2001), por lo que se recomendó realizar estos estudios a nivel de finca de productores.

Otros estudios de balances de nutrientes en sistemas agroecológicos de producción de cacao se han llevado a cabo por Hartermink (2005), y Kanmegne *et al.* (2006), los cuales determinaron flujos y balances de nutrientes calculando las principales entradas y salidas en los sistemas de producción (Figura 1). El estudio realizado por Dechert *et al.* (2005), evaluó el uso de los balances de nutrientes para determinar la sostenibilidad de los sistemas.

Se ha demostrado que balances de nutrientes en ecosistemas cacaoteros pueden ser negativos cuando no se fertiliza inorgánicamente, principalmente de potasio o no se suple la demanda de este elemento (Hartemink 2005).

Los ingresos vienen desde fuera del sistema, en los fertilizantes, lluvia, polvo, materiales orgánicos, y en la fijación de N₂ (para N). Las principales salidas son las derivadas de la erosión, percolación (lixiviados) y cosecha del cultivo (para todos los nutrientes), desnitrificación y volatilización (para N) y quema (para N y S) (Imbach *et al.* 1989; Kanmegne *et al.* 2006)

En cacaotales sin y con sombra se encontraron lavados de nutrientes del suelo muy diferentes de 141 y 47 kg K/ha, 28,4 y 21 kg Ca/ha, 21 y 12,2 kg Mg/ha, y 13 y 8 kg P/ha, respectivamente (De Oliveira y Valle 1990.); lo que demuestra que el lavado en sistemas con sombra es menor. Imbach *et. al* (1989) demostraron que en términos de pérdidas de nutrientes, los sistemas agroforestales son equivalentes a ecosistemas naturales y claramente mejores que sistemas de cultivos anuales. El determinar el ciclo de nutrientes en la producción agrícola depende, entre otras cosas, del manejo de los nutrientes hecha por los agricultores, tomando en cuenta: el manejo del sistema, la incorporación de nutrientes a través de enmiendas químicas u orgánicas, la exportación de nutrientes vía cosecha del cultivo, los residuos del mismo; y la conversión entre sistemas de producción (Bationo *et al.* 1998; Deugd *et al.* 1998; Winowiecki 2008)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el Municipio de Waslala (Figura 3. Ubicación del área de estudio (Imagen Google Earth 2009 y Mapa de uso de suelo Nicaragua 2003), el cual pertenece a la Región Autónoma de Atlántico Norte (RAAN) de Nicaragua, ubicada en las coordenadas 13°20' de Latitud Norte y 85°22' de Longitud Oeste. A una altura promedio de 443 msnm, la zona corresponde al Bosque Tropical Húmedo (Holdridge 1979). La temperatura promedio es de 24,1 °C, con una precipitación anual de 2750 mm y una humedad relativa de un 84% (Phillipp y Gamboa 2003). Los suelos en su mayoría son ferralíticos con un alto contenido de arcillas (Phillipp y Gamboa 2003)

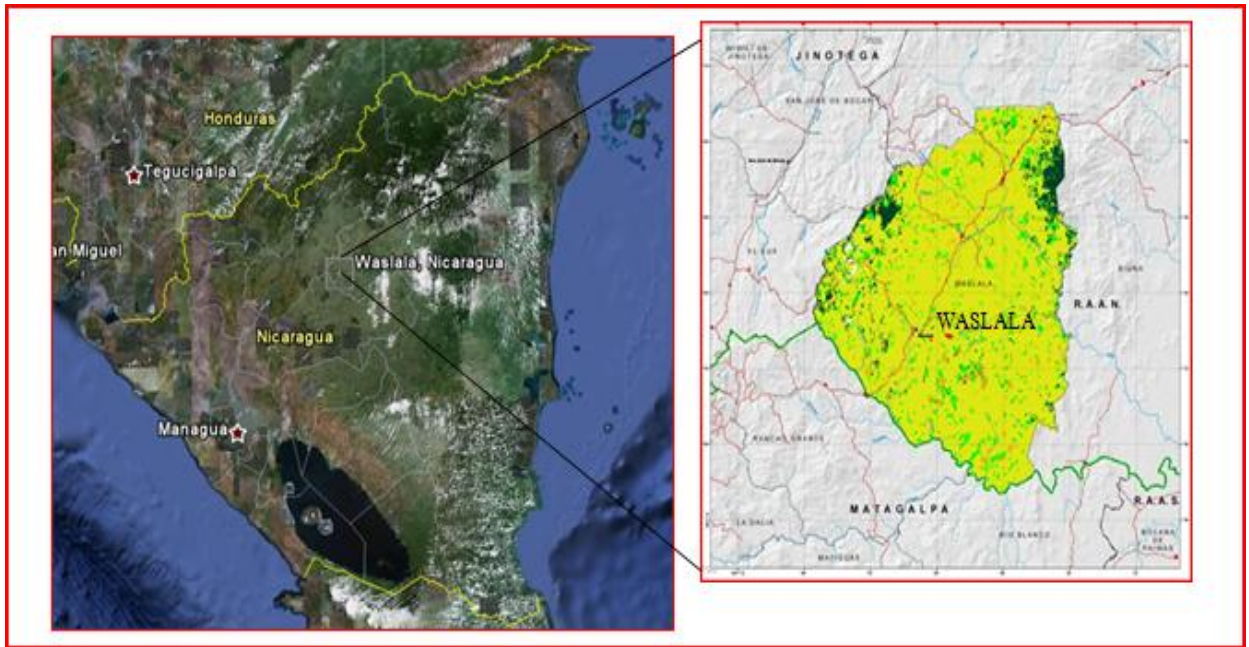


Figura 3. Ubicación del área de estudio (Imagen Google Earth 2009 y Mapa de uso de suelo Nicaragua 2003).

3.2 Selección de las parcelas de estudio

Se trabajó en la red de 35 parcelas de investigación previamente establecidas por el PCC en fincas de productores (Catie 2009a). Donde se utilizaron los siguientes criterios de selección buscando la mayor variabilidad entre las parcelas:

- 1- Sistema de manejo (intensidad de podas, regeneración, control sanitario, fertilización).
- 2- Especies predominantes de sombra (tipo, edad, forma de la copa; estratos, densidad, altura)
- 3- Pendiente del terreno (plano, ondulado y quebrado)
- 4- Ubicación (posición geográfica y altura)
- 5- Edad de la plantación (más de 20 años, 10 a 20 años, menor de 10 años)

3.3 Caracterización de las parcelas

Se caracterizaron las fincas por ubicación, altura (msnm), topografía del terreno, especies presentes utilizadas como sombra dentro del cacaotal, edad de la plantación, productividad; y manejo (Cuadro 7). Se realizó una encuesta estructurada del programa NUTMON (Anexo 1), acompañada de observaciones en campo para conocer las características de cada finca.

Cuadro 7. Características y valores para determinar la tipología de las fincas

Característica	Valor mínimo	Valor medio	Valor alto
Topografía	Plana (0-5%)	Ondulada (5-15%)	Quebrada (mayor de 15%)
Diversidad y funcionalidad	Baja (2 a 3 especies)	Media (3 a 6 especies)	Alta (más de 6 especies)
Manejo	Poco (pocas practicas ocasionales)	Medio (mas practicas pero ocasionales)	Alto (mantiene practicas intensivas)
Edad de la plantación	Nueva (menor de 5 años)	Joven (5 a 15 años)	Adulta (más de 15 años)
Tamaño de la parcela	Pequeña (menor de 1.5 ha)	Media (1.5 a 2.5 ha)	Grande más de 2.5 ha
Altura	Baja (menor de 300 msnm)	Media (300-500 msnm)	Alta (más de 500 msnm)

3.4 Muestreo y análisis de suelos

El muestreo de suelos lo realizó el equipo de trabajo del PCC, tomando en cada finca una muestra compuesta de 10 puntos aleatorios a una profundidad de 0-20 cm. A cada muestra se le determinó la textura, la densidad aparente, y un análisis químico completo, C (materia orgánica) y N. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos del CATIE.

3.5 Análisis de abonos

Se analizaron los abonos orgánicos utilizados por los productores en la zona de Waslala. Para esto se tomó una muestra compuesta de cada tipo de abono utilizado en las fincas. El muestreo se realizó colectando dos kilogramos homogenizados de sub-muestras de diferentes sitios de la compostera ya listas, además se aplicó una entrevista para conocer los ingredientes y los tiempos y métodos de preparación, así como métodos de aplicación. Se realizó un análisis químico completo en el laboratorio de CATIE. Estas muestras dieron una idea de la calidad

actual de los abonos sin embargo no son representativos para determinar lo que generalmente aplican por imposibilidad de verificar o realizar comparaciones con otros abonos aplicados anteriormente.

3.6 Elaboración del balance de nutrientes

La descripción de los sistemas productivos o fincas comprendió la identificación de los límites, componentes e interacciones en el sistema. Se definió como componentes del sistema el suelo, los cultivos, animales presentes; así como el componente humano, los límites fueron establecidos físicamente por cercas que limitaban la finca del productor con otras propiedades, en el caso del límite del suelo se determinó como la profundidad donde los nutrientes se escapan más allá del alcance de las raíces del cultivo y son perdidos por lixiviación (en el caso de este estudio se consideró la profundidad de 20 cm), el límite superior fue definido como el límite entre los árboles y la atmósfera.

Los balances de nutrientes se realizaron utilizando el programa NUTMON, se procedió a completar los formularios de cuestionarios de inventario y monitoreo (Anexo 3) que corresponden a la fase de diagnóstico en campo, donde se tomó información de los flujos de balances de nutrientes que se presentan en la finca (Cuadro 8).

Cuadro 8. Información sobre cada una de las fincas recopilada utilizando los cuestionarios del NUTMON.

Información recopilada utilizando los cuestionarios de NUTMON	
Cuestionario de inventario	Tipo de información
Información general de la finca	Ubicación geográfica, tenencia de la tierra
Unidades primarias de producción	Identificación de parcelas y sus tamaños
Unidades secundarias de producción	Identificación de los grupos de animales
Otras unidades	Identificación de aboneras
Implementos y maquinaria agrícola	Identificación de implementos en la finca
Cuestionario de monitoreo	
Unidades primarias de producción	Identificación de tipos unidades de cultivo presentes en el momento de monitoreo.
Entradas en la unidad primaria de producción	Cuantificación de fuentes de fertilizantes, semillas, estiércoles, residuos de cosecha.
Entradas en la unidad secundaria de producción	Cuantificación de la fuentes de alimento, concentrados.

Salidas de la unidad primaria de producción	Cuantificación y destino de la cosecha de productos y residuos de cosecha de la UPP.
Salidas de la unidad secundaria de producción	Cuantificación y destino de productos animales; leche, carne.
Confinamiento promedio de los animales	Tiempo estimado que pasan los animales en confinamiento.
Redistribución de estiércoles o residuos del hogar	Cuantificación y destino de estiércoles y residuos del hogar.
Crecimiento del rebaños	Movimiento por venta, nacimiento, regalos

Fuente:(Van Den Bosch *et al.* 1998a)

Datos adicionales requeridos por el programa

La información necesaria para la ejecución del cálculo del balance de nutrientes fue adquirida a través de encuestas, medidas de laboratorio, y revisión de literatura (Cuadro 9). En el caso de la precipitación media se utilizó el programa New_LocClim_1.10 el cual provee un estimado promedio de las condiciones climáticas en localidades donde no existe la disponibilidad de observaciones directas mediante estación meteorológica y desarrollado por la FAO (FAO 2005).

Cuadro 9. Datos adicionales utilizados para el cálculo de balances por el modelo NUTMON.

Parámetro	Unidad	Fuente
Cultivos, residuos de cosecha (podas) y aporte por abonos orgánicos		
Contenido de N,P, K en cosecha de productos	g/kg	Revisión bibliográfica
Fijación de nitrógeno (del total demandado de nitrógeno por el cultivo)	%	Observación en campo de especies fijadoras y revisión de literatura
Contenido de N,P, K en abonos orgánicos	g/kg	Análisis químico
Aporte de nutrientes en incorporación de material vegetal producto de podas	g/kg	Mediciones directas en campo y análisis químico de contenido de nutrientes
Ganado y productos de animales		
Requerimientos nutricionales de los animales presentes	kg de materia seca	Observación en campo y revisión de bibliografía
N,P,K presentes en los desechos de los animales	g/kg (estiércoles)	Revisión de literatura
Porcentaje de retorno, fracción del total de estiércol depositado en la finca	%	Observación en campo
Suelo y clima		
Contenido de nitrógeno del suelo	g/kg	Análisis químico de suelo

Tasa de mineralización	gr/kg/año	Revisión de literatura
Contenido de fósforo en el suelo	gr/kg	Análisis químico de suelo
Contenido de potasio en el suelo	gr/kg	Análisis químico de suelo
K intercambiable	meq 100g ⁻¹	Análisis químico de suelo
Densidad aparente	kg/m ³	Análisis de densidad aparente
% de arcillas	%	Análisis físico de suelos
Precipitación anual	mm/año	Datos de estaciones meteorológicas de los últimos años

Fuente:(Van Den Bosch *et al.* 1998a)

El programa registró toda la información generada en la observaciones, cuestionarios, revisión de literatura, análisis de laboratorio e información del New_LocClim_1.10 para mostrar el balance de nutrientes final para cada finca, utilizando el módulo de cálculo, utilizando una serie de secuencias lógicas según los flujos que se presenten en la finca y siguiendo una serie de funciones de transferencia para el cálculo de aquellos flujos difíciles de cuantificar como lixiviación, volatilización, deposición por lluvia, y fijación no simbiótica de nitrógeno. Las formulas y como las utiliza el programa según el origen de los datos se presenta en el anexo 2.

Se caracterizaron e identificaron las unidades de producción primarias (compuesta por los diferentes cultivos presentes) y secundarias que describen el componente animal y son aquellos grupos de animales del mismo tipo dentro de la finca, que el productor maneja de manera similar tanto en alimentación como ubicación (Vlaming *et al.* S.F) y que estaban presentes en la finca, permitiendo determinar los flujos de nutrientes así como identificar áreas productoras de nutrientes y áreas receptoras de nutrientes (bancos de biomasa versus receptores de nutrientes).

Estimación de las entradas

Los flujos de entradas y salidas fueron producto de los cuestionarios de inventario y monitoreo en las fincas, algunos de estos flujos fueron fáciles de determinar con información suministrada por el productor y otros con información recopilada de la literatura, algunos de ellos se basan en formulas o funciones estándar desarrolladas por Smaling y Stoorvogel 1993 en el estudio comisionado por la FAO para analizar los balances de NPK en 35 cultivos en 38 países de África sub-sahariana (Bationo *et al.* 1998). Los flujos difíciles basados en una serie de supuestos y estimados mediante fórmulas como deposición por lluvia, fijación no

simbiótica, lixiviación y desnitrificación se validaron y compararon con datos de literatura de estudios efectuados en la región para comparar los datos generados por el programa con estimaciones reales hechas en campo.

Al llegar a las parcelas el primer paso fue elaborar un croquis de las parcelas con la ayuda del propietario, el cual muchas veces ya tenía elaborado producto de las capacitaciones recibidas por el proyecto PCC a través de sus escuelas de campo. En el croquis se identificaron las diferentes unidades de producción, el componente animal, los corrales de animales, las pilas de abonos o residuos del hogar y las bodegas de granos, así como la topografía del terreno.

Entradas por enmiendas orgánicas o químicas

Para determinar el aporte de las entradas por enmiendas (estiércoles, residuos de cosecha, y compost, entre otros) se utilizaron las cantidades utilizadas por cada productor y la concentración determinada en los análisis de laboratorio (calculado como el peso de materia seca del producto multiplicado por el contenido de nutrientes).

Entradas por deposiciones húmedas y secas

El producto de la deposición húmeda (lluvia) y la deposición seca de la atmósfera (nutrientes en el polvo), se calculó con la ecuación de regresión propuesta por Stoorvogel and Smaling (1990). La ecuación usa la raíz cuadrada del total de la precipitación anual de la zona multiplicado por un factor de correlación según el elemento (0.14 para N; 0.023 para P; y 0.092 para K).

Entrada por fijación simbiótica y no simbiótica de nitrógeno

Fijación no simbiótica:

Hatermink (1997) menciona que una pequeña entrada de nitrógeno en los sistemas se da por la fijación no simbiótica del nitrógeno, para este cálculo se utilizó la ecuación desarrollada por Stoorvogel y Smaling (1990) basada en el régimen de lluvia: $A = 2 + (P - 1350) * 0.005$), donde A son kg N ha⁻¹ año, y P son los mm de lluvia al año.

Fijación Simbiótica:

Para su estimación se utilizó una metodología modificada de Salazar (1989) citado por Romero (2006), donde acompañados del productor, se realizaron podas de 3 árboles

leguminosos en la parcela escogidos al azar por el productor, y a los cuales les realiza al menos una poda anual, posteriormente se determinó la biomasa fresca producto de la poda y se extrapolo la cantidad de materia fresca promedio producto de estas podas por la cantidad de árboles leguminosos presentes en la hectárea. La cantidad de árboles leguminosos presentes en la hectárea se estimó a partir de la cantidad de árboles leguminosos presentes en la parcela experimental de 1000 m² establecida por el PCC extrapolándolo a una hectárea.

Al material podado se le determinó el peso seco en un horno por 48 horas a 65 grados C°. Las muestras secas fueron analizadas en el laboratorio de CATIE donde se determinó su contenido de nutrientes. Para determinar la cantidad de nitrógeno aportado por la biomasa producto de poda se asumió que un 50 % del nitrógeno aportado de esta manera procedió de fijación simbiótica, determinado a partir de datos de diferentes autores para especies leguminosas arbóreas en el trópico, algunos de ellos han asumido que un 30% del total del N presente en la planta proviene de fijación simbiótica en especies como *Inga edulis* (Leblanc *et al.* 2005) y *Leucaena diversifolia* (Schlecht.) Bentham, *Calliandra calothyrsus* (Meissn.) and *Erythrina abyssinica* (Lam.).(Snoeck *et al.* 2000). No obstante otros estudios han presentado como la variación en la tasa de fijación varía enormemente inclusive entre mismos genotipos de especies incluso el trabajo de Sanginga *et al.* (1990) destaco variaciones incluso de 37 a 74 % en *L. leucocephala* y de 6 a 37% en *A. albidia*. Para Smaling y Stoorvogel (1990) el 60 % del nitrógeno tomado por las plantas leguminosas podría ser producto de fijación simbiótica, sin embargo este es un rango variable y que podría ir desde 0 -60 % según Van Bodegom (1995). Este manera de cálculo puede conllevar a sobreestimaciones con respecto a lo que anteriormente se ha reportado en la literatura donde se mencionan cifras de no más de 60 kg/ha/año; sin embargo investigaciones recientes realizadas por Leblanc y Nygren (comunicación personal) sugieren que los métodos antiguos de medición de la fijación simbiótica (método de reducción de acetileno) subestimaban. Ellos en su investigación aun sin publicar a la fecha presentan rangos de fijación por especie de alrededor de 50%.

Entrada por aporte de estiércoles

Se calculó a partir de un submodelo del modelo Nutmon el cual estima un valor de aporte de estiércol por animal, tomando en cuenta el tipo de animal, sus requerimientos nutricionales diarios, el tiempo efectivo que pasa en determinada unidad de producción y la fracción

excretada en relación con el consumo total de alimentos, información que ya viene incorporada dentro del modelo. La información recopilada fue la de tipo de animales presentes y en que unidades de producción pasan y cuánto tiempo ya sea de día o de noche.

Estimación de las salidas del sistema

Salida por lixiviación

La lixiviación de N se calculó en función de las ecuaciones desarrolladas por Smaling y Fresco (1993), las cuales son una expresión en función de las cantidades de fertilizantes aplicados y la cantidad de nitrógeno del suelo mineralizado en los primeros 20 cm, variando la constante de cálculo en función del porcentaje de arcilla en el suelo y la precipitación anual media (Cuadro 10), ecuaciones con las cuales el NUTMON calcula de manera estándar los flujos difíciles de estimar.

Cuadro 10 Ecuaciones de Smaling y Fresco (1993) para el cálculo de lixiviación del nitrógeno según el contenido de arcilla en el suelo.

% de Arcilla	Ecuación
C < 0,35	$(Nm+Na)*(2,1 \times 10^{-2} * P - 3,9)$
0,35% < C < 0,55%	$(Nm+Na)*(1,4 \times 10^{-2} * P + 0,71)$
C > 0,55%	$(Nm+Na)*(7,1 \times 10^{-3} * P + 5,4)$

Nm: cantidad de nitrógeno mineralizado en los primeros 20 cm de suelo; Na: cantidad de fertilizantes aplicados en forma de abonos orgánicos o biomasa arbórea; P: precipitación anual (mm/año); y C: contenido de arcilla del suelo (porcentaje).

La lixiviación de potasio se determinó como una función de la fracción de K intercambiable del suelo más el K en forma de fertilizante aplicado (Smaling 1993) el total lixiviado fue calculado como una función del porcentaje de arcillas del suelo y la media de la precipitación anual (Cuadro 11).

Cuadro 11. Relación del porcentaje de arcillas en el suelo para la determinación de la fracción lixiviada de potasio.

% de Arcilla	Ecuación
C < 0,35	$(Ke+Kf)*0,00029 * P + 0,41)$
0,35% < C < 0,55%	$(Ke+Kf)*0,00029 * P + 0,26)$
C > 0,55%	$(Ke+Kf)*0,00029 * P + 0,11)$

Ke: K intercambiable (cmol/kg); Kf: cantidad K aplicado en forma de abonos orgánicos; P: precipitación anual (mm/año); y C: contenido de arcilla del suelo (porcentaje).

En el caso de fósforo se asumió que la pérdida por lixiviación es cero.

Salida por cosecha de cultivos

Para los nutrientes extraídos por la cosecha se realizó una revisión de literatura para calcular la cantidad de nutrientes extraídos por la cosecha según el producto.

Nutrientes extraídos por la cosecha= Cosecha (kg/ha)*fracción de nutrimento presente en el producto cosechado, que en el este caso se consideró solo la almendra ya que la mazorca o concha es dejada dentro de las parcelas al momento de la cosecha.

Salidas por pérdidas gaseosas

La pérdida gaseosa consiste de dos partes; N gaseoso perdido desde el suelo y pérdidas de N de los abonos aplicados en la parcela.

Se calculó en función del porcentaje de arcilla y la precipitación mediante la fórmula:

$$\text{Pérdida N gaseoso del suelo} = (N_m + N_a) \times (-9.4 + 0.13 \times C + 0.01 \times P)$$

Dónde:

N_m = N mineralizado en la zona de las raíces (kg/ha);

N_a = N aplicado en forma de abonos y hojarasca (kg/ha);

C = contenido de arcillas (porcentaje);

P = precipitación media anual (mm/año).

Salidas en residuos de cosecha o uso para leña

Se determinó con información suministrada por los productores en los cuestionarios, calculando la cantidad de nutrientes en la fracción del total de la biomasa a partir del peso seco extraída como residuos de cosecha del sistema y que iría al exterior o a otra unidad de producción. El contenido de nutrientes se asumió de acuerdo a la base de datos del modelo Nutmon para los diferentes productos extraídos de la parcela.

Calculo del balance general

Se calculó un Balance Total y uno Parcial para cada una de las parcelas evaluadas, el parcial muestra la información de lo que representa un balance a portón con información suministrada directamente por el productor en cuanto a cosecha promedio por año; mientras que el total

tomo en cuenta los flujos difíciles de estimar y que se generaron producto de las formulas. Los balances se conformaron a partir de la suma de entradas menos la suma de las salidas las cuales para la determinación del balance parcial o total varian como se puede observar al final del Cuadro 12. Para el cálculo de los balances en las parcelas de cacao no se consideró la pérdida ocasionada por erosión la cual fue desestimada por tratarse de un sistema agroforestal con múltiples estratos y con una amplia cobertura de suelo de hojarascas y malezas.

Cuadro 12. Codificación del flujo de entradas y salidas; y su método de estimación.

Código	Flujo	Método de estimación
Entradas		
DNS(N,P,K)	Disponibilidad inicial de reservas de nutrientes del suelo al momento del monitoreo:	Análisis de de suelos (N, P, K)
En1:	Entradas por enmiendas orgánicas o fertilizantes químicos	Cantidad de producto en kg por la concentración de NPK presente en el producto(según análisis de laboratorio y revisión de bibliografía)
En2:	Entrada de estiércoles	Se estimará a partir de la cantidad de animales que pastorean en la parcela de cacao, estimando la cantidad de materia seca que aporta cada uno de ellos, multiplicado por sus contenidos de nutrientes (visita a acampo y revisión de literatura)
En3:	Entradas por deposiciones húmedas y secas	Según ecuación de regresión propuesta por Stoorvogel y Smaling 1993
En4:	Entrada por fijación simbiótica y no simbiótica de nitrógeno	
En4a:	No simbiótica (FijNsim)	Según ecuación de Smaling 1990. $A=2 + (P-1350)*0.005$).Donde A son kg N ha ⁻¹ año-y P son los mm de lluvia al año.
En4b:	Simbiótica (FijSim)	Total demandado (cosecha +residuos de cosecha) * fracción obtenida por fijación. La fracción se asumió en un 50%.
Salidas		
Sal1:	Extracción por cosecha de cultivos y forestales (Cos)	Nutrientes extraídos por la cosecha= Cosecha (kg/ha)*fracción de nutrimento presente en el producto cosechado. Según niveles de producción de cada parcela y revisiones de bibliografía de extracción de nutrientes de cultivo en diferentes edades.
Sal2a:	Salidas en residuos de cosecha (Res.cos)	Se calcula a partir de la encuesta realizada al productor del uso de residuos de cosecha para

		preparar abonos o uso de leña para el hogar o para venta.
Sal2b:	Salidas por estiércoles	Se calculó a partir de la encuesta realizada al productor
Sal3:	Salida por lixiviación (Lix)	Se calculará en función del porcentaje de arcilla en el suelo y la media de la precipitación anual. A partir de ecuación de Smaling 1993.
Sal4.	Desnitrificación (Des)	Se estimara a partir de la ecuación: $Des=(Nm + Na) \times (-9.4 + 0.13 \times C + 0.01 \times P)$
Ecuaciones de cálculo de los balances totales y parciales		
Balance total		
Suma DNS+(En1+En2+En3+En4+En5)-Suma(Sal1+Sal2+Sal3+Sal4+Sal5)		
Balance Parcial		
Suma DNS+(En1+E2)-Suma(Sal1+Sal2a+Sal2b)		

3.7 Métodos estadísticos

Para la caracterización de los sistemas y sus componentes así como del manejo de los abonos orgánicos, se utilizó estadística descriptiva describiendo rangos, porcentajes y frecuencias.

En el caso de los balances de nutrientes se utilizaron análisis multivariados compuestos por:

- Análisis de conglomerados: para formar grupos de parcelas con similitud de acuerdo a características de manejo, y de suelo.
- Análisis de la varianza: Para determinar diferencias estadísticamente de balances de nutrientes entre los conglomerados formados y determinar el peso o importancia que tendría determinada variable en si un balance era positivo o negativo.
- Análisis de componentes principales (Biplot): para determinar las correlaciones entre las variables estudiadas y con los grupos de parcelas que mostraban balances totales y parciales (negativos o positivos).

3.8 Análisis de sensibilidad

Se utilizó una metodología producto del trabajo del proyecto “*Spatial and temporal variation of nutrient stocks and flows in Kenya*”(VARINUTS) que estudió la variación en tiempo y espacio de la disponibilidad de nutrientes del suelo a nivel de finca en África mediante el uso del modelo NUTMON (Varinuts 1999), este realizó un análisis de sensibilidad con los

parámetros y variables con que trabaja el NUTMON y cuya metodología fue facilitada por el coordinador del proyecto por comunicación personal Joost Vlaming (Co-Desarrollador del programa Nutmon).

El uso del NUTMON para calcular el balance de nutrientes en un cultivo o a nivel de finca siempre existirá la incertidumbre sobre el resultado final y la probabilidad del rango de salida será desconocida, sin embargo cuando la predicción sobre la sostenibilidad a largo plazo es requerida es necesario conocer un rango posible de valores de la pérdida o ganancia de nutrientes; conociendo que factores tienen la mayor influencia en el resultado final dando la posibilidad de alcanzar mejores resultados en menos tiempo enfocando los esfuerzos en aquellos procesos que determinan más en el resultado final (Varinuts 1999).

Por lo tanto para el análisis de sensibilidad se identificaron los parámetros que contribuyen más a la variación en la salida del modelo, y se identificó su influencia en la salida del modelo, de la siguiente forma:

- Las fuentes de variación por flujo de nutriente fueron identificadas; y los parámetros relevantes fueron seleccionados e identificados, clasificándose en flujos difíciles (calculados con fórmulas), flujos de sub modelo (estimación de las deposiciones de estiércoles por los animales) y flujos fáciles de determinar (información suministrada por los productores).
- El análisis de sensibilidad se condujo con los parámetros seleccionados en orden de conocer aquellos que más influían en el resultado final
- Se efectuaron estimados en la variación en cada uno de los parámetros seleccionados al añadir y disminuir cada parámetro en un $\pm 10\%$ en los parámetros dentro de cada ecuación..
- Se calculó la variación absoluta y relativa en que los parámetros afectan el balance de nutrientes según el valor original.

Para el análisis de sensibilidad se utilizó la metodología de Vlaming S.F., facilitada por el autor para la realización de este estudio. A continuación se describe esta metodología.

Selección de parámetros para el estudio

Para analizar la precisión en el estudio se rastrearon las fuentes de incertidumbre en los diferentes flujos de entrada y de salida con el fin de determinar cómo variaciones en los rangos

de las variables de entrada se propagan en el resultado final de los balances, tarea nada sencilla como menciona Vlaming S.F por la existencia de múltiples flujos e interacciones asociadas a las variables. El análisis de sensibilidad pretende rastrear estas fuentes de error para futuros trabajos y determinar cuáles son las que deberían ser tomadas con mayor importancia así como el cálculo de rangos en los que las variables se mueven para demostrar cómo afectan el resultado absoluto y relativo del balance de nutrientes a través del conocimiento y disgregación de las diferentes fuentes de variación como se describen a continuación.

Disgregación de las fuentes de variación

Los flujos de nutrientes en el NUTMON fueron divididos en tres tipos:

1- "*flujos fáciles*": flujos cuyo tipo y cantidad de material fueron reportados por el productor

En 1: aplicaciones de fertilizante mineral

En 2: aplicaciones de fertilizantes orgánicos

Sal 1: cosechas de productos

Sal 2: manejo de los residuos de cosecha

2-*Flujos de sub-modelo*: flujo que no fue reportado por el productor pero que fue calculado por medio de sub modelos del NUTMON con información provista por el productor como cuantos animales tiene es su finca, con qué y con cuanto los alimenta así como en donde pasan en el día y la noche.

En 2b: Entrada de estiércol producto de pastoreo

3 *Flujos difíciles*: flujos que usualmente no son observados directamente, y fueron calculados con sub modelos a partir de fórmulas derivadas de estimaciones y datos de literatura.

En 4: Fijación biológica de nitrógeno

Sal 3: Lixiviación

Sal 4: Desnitrificación

A continuación se describe como cada uno de estos flujos presentan diferentes grados de variabilidad y cuyo conocimiento permite entender mejor los flujos y las fuentes de error, con el objetivo de planificar mejor futuras investigaciones en un sistema orgánico como el que se estudió.

Flujos a partir de mediciones en campo

Reporte del productor

Este fue probablemente una de las variaciones más difíciles de medir ya que las cantidades reportados por el productor pueden diferir de un valor real por varias razones entre ellas como cita Vlaming (comunicación personal)

- .No tienen una idea clara de que reportar (de donde y en qué periodo)
- Olvido las cantidades o no se da cuenta que las ha movido
- No logra cuantificar cantidades o la cantidad destinada entre varios destinos
- Del todo no quiso reportar las cantidades de cosecha o número de animales en su finca.

También muchas veces el productor no está consciente de la importancia de ciertos de los productos de su finca en términos de nutrientes y no ve importante reportar ciertos productos.

Algunas veces el que contesta las preguntas no esta tan familiarizado con el manejo de algunas actividades de la finca y puede no estar seguro de las cantidades de materia que se mueven y de ciertos flujos

El no reportar las cantidades reales se explica por el factor universal de que la mayoría de las personas no les gusta dar información de asuntos financieros a menos que sepan que esos reportes sean devueltos a ellos y que tengan la certeza de que serán confidenciales y que no serán utilizados contra ellos en asuntos como pagos de impuestos (Vlaming comunicación personal)

Unidades de medida

Otra medida de variación es la forma de usar unidades locales de medida y se debe estar con certeza de cuáles son estas unidades y su debida calibración para trabajar con unidades estándar para presentar específicamente el peso en kg. Los pesos pueden diferir si estos se presentan en diferentes unidades. Se debe tener cuidado ya que muchas veces una misma unidad local de medida no siempre corresponde al mismo peso o volumen y son localmente diferentes (Vlaming S.F.). En el estudio se trabajó con la unidad de quintal que equivales a 100 lb, o sea 45.36 kg, medida trabajada uniformemente para el reporte general de cantidades de cosecha, cantidad de ingredientes aplicados en la cosecha y residuos de cosecha.

Peso seco

El peso seco es otra fuente de variación ya que el cálculo de los flujos de nutrientes se hace en base del producto seco originado de una cantidad de producto fresco reportado por el productor. Y en ese caso se utilizó un promedio de peso seco para cada material ya que sería imposible medir por separado cada producto la variación se originaría por la gran variación que surgiría dependiendo del tiempo de cosecha y tiempo de secado de los productos. Como por ejemplo las semillas de cacao donde cada productor las secaba y consideraba lista cuando tenían entre un 28-30 % de humedad y este lo estimaban según su conocimiento local.

Contenido de nutrientes

La concentración de nutrientes en los materiales es variable, muchas veces influenciado por manejo, por ejemplo el tiempo de cosecha, el nivel de fertilización, el tipo de cultivar; en el caso de los estiércoles dependería del tipo de dieta, cantidades residuos mezclados con el estiércol y el tiempo y métodos de almacenamiento. De la misma manera se trabajó con promedio de contenido de nutrientes de los materiales a partir de revisión de literatura para los diversos productos.

Fertilizantes minerales

En este caso no se presentó necesidad de su estudio ya que el 100% de los productores ninguno utiliza una fuente mineral para fertilizar sus campos.

Abonos orgánicos

Entradas orgánicas fueron reportadas con unidades locales de peso (quintal), y sus contenidos de nutrientes así como su peso seco son altamente variables, y a partir de muestras de los abonos representativos se estimó un promedio de aportes, sin embargo no se determinó su variabilidad en el análisis de sensibilidad debido a que las cantidades aplicadas en promedio por los productores eran muy pequeñas.

Nutrientes removidos en la cosecha

Las cosechas fueron medidas en unidad local (quintal) y los contenidos de nutrientes y materia seca fueron uniformizados para facilitar análisis mediante las revisiones de literatura.

Flujos de sub modelo

Nutrientes que entran y salen por pastoreo de animales

Son el resultado del cruce de animales por diferentes unidades de la finca. Se asumió que ningún nutriente es importado o exportado si el animal tiene tasas constantes de consumo; por ejemplo en las parcelas estudiadas se estimó como ingreso importante el pastoreo de gallinas dentro de los cacaotales sin embargo si no se hubiera determinado que los productores casi en su mayoría alimentan a estos animales con parte de cosecha de maíz este no se podría considerar como ingreso en el sistema de cacao ya que se estarían alimentando con nutrientes del mismo cacaotal. El NUTMON diferencia entre las fracciones que consume y la fracción que excreta haciendo relaciones entre las cantidades que consume y que excreta de día y de noche y en qué lugar de la finca produciría las excreciones en determinado periodo del día, reduciendo la variación. La información utilizada surgió de preguntas al productor de número de animales, donde pastoreaban, tiempos de pastoreo y ubicación de ellos dentro de la finca.

Flujos difíciles

La variación encontrada en los flujos difíciles se originó por variaciones en clima, y propiedades del suelo. Estas variaciones fueron tomadas en cuenta para los diferentes parámetros según el flujo aumentando o disminuyendo en 10% el parámetro o la variable.

Deposición atmosférica

Flujo de deposición de nutrientes que depende de la lluvia, y no incluye características específicas de la finca. La variable o parámetro a analizar fue la media de la precipitación anual.

Fijación biológica de nitrógeno

La fijación simbiótica depende de variables como tipo de cultivo, inoculación, el nivel de fertilización, la precipitación y la cantidad de N fijado por esa especie en un rango de 0 - 80% del total de nitrógeno tomado por la planta, el modelo utilizó una cantidad definida de N fijado (%) según el tipo de cultivo multiplicado por la cantidad de nitrógeno tomado por la planta. Para fijación no simbiótica el parámetro a analizar es solamente precipitación media anual.

Lixiviación

La lixiviación es un proceso muy local que depende del nivel de fertilización, la humedad y el estatus inicial de fertilidad del suelo. También de las características físicas del suelo.

Desnitrificación

Perdidas por desnitrificación asociada a la humedad del suelo y ocurre a un nivel muy local y en suelos que no están saturados.

Selección de parámetros para el análisis de sensibilidad

Basados en la discusión de los diferentes flujos de entrada y salida, se escogieron los siguientes parámetros que influyen en la estimación de los nutrientes en el sistema de cacao:

Parámetros seleccionados para el análisis de sensibilidad:

Cultivo:

- NFI: fijación de nitrógeno (% of N-tomado por el cultivo)
- # arboles leguminosos presentes P*

*Se calculó en base en ± 10 árboles leguminosos en la parcela

Animales

- EXCR: fracción excretada por las gallinas en pastoreo

*Se calculó en base en ± 10 gallinas

Suelo:

- DA: densidad aparente (kg/m^3)
- ARC: contenido de arcilla (%)
- N: N (%)

- KINT: K intercambiable (meq/100g)
- TMIN: Tasa de mineralización (%.año⁻¹)

Clima:

- PREC: precipitación media anual (mm año⁻¹)

⁽¹⁾: Fertilizantes orgánicos fueron excluidos al ser las cantidades aplicadas muy bajas no afectando significativamente los balances

El análisis de sensibilidad se llevó a cabo en las 35 parcelas estudiadas con los parámetros seleccionados modificando el parámetro en $\pm 10\%$ en módulos separados según el flujo de entrada y de salida tomando en cuenta los flujos diferentes en los cuales ese parámetro tenía influencia y siendo aditivo al balance final (NPK kg.ha⁻¹).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de los sistemas productivos

Las fincas estudiadas están ubicadas entre los 217 y los 693 msnm, con una pendiente relativamente homogénea entre el 30-35%, con suelos Ultisoles, con bajo suplemento de bases considerándose de baja calidad y poco fértiles (Lathwell y Grove 1986). El tamaño promedio de las fincas fue de 11,9 ha (Cuadro 13), muy similar al promedio estimado por el PCC de 14,16 ha (Catie 2009b). Los principales cultivos producidos son el cacao (*Theobroma cacao*), maíz (*Zea maíz*), frijol (*Phaseolus vulgaris*); cultivos que según el PCC representan el 37 % de los ingresos dentro de la finca; y diversas variedades de pastos.

Cuadro 13. Características de las fincas estudiadas en Waslala, Nicaragua.

Característica (n=35)	Media \pm (desv.est)	Min	Max
Promedio de área fincas (ha)	11,9 \pm 8,5	1,6	35,0
Cultivos	Cacao, maíz-frijol, café, caña, yuca		
% área cultivada (%)	79,2 \pm 21,4	25,6	100
Altitud (msnm)	394,8 \pm 176,3	217	693
Pendiente (%)	32,9 \pm 5,14	16	44
Suelo (tipo principal)	Ultisol		
Manejo ganado	Pastoreo libre potrero		

La relación de área cultivada con el área total de la finca en promedio es alta (79,2 %), siendo más intenso en las fincas pequeñas (88,9%) (Cuadro 14), lo que refleja un uso intensivo del área, explotándose casi la totalidad de la finca para actividades agrícolas. Siendo el área destinada a los potreros de más de la mitad de la totalidad de la finca (50-60%), llegando las fincas grandes a más de 12 ha, lo que destaca la importancia del componente animal en estos sistemas. Este componente animal tiene un alto potencial para el manejo de nutrientes dentro de la finca.

Cuadro 14. Tamaños de finca, área cultivada y relación con tamaño de potreros (%) n=35

Tamaño de las fincas (ha)	Área cultivada (%)	Prom. área potrero (ha)	Relación área total/área potrero.
Pequeñas			
1 a 4	88,4	0,39±0,6	13,8
4 a 8	88,9	1,89±1,6	31,9
8 a 12	56,8	4,48±2,6	43,9
Medianas			
12 a 16	79,4	7,9±2,1	54,8
16 a 21	79,2	9,8±3,7	50,3
Grandes			
>21	75,5	18,7±4,0	60,1

En cuanto a la posesión de la tierra en el 100% de los casos es propia. Y el 90 % de los productores entrevistados depende casi exclusivamente de su finca. El PCC (2009) reporta además que la mitad de este ingreso depende del cultivo de cacao.

El número de miembros de las familias en estudio, rondó en promedio en las 4 personas, mientras datos del PCC (2009) reportan una media de 6,7 personas (Cuadro 15).

Cuadro15 Estructura demográfica de los hogares (% del total de respuestas) en las parcelas estudiadas de Waslala, Nicaragua

VARIABLES	Perfil	%(n=35)
Edad	0-20	40,1
	21-40	21,9
	41-60	35,9
	> 60	2,5
Genero	Hombre	64,8
	Mujer	35,2
Número de miembros	4 ±1,24	
Tipo de hogar	Hombre cabeza de hogar	91,4
	Mujer cabeza de hogar	8,6
Posesión de la tierra	Propia	100
Dependencia ingresos	Propia finca	94,3

Descripción de los componentes

4.1.1 Unidades de producción primarias

Las unidades de producción primaria características en la región son potrero (100% de los productores tienen potrero), maíz (*Zea maíz*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) (80%), SAF café (*Coffea arábica*) (43%), además de otros cultivos de menor importancia por su extensión que fueron: malanga, yuca, caña y arroz (Cuadro 16). Se observó cómo casi la mitad de los productores (48,5 %) mantienen pequeños parches de bosque con la finalidad de conservar fuentes de agua presentes en sus parcelas. También muchos de ellos utilizan tierra virgen del bosque como ingrediente en las composteras. Estas unidades junto con el SAF cacao presentan un escenario de una agricultura de subsistencia diversificada, donde de la finca los productores obtienen diferentes productos tanto para su alimentación como para la alimentación de los animales, y les permite obtener ingresos de productos como el maíz, frijol, café y cacao. Como se nota en este tipo de agricultura se basa en la existencia de múltiples cultivos manejados de forma diferente, pero como menciona Giller *et al* (2006), debido a la poca disponibilidad de recursos como mano de obra o nutrientes son altamente interdependientes entre ellos.

Cuadro 16. Cultivos presentes y áreas de las Unidades de producción primaria (UPP) presentes en los sistemas productivos (n=35).

Tipo UPP	n	%	Área promedio (ha)	min	Max
Potrero	35	100			
0,5-4	18	51,4	1,45±0,91	0,5	3,5
5-11	11	31,4	7,51±1,69	5,60	10,5
>11	6	17,1	15,87±4,03	12,60	21,0
Maíz-frijol	28	80,0	1,52 ±1,80	0,50	3,5
Bosque	17	48,5			
1-3	10		0,99±0,6	0,20	2,10
3-7	4		5,0±1,5	3,5	7
>7	3		10,0±1,4	8,4	11,2
SAF Café	15	42,9	1,02 ±0,93	0,25	3,50
Arroz	4	11,4	0,64 ±0,56	0,20	1,40
Caña	1	2,9	0,70	0,70	0,70

4.1.2 Unidades de producción secundaria

En la región se encontraron cuatro tipos principales de unidades de producción secundaria que corresponden vacunos, cerdos, y gallinas; y con menor frecuencia una especie ovina localmente llamada pelibuey. En general son unidades pequeñas con menos de 3 cerdos (69,6% de las fincas), 10 vacas o 20 gallinas (Cuadro 17). El producto de consumo de estas unidades de producción secundarias es destinado en mayor grado para consumo familiar y una pequeña proporción se utiliza para la venta de huevos y leche en forma de cuajada. La alimentación de los animales se da con sub productos mismos de la finca (residuos de cosecha, guineos) y parte de la cosecha de maíz, en el caso de fincas con muchas gallinas.

Cuadro 17. Composición de unidades secundarias de producción (pecuarias) en las fincas estudiadas Waslala, Nicaragua.

Tipo y cantidad de animales por finca	n	%	Promedio del número animales
Cerdos	23	91,4	
1-3	16	69,6	2,0±0,7
4-6	5	21,7	5,2±0,8
>6	2	8,7	9,0±1,4
Gallinas	34	97,1	
0-20	15	45,8	12,9±6,1
20-40	11	31,4	29,09±4,3
40-60	6	17,1	49,5±6,12
>60	2	5,7	100
Ganado vacuno	31	88,5	
1-5	12	38,8	3,0±1,5
6-10	10	32,2	7,3±1,6
11-15	7	22,5	13,4±1,8
>15	2	6,5	22,5±0,7
Pelibuey	3	8,6	
1-2	2	66,7	1,5±0,7
>3	1	33,3	17

4.1.3. Unidad de producción primaria: el cacaotal

Los cacaotales son parcelas adultas (promedio 19 años) (Cuadro 18), con poco manejo, y podrían requerir un proceso de regeneración o rejuvenecimiento. Los árboles de cacao presentaban una altura promedio de casi 4 m, la densidad de siembra varía desde 310 hasta 980 árboles por hectárea, siendo la densidad promedio de 658 árboles/ha (fincas con manejo intensivo tienen en promedio 1100 árboles de cacao/ha, sembrado a 3 x 3 m). El porcentaje de sombra en los cacaotales en promedio fue de 77 % (Cuadro 18), mientras que lo recomendable es de 20 al 40 % de sombra en forma regular (Gramacho *et al.* 1992; Enriquez 2003; Arévalo *et al.* 2004). Lo que limita la expresión del potencial productivo del sistema, dado que como menciona Somarriba (2004), el rendimiento de una planta de cacao es determinado por el equilibrio entre la cantidad de radiación solar que recibe y por la fertilidad (natural o artificial) de que dispone, por lo tanto altos rendimientos serán posibles con altos niveles de radiación solar (poca sombra) y elevada fertilidad del suelo, o en caso de suelos de baja fertilidad, como menciona Beer (1987) se recomienda mantener el cacao bajo sombra para atenuar las necesidades nutricionales del cultivo.

Cuadro 18. Características de los sistemas agroforestales de cacao de Waslala, Nicaragua.

Variable	n	Media	Mín.	Máx.
Edad cacao (años)	35	19,09±4,67	8,00	35,00
Altura cacao (m)	35	3,99±0,46	3,37	5,31
Densidad siembra (#/ha)*	35	658,86±139,36	310,00	980,00
Sombra (%)	35	77,06±10,47	50,13	92,14
Área parcela (ha)	35	1,7±0,9	0,70	3,50

Las principales prácticas de manejo que realizan productores son las podas del cacao (81,5%), al menos una vez al año, en los meses de mayo o junio a la salida del verano e inicio de la estación lluviosa, seguido por las chapias (76%), practicada generalmente cada 4 meses; y la regulación de las especies de sombra (64%), igualmente una vez al año, al realizarla poda de cacao, esto con la finalidad mencionada por los productores de reducir la humedad en los cacaotales en los meses de lluvia previniendo enfermedades (Cuadro 19).

Llama la atención que el 54,5 % de los productores menciona realizar manejo de enfermedades, siendo esta práctica de manejo que más correlaciona con rendimiento, ya que en una plantación de cacao no atendida puede perder incluso el 95% de los frutos la moniliasis (Aprocacaho 2003). La moniliasis fue problema mencionado por los propios productores como el que más afecta la producción (Cuadro 20). Los que mencionan realizar la desmonilia la realizan generalmente cada 15 días (Cuadro 19). El seguir estas actividades de manejo ha conllevado posiblemente a que los productores de esta región tengan rendimientos un poco mejores que el resto de Centroamérica (CATIE 2007).

La cosecha presenta dos picos durante el año en los meses de octubre a diciembre y en los meses de marzo a abril, aunque el cacao produce durante todo el año y los productores en general están constantemente ingresando al cacaotal para cosechar, los residuos de cosecha o la concha de cacao es dejado en las parcelas en un montón.

Cuadro 19. Actividades de manejo empleadas por los productores en las parcelas de cacao (%) en la zona de Waslala, Nicaragua.

Actividad	% Frecuencia								
	% aplica	c/8 días	c/15 días	Mensual	c/2 meses	c/3-4 meses	1 año	al 2 años	Cada 2 años
Poda cacao	81,8	-	-			-	81,5	14,8	3,7
Chapia	75,8	-	-			68,0	-	32,0	
Reg. sombra	63,6						76,2	23,8	
Abona	74,3	-	-				85	10	5
Deschupona	57,6	-	-	68,5	26,3		-	5,2	
Desmonilia	54,5	33,3	61,2	5,5			-	-	
Aplica cal	15,2	-	-	-	-	-	100	-	-

Entre los problemas para la producción mencionados por los productores se encuentran el control de plagas y enfermedades (90-100%) seguidos por las pérdidas por robos y mucho menor grado el manejo de la fertilidad y el control del viento (Cuadro 20). En cuanto a las enfermedades principales mencionadas por los productores son la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y mazorca negra (*Phytophthora palmivora*); y en cuanto a las plagas mencionaron como la principal a las ardillas. Cabe destacar que solo el 9,1% mencionaron como problema la fertilidad de sus cacaotales y ello porque consideran que con las practicas que realizan de uso de abonos orgánicos y el aporte hecho por la caída de hojas y los residuos de podas de los arboles presentes en sus parcelas satisfacen las demandas de nutrientes de sus cultivos.

Cuadro 20. Principales problemas mencionados por los productores que afectan la producción de cacao.

Problema de la producción de cacao	% de productores que le mencionan
Enfermedades	100,0
Plagas	90,9
Robos	21,2
Fertilidad	9,1
Viento	3,0

4.1.4 Componente arbóreo en el cacaotal

Entre las especies arbóreas que con mayor frecuencia se presentan en las parcelas estudiadas están el laurel (véase nombres científicos en Cuadro 21) principalmente (68,6%) seguido de muchas otras especies maderables (Guayabon, Chaperno, Cedro, Guácimo), productos posiblemente de regeneración natural o remanentes de bosques en las parcelas y destinadas

para madera (Cuadro 21). También se observaron diversos árboles frutales como mandarina, mangos, naranjas y destacándose la presencia de bananos en el 88,6% de las parcelas, utilizado tanto para la alimentación humana como de animales, y en algunos casos para venta. También se encontraron diversos tipos de guaba utilizadas como sombra y como fijadoras de nitrógeno, encontrándose la Guaba colorada (*Inga vera*) en casi la mitad de las parcelas visitadas (54,3%). Esta es la especie más importante económicamente del género *Inga* porque crece bien en suelos ácidos, produce frutos consumibles y suministra leña además de tener la capacidad de fijar nitrógeno (Hands,1998; León, 1998) citados por (Leblanc *et al.* 2005).

Cuadro 21. Tipo, uso y frecuencia de las principales especies arbóreas presentes en el SAF cacao en Waslala, Nicaragua (% de cacaotales con la especie presente). (Datos suministrados por el PCC)

Nombre local	Nombre científico	# arboles promedio/ha	Usos	%
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	35	Madera-sombra	68,6
Guayabon	<i>Terminalia oblonga</i>	20	Madera-sombra	20,0
Acacia	<i>Cassia siamea</i>	10	Madera-sombra	14,3
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	10	Madera-sombra	14,3
Chaperno	<i>Albizia adinocephala</i>	10	Madera-sombra	11,4
Guácimo	<i>Luehea seemannii</i>	13	Madera-sombra	11,4
Guineos	<i>Musa</i> sp		Frutal-sombra	88,6
Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i>	90	Frutal	25,7
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	20	Frutal	22,9
Mango	<i>Mangifera indica</i>	30	Frutal	22,9
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	30	Frutal	14,3
Guana colorada	<i>Inga vera</i>	18	Sombra	54,3
Guaba ceniza	<i>Inga bracteifera</i>	21	Sombra	31,4
Poró	<i>Erythrina</i>	20	Sombra	25,7
	<i>poeppigiana</i>			
Guaba negra	<i>Inga punctata</i>	55	Sombra	17,1
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	14	Sombra	14,3

En el diagnóstico realizado por el CATIE en la zona en el 2009 se identificaron 4 tipos básico: musáceas, especies maderable, frutales; y especies leguminosas, según el PCC con un promedio de 4,4 especies de sombra por ha (Catie 2009b). En maderables la cantidad que más se encontró fue entre 30-100 árboles/ha con un 45,7% de las parcelas, una pequeña cantidad de productores (6) presentaban de 200 a 400 árboles/ha, destinados a la producción de leña o madera En cuanto a los arboles leguminosos el 85,7 de las parcelas los tenían sin embargo se encontró que el 80% de esas parcelas tenía menos de 60 árboles /ha de leguminosos.

Las musas se encontraron casi en la totalidad de las fincas 85,7% (Cuadro 22), lo que difiere de lo encontrado por el PCC que tan solo reportó banano en 5% de las fincas. y como menciona PCC 2009 se utilizan como sombra temporal para el cacao, autoconsumo tanto de la familia como de los animales y un ingreso por venta a lo largo del año, el uso de este producto por parte de los productores es por lo tanto importante ya que representa una importante extracción de nutrientes principalmente de potasio, se reporta que para la extracción de 1000 kg de bananos se requieren de 5 kg de potasio, 2 kg de nitrógeno y 0,3 de fósforo (Naturland 2001).

Cuadro 22. Tipo y cantidad de especies del dosel de sombra en los cacaotales de Waslala, Nicaragua

Tipo y densidad	n	%	Cantidad media por ha
Pseudotallos			
Musa ha⁻¹			
0	4	14,3	0
10-50	7	20,0	24,3±12,7
50-100	2	14,3	82,8±19,7
100-150	3	14,3	123,3±23,0
150-200	4	11,4	175,00 ±12,9
200-400	3	8,6	310,0±95,3
400-600	4	11,4	485,0±60,0
600-900	2	5,7	825,0 ±7,0
Arboles maderables			
30-100	16	45,7	63,1±21,8
100-200	13	37,1	125,3±23,6
200-400	6	17,2	315,7±87,3
Arboles leguminosos			
0	5	14,3	0
10-20	15	42,9	16,0 ±5,0
30-40	4	11,4	35,0 ±5,7
40-60	4	11,4	55,0±5,7
60-80	5	14,3	76,0±5,5
Más de 80	2	5,7	105,0±7,1

4.1.5. Descripción de suelos de estudio

4.1.5.1 Propiedades físicas

La densidad aparente en las parcelas fue menor a 1 gr/cm³ lo que sugiere suelos con poca intervención humana y que no han sido mecanizados además de presentar un buen contenido de materia orgánica que como menciona Sanchez (1990) es el componente clave para un manejo sostenible de la tierra; y a la vez permitiría aumentar el almacenamiento de nutrientes en el suelo; existen diferentes estudios en el trópico que demuestran que la cantidad de nutrientes de un suelo se han incrementado por la adición de materia orgánica (Sandor 1995; Lima *et al.* 2002). Esto podría ser el caso de las parcelas en estudio las cuales muchas de ellas son fertilizadas con abonos orgánicos. Otro beneficio importante en agro ecosistemas con bajo uso de insumos externos incluye la retención y almacenaje de nutrientes en la materia orgánica debido al incremento de la capacidad de intercambio en suelos con baja actividad de arcillas (Bationo *et al.* 1998).

En el caso de las parcelas el promedio de arcillas resulto ser bajo (27,1 %), donde las bajas densidades aparentes bajas también 0,85 gr/cm³ en promedio (Cuadro 23), lo que sugieren además un buen desarrollo radical y facilidad en la penetración de las raíces, como menciona Silva *et al* (1977) citados por Gama Rodríguez y Zevallos (1991). Además a densidades mayores de 1,20 gr/cm³ disminuye el crecimiento de las raíces, con reflejos negativos sobre el desarrollo de la parte aérea y subsecuentemente reduciendo la producción (Cadima *et al* 1984) citado por Gama Rodríguez y Zevallos (1991).

Cuadro 23. Características físicas de los suelos en las parcelas de cacao.

Variable	Media
Dens.aparente (gr/cm ³)	0,85±0,11
% Arena	34,54±9,75
% Limo	37,56±5,33
% Arcilla	27,91±6,88

4.1.5.2 Propiedades químicas

Se encontró que los valores promedio para Ca (10,0 cmol(+)/kg), Mg (3,4 cmol(+)/kg) y K (0,48 cmol(+)/kg) (Cuadro 24) estos se encontraban dentro de los valores óptimos recomendados por la literatura para cacao. Este valor de potasio demuestra que estos suelos estarían en la capacidad de suministrar los requerimientos necesarios del cultivo, siendo este elemento el de mayor importancia para el cacao después del nitrógeno (Omotoso 1975; Enríquez 1985; Heuvel dop *et al.* 1988; Mejía 2000). El P por el contrario mostró un valor 4,75 ppm. Sin embargo, se debe mencionar que estos valores medios reflejan coeficientes de variación bastante elevados lo que nos dice que hay fincas con deficiencias pero otras no, como en el caso del mismo fósforo donde el valor mínimo encontrado fue de 1,2 y el máximo de 18,3 (CV 79,04). Los suelos en general no muestran problemas de acidez (0,07 cmol(+)/kg).

En cuanto a los micro elementos no se encontraron niveles óptimos para el cultivo de cacao sin embargo para Costa Rica Molina y Meléndez (2002) utilizan una tabla de interpretación de análisis de suelo que se utiliza de manera general que no establece diferencias por grupos de suelos ni cultivo (Bertsch 1995) utilizándola encontramos que los suelos de la región en cuanto a contenidos de (Cu, Zn, Mn y Fe) se encontrarían dentro de niveles óptimos.

Cuadro 24. Características químicas de los suelos en las parcelas de cacao.

	Variable	Media	D.E.	CV	Mín.	Máx.	Valor optimo
H ₂ O cmol(+)/kg	pH	5,9±0,3	0,05	4,99	5,3	6,9	6-6,5
	Acidez	0,07±0,04	0,01	56,8	0,05	0,22	(< 0,5)
	Ca	10,0±3,2	0,53	31,72	4,86	18,36	> 18
	Mg	3,4±1,12	0,19	3,38	1,53	6,62	> 2.1
	K	0,48±0,2	0,03	42,38	0,2	0,95	0.2-0,4
mg/kg	P	4,74±3,75	0,62	79,04	1,2	18,3	> 15
	Cu	6,79±2,55	0,42	37,48	2,3	3,2	1-20
	Zn	4,27±2,06	0,34	48,31	1,5	3,1	3-10
	Mn	20,51±11,37	1,89	55,41	6,3	53	10-50
	Fe	130,97±58,88	9,81	44,96	40	371	10-50
%	N	0,29±0,06	0,01	22,35	0,14	0,42	

Valores óptimos adaptados de Enríquez 1985 y Snoeck S.F.

4.1.6 Tipificación de los sistemas productivos

Luego de describir todos los sistemas productivos, estos se agruparon considerando tanto sus características biofísicas, o como características de manejo, para determinar si había diferencias entre los sistemas que pudiera explicar las variaciones en los balances de nutrientes.

Para esto se utilizó un análisis de conglomerados con todas las variables independientes de las parcelas en estudio tanto de suelo, de sitio y de manejo; se conformaron tres grupos de parcelas con diferencias significativas (prueba Hotelling, $p=0,0001$)

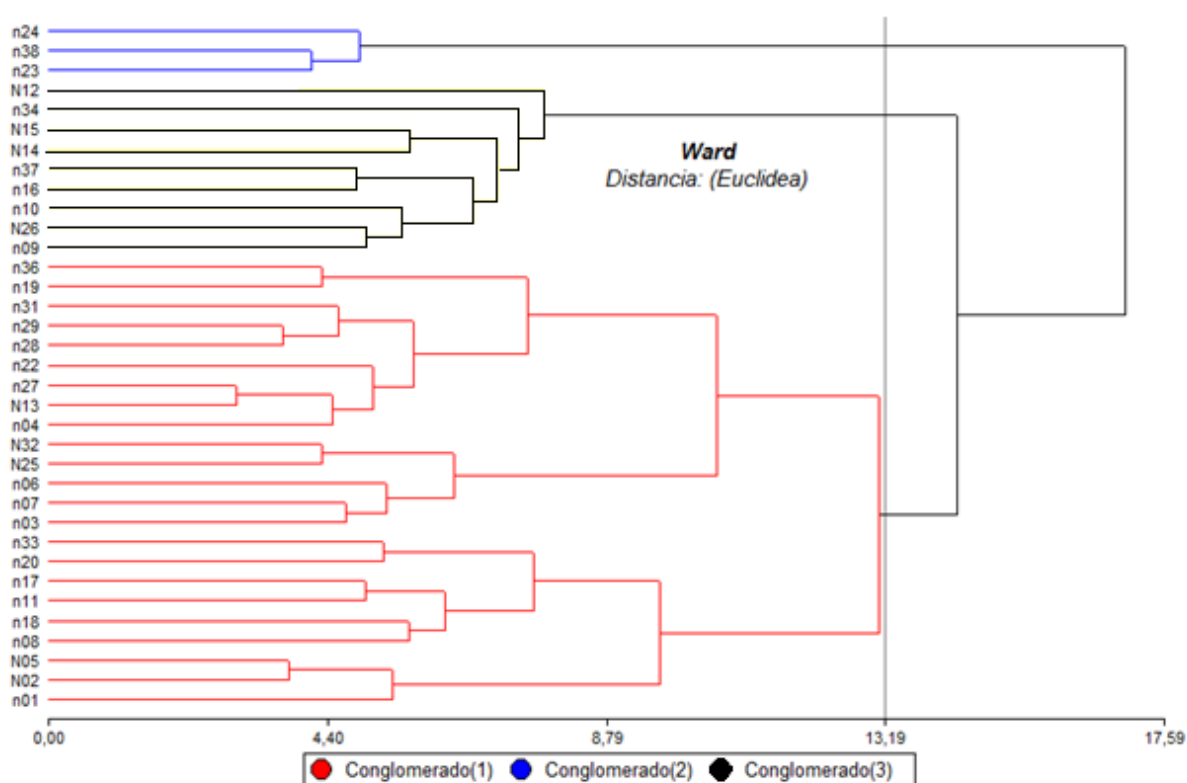


Figura 4. Dendrograma de los 3 sistemas evaluados en el municipio de Waslala, Nicaragua

Las variables o características que distinguieron los tres grupos formados fueron esencialmente las propiedades químicas de suelo entre ellas Ca ($p= 0,0001$), Mg ($p=0,0006$), % N ($p=0,0015$), K intercambiable ($p=0,0052$), y pH ($p=0,0480$); así como las propiedades físicas de % de limo ($p=0,0025$), % de arena ($p=0,0001$) y el % de arcillas ($p=0,0095$). Entre las propiedades de manejo que mostraron diferencias significativas para la conformación de los grupos están el

número de árboles leguminosos por hectárea ($p=0,0446$), y el % de sombra del dosel ($p=0,0122$). En cuanto a características de sitio la única que tuvo significancia fue la pendiente ($p=0,0032$) (Cuadro 25). Se observa además como no existió diferencias significativas entre los grupos de parcela en cuanto a rendimiento ($p=5072$)

Cuadro 25. Análisis de la varianza de las variables que conformaron los conglomerados

Variable	C1 n=23	C2 n=3	C3 n=9	Valor de p
Ca (cmol(+)/kg)	8,2±0,4b	14,7±1,0a	13,4±0,6a	0,0001
Mg (cmol(+)/kg)	2,7±0,2b	4,4±0,3a	4,6±0,5a	0,0001
P (mg/kg)	4,1±0,8a	6,8±2,1a	6,0±1,2a	0,2555
Rango_% N	17,9±1,5a	3,6±4,1b	23,0±2,4a	0,0015
pH	5,8±0,06b	6,3±0,2a	6,0±0,1ab	0,0480
Rang_K intercambiable	14,4±1,8b	30,3±5,0a	22,9±2,9a	0,0052
Densidad aparente kg/m ³	853,9±21,4ab	980,0±59,3a	795,6±34,2b	0,0364
% Arcilla	28,9±1,2a	17,1±3,4b	29,0±1,9a	0,0095
% Arena	31,8±1,5b	56,4±4,2a	34,4±2,4b	0,0001
% Limo	38,4±0,9a	27,8±2,6b	38,1±1,5a	0,0025
Área cacaotal(m ²)	1,9±0,2a	1,5±0,2a	1,5±0,2a	0,1859
Rang_#arb_legumin_ha	17,3±1,9ab	7,3±5,4b	23,4±3,1a	0,0446
Rango_# árboles_ha	17,9±2,0ab	7,5±5,7b	21,6±3,2a	0,1158
Rango_# de gallinas ha	17,3±2,1a	14,1±5,9a	20,9±3,4a	0,5442
Rang_Altura finca	16,4±2,0b	11,0±5,6b	24,3±3,2a	0,0637
Densidad cacao (arb/ha)	633,1±34,9a	680,1±31,9a	680,1±31,9a	0,3234
Rango_# musas/ha	17,0±2,1a	19,1±3,5a	22,5±6,0a	0,6520
Altura cacao (m)	3,92±0,1a	3,91±0,3a	4,2±0,1a	0,2956
Edad cacao (años)	21,2±1,0a	18,3±2,7a	23,1±1,6a	0,3197
Rang_Pendiente	18,2±1,9a	3,0±5,3b	22,5±3,0a	0,0122
% autosombra	74,7±2,1b	75,6±5,8ab	83,4±3,3a	0,1039
% sombra dosel	36,2±2,9b	30,9±8,2b	55,7±4,7a	0,0032
Rendimiento kg/ha/año	185,3±17,4a	228,7±48,4a	217,0±27,9a	0,5072

4.2 Abonos orgánicos

El uso de abonos es una práctica común entre los productores de Waslala pues el 74% de los productores entrevistados los aplican, prioritariamente compost (88,5%) y biofermentos (65%) (Cuadro 26). Esto es el resultado de la actividad en la región de la Organización no-gubernamental Promundo Humano por 5 o 6 años. Del 26% de los productores que no aplican mencionan que no ven la necesidad de utilizarlos y algunos de ellos sugieren incluso que aumenta la incidencia de enfermedades debido posiblemente por los altos contenidos de humedad en los abonos. El lombricompost que generalmente se menciona como un abono de

alta calidad es únicamente producido por un productor de la zona el cual ha logrado conservar sus lombrices mientras que otros productores mencionaron que las perdieron por ataques de hormigas cuando les fueron suministradas por ProMundo Humano. Los biofermentos son una ampliamente utilizada también por los productores un 65,4 % los utilizan principalmente en la época de verano sin embargo no se logro tomar muestras de estos biofermentos por dificultades de trasladar el material a laboratorios en tiempos cortos sin problemas de descomposición de los materiales.

Cuadro 26. Tipo y uso de abonos orgánicos en la parcelas de cacao en Waslala, Nicaragua.

Uso de abonos	n=	%
Utiliza	26	74,3
No utiliza	9	25,7
Tipo		
Compost	23	88,5
Bocashi	2	7,7
Lombricompost	1	3,8
Biofermentos	17	65,4

La elaboración de los abonos se inicia con la recolección de los materiales por los productores un par de meses antes de su aplicación. Generalmente se recolecta el estiércol de su potrero, en un par de casos de su corral e inclusive el productor que más estiércol aplica lo consigue de una finca ganadera cercana, posteriormente el resto de materiales como la ceniza del hogar, tierra, son llevados al cacaotal donde el productor recoge puños de conchas de cacao y pica tallos de musa. Procede a picarlo y revolverlo todo; este material queda dentro de la misma parcela. La descomposición y liberación de los nutrientes en estos abonos depende de los materiales con los que se elaboraron; y son afectados por los niveles de polifenoles, lignina y contenido de nitrógeno (Mafongoya *et al.* 1998).

En la región se destaca el tipo de compost llamado “abono tipo Waslala” es una receta muy utilizada en los cacaotales en producción el cual sigue una preparación con ingredientes base de tierra negra (de montaña), ceniza, cascara de cacao, tallo de guineo y estiércol de vaca. En un estudio de la Lutheran World Relief (2009); se determinaron los promedios de cantidad de materiales utilizados por los productores con base en esta receta (Cuadro 28).

Entre los principales ingredientes destaca el uso de estiércol vacuno donde la cantidad promedio utilizada en la elaboración de una compostera ronda los 149,7 kg (Cuadro 27). Las cantidades de materiales y su uso están limitados por la disponibilidad y muchas veces algunos productores utilizan estiércol de fincas vecinas, pero en general siguen una receta muy similar con la misma cantidad y tipo de ingredientes como se mencionó, dependiendo de la disponibilidad. En un estudio de Gama Rodríguez y Zevallos (1991) utilizando diferentes dosis de fertilización a cacaoteros en Brasil, incluyendo la aplicación de estiércoles se demostró que los tratamientos con estiércoles correlacionaron significativamente con el volumen del tronco con el volumen e raíces, favoreciendo así el desarrollo de la parte aérea.

Cuadro 27. Tipo y cantidad ingredientes utilizados en la elaboración de compost (kg *).

Tipo de ingrediente	n	%	Media	Mín.	Máx.
Estiércol vacuno	23	65,7	149,7±182,8	20,45	818,2
Ceniza	17	48,6	19,2±7,2	4,1	40,9
Concha cacao	17	48,6	27,6±10,0	20,4	40,9
Tallo musa	17	48,6	43,4±27	20,4	122,7
Tierra	12	34,3	23,9±7,9	20,4	40,9
Residuos cosecha	5	14,3	36,8±26,6	20,4	81,8
Pasto	4	11,4	38,4±5,1	30,6	40,9
Hojas Leguminosas	2	5,7	15,3±7,15	10,2	20,4

*Pesos determinados por los propios productores los % de humedad de estos materiales varían mucho de un productor a otro por lo que son valores muy variables.

Con las cantidades promedio de ingredientes utilizados en la preparación de compost (Cuadro 28) los productores aplican en promedio alrededor de $208,6 \pm 191,2$ kg de compost por hectárea esta aplicación se realiza únicamente una vez al año al termino del verano generalmente en los meses de mayo inicios de junio, en cuanto a los métodos de aplicación se observaron deficiencias ya que los productores mencionan aplicar el abono alrededor del tronco del árbol y lo dejan descubierto, cuando, la recomendación es aplicarlo alrededor de la zona de goteo y cubrirlo preferiblemente con hojas o un poco de tierra para evitar el lavado y la volatilización de nutrientes.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. En cuanto a contenidos de nutrientes el preparado de bocashi presentaba los porcentajes más altos de incorporación de N (1,97), P (1,90) y K (1,93) pero se mencionó que su elaboración está muy limitada a la disponibilidad de ingredientes. En cuanto a la calidad de los abonos según los valores óptimos mencionados por Paul y Clark (1996) se observa que en general están un poco bajos en nitrógeno siendo el

más alto el bocashi, en el caso del P se encontró una gran diferencia entre el aporte por compost y lombricompost con respecto al bocashi el cual supero incluso el valor óptimo para este elemento. En cuanto al contenido de humedad los compost y lombricompost muestreados en general se encontraban cerca del valor optimo (< 40%) mientras que para bocashi como cita Soto (2004.) generalmente presenta valores de humedad menores del 20%; este es un factor importante ya que a la hora de acarrear los materiales a la parcela y distribuirlos no se estaría llevando tanto peso en agua. El nitrógeno es un buen indicador de la calidad nutricional de un abono orgánico y en Costa Rica para los bocashi varían entre 0,9 y 1,5% de N, el compost de la 1,5% y el lombricompost de 1,5 a 2,5 (Soto y Melendez 2004), por lo que de acuerdo a esta clasificación podríamos decir que los abonos elaborados por los productores en la zona son de mediana a buena calidad.

Cuadro28. Análisis de nutrientes de los tipos de abonos encontrados

	Variable	Compost *	Bocashi	Lombricompost	Nivel óptimo**
%	Humedad	45,48±24,11	11,8	52,1	< 40%
	Ca	1,93±0,94	16,84	2,55	
	Mg	0,6±0,21	0,66	0,72	
	K	1,46±0,86	1,93	0,91	
	P	0,24±0,1	1,90	0,56	0,15 – 1,5
	N	1,54±0,28	1,97	1,69	> 2
	C	25,54±7,45	22,69	21,80	
mg/kg	Cu	31,4±8,71	54	28	
	Zn	100±17,68	385	92	
	Mn	631,8±232,5	731	689	
	Fe	13254,2±4126,01	13705	7365	

*n=5, ** óptimos Paul y Clark (1996)

En cuanto a los beneficios de los abonos los productores destacan entre ellos que produce más, recupera los cacaotales y mejora el follaje (Cuadro 29). Lo que justificaría su aplicación y uso casi generalizado siguiéndose practicando con regularidad a pesar de ser unas de las practicas más laboriosas y que requiere mucho tiempo y mano de obra principalmente a la hora de recolectar los materiales y acarrearlos al punto donde se elaboran.

Estudios como el de Maria y Reyes (S.F.) en Republicana Dominicana demostró que los rendimientos de cacao fertilizado con abonos orgánicos fueron significativamente superiores a

los no fertilizados, mostrando mayores rendimientos el estiércol de vaca y la gallinaza, recomendando su uso en la producción orgánica de cacao. Asimismo los estudios de Ormeño et al (2008) de recuperación de plantaciones improductivas de cacao mediante el uso de prácticas orgánicas demostró que con la aplicación de fertilizantes orgánicos en las parcelas se lograba incrementar la producción de los cacaotales hasta en un 100 % en el segundo año.

Fuentes (1980) demostró que la respuesta en fertilización de cacao es poco remunerativa y que este cuando se encuentra bajo sombra prácticamente no responde a la fertilización y sugiere que se debe a la alta heterogeneidad genética de los materiales generando problemas de incompatibilidad. No obstante los beneficios reportados por los productores se deban no tanto al aporte de nutrientes explícitamente si no al aporte que estaría haciendo la materia orgánica la cual proveería una superficie de intercambio adicional la cual sería crítica para la retención de los nutrientes (Nye & Greenland 1960, Ahn 1979, Cerri *et al.* 1991) citados por Schoeder (1995) lo cual estaría conservando la fertilidad de los suelos y favoreciendo la sostenibilidad, siempre y cuando la adición de materiales orgánicos se mantenga (Lal 1986) citado por Schoeder (1995).

Cuadro 29. Percepción local de los beneficios del uso de abonos orgánicos

Indicador	n=	%
Produce mas	23	88,5
Recupera cacao quedado	18	69,2
Mejor follaje	17	65,4
Mayor desarrollo mazorca	16	61,5
Mayor pegue de flores	7	26,9

4.3 Balance de nutrientes

4.3.1. Descripción y validación de entradas y salidas

Entrada 1 Fertilizantes químicos (En1)

No se encontró ninguna finca que utilizara fertilizantes sintéticos y/o minerales para la producción de cacao. Todas las fincas están certificadas bajo manejo orgánico.

Entrada 2 Fertilizantes orgánicos (En2)

Existen dos tipos de entradas descritas en este apartado, abonos orgánicos propiamente dichos que corresponderían a compost, bocashi y/o lombricompost que el productor elabora y aplica en campo, y el segundo tipo, que son estiércoles depositados en campo producto del pastoreo de animales en la unidad de producción, que en este caso es la parcela de cacao.

Entrada 2a Uso de abonos orgánicos

El uso de abonos orgánicos es una práctica generalizada entre el 74% de los productores (Cuadro 26). Las cantidades incorporadas rondan en promedio en los $208,6 \pm 191,2$ kg de compost por hectárea por año, lo cual expresado en ingreso de nutrientes están en los rangos de 1,3 a 8,3 Kg de N/ha, 0,2 a 1,5 Kg de P/ha y 0,7 a 4,0 kg de K ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 30). Las cantidades aportadas son producto de la elaboración de composteras las cuales se realizan solo una vez al año y generalmente hacen solo una aplicación en el mes de mayo.

Sin embargo a pesar de que las cantidades aportadas son consideradas bajas si se comparan con una fertilización convencional de hasta 150 kg de N por ha, no se debería descartar ya que sería un ingreso de materia orgánica al sistema que como se ha mencionado se le atribuyen múltiples ventajas no solo de mejorar la fertilidad del suelo. También es importante este tipo de ingresos en un sistema como el cacao ya que la demanda nutricional para la producción de semillas de cacao no es muy alta y cosechas elevadas de hasta 1000 kg por hectárea demandarían tan solo 40-10-77 kg de NPK respectivamente (Enriquez 2003).

Cuadro 30. Ingreso promedio de nutrientes al sistema por abonos orgánicos (kg ha⁻¹ año⁻¹).

Elemento	Rango	N	%	media±desv.est.
Nitrógeno	0,1-2,8	23	88	1,3±0,9
	2,8-5,5	2	8	3,15±0,2
	>5,5	1	4	8,3±0,0
Fósforo	0,1-0,4	18	69	0,2±0,13
	0,4-0,7	6	23	0,6±0,04
	>0,7	2	8	1,55±0,21
Potasio	0,1-1,8	13	50	0,7±0,4
	1,8-3,5	9	35	2,6±0,4
	3,5-5,3	4	15	4,0±0,8

n=26

Entrada 2b Pastoreo de gallinas en los cacaotales

Esta entrada resulta importante en varios de los cacaotales estudiados ya que se encontró que un alto porcentaje de las fincas las gallinas presentes “pastoreaban” en el cacaotal en busca de pequeños insectos y lagartijas. Estas gallinas a la vez eran alimentadas por el productor con parte de la cosecha del maíz, por lo que representan un ingreso para el sistema. La literatura menciona valores de incorporación de 0,76-0,80 kg N animal⁻¹ año⁻¹ (Mccall 1980), por lo que a pesar de ser cantidades pequeñas de nutrientes, dado el número de animales presentes, los ingresos por el componente animal por año van desde 4,8 a 21,9 kg N ha⁻¹ año⁻¹, 1,1 a 5,8 kg P ha⁻¹ año⁻¹ y 1,1 a 5,6 kg K ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 31). En un sistema orgánico de poca extracción de nutrientes en la cosecha, estas pequeñas cantidades de nutrientes tienden a ser importantes, además de que su distribución sería heterogénea dentro de la parcela, superando incluso a la incorporación que estarían haciendo por medio de los abonos orgánicos en muchos casos los aplican a la base del árbol. En el estudio de Orozco y Thienhaus (1997), sobre el efecto de la fertilización con gallinaza se demostró que dosis de 1,36 kg por árbol se observaban diferencias en % de fructificación y frutos prendidos, concluyendo que si cada productor lograba establecer en sus parcelas al menos 46 gallinas por hectárea, esto le bastaría para mantener un nivel de fertilización en plantaciones juveniles (20 meses) semejante al de incorporar fertilización química para satisfacer las necesidades nutritivas del cultivo. Se destaca el estudio de Sanchez y Dubon (2005) en Honduras, donde con aplicaciones de gallinaza demostraron aumentos en rendimiento.

Cuadro 31. Ingreso promedio de nutrientes al sistema por estiércol producto de pastoreo de gallinas (kg ha⁻¹ año⁻¹)

Elemento	Rango	N	%	media
Nitrógeno	2-10	8	42	4,8 ±2,3
	10-20	4	21	13,0±3,4
	20-25	7	37	21,9±2,0
Fósforo	0,5-2	7	37	1,10±0,4
	2-5	6	31,5	3,4±1,0
	5-7	6	31,5	5,8±0,5
Potasio	0,5-2	7	37	1,1±0,4
	2-5	6	31,5	3,3±1,0
	5-7	6	31,5	5,6±0,4

n=19

Entrada 3 Deposición atmosférica (En3)

Para el cálculo de la deposición atmosférica se utilizó la ecuación de transferencia basada en Smaling and Stoorvogel (1993), cuya variable más importante es la precipitación media. Para este dato se trabajó con el dato de precipitación generado por el programa de modelación de la FAO LocClim (Fao 2002) el cual genera un valor de precipitación mensual para regiones donde no se cuentan con observaciones directas ni estaciones meteorológicas. Datos de deposición atmosférica en diferentes regiones de América tropical se muestran en el Cuadro 32, donde se comparan los datos resultantes de los estudios con los que arroja la fórmula, los rangos por deposición según los autores van desde 1,7 a 42,6 kg N ha⁻¹ año⁻¹ para N, 0,17 a 2,8 kg ha⁻¹ año⁻¹ para fósforo y 3,4 a 13,3 kg ha⁻¹ año⁻¹ para potasio. No existe una fuerte concordancia entre los datos arrojados al aplicar el modelo en los diversos estudios, sin embargo en algunos se encuentran bastante cercanos como en el caso del estudio de Andrade (1995) y Clarck (1997) con respecto a nitrógeno, y Parker (1985) con respecto a potasio. Fassbender y Bornesmiza (1987) reportan valores que van desde 4,8 – 35,4 kg N ha⁻¹ año⁻¹ en climas tropicales por lo que la entrada por nitrógeno en lluvias sería un valor importante para el balance de nitrógeno como lo menciona Rodríguez (2008); principalmente es un sistema orgánico como el del estudio donde la incorporación de abonos es limitado.

Cuadro 32. Cantidades de N-P-K resultantes de la deposición atmosférica en diversos estudios en la región (kg ha⁻¹ año⁻¹)

Cultivo	Suelo	Prec. Media	Valor autor			Por formula			Autor
			N	P	K	N	P	K	
Eucalipto	N.D.	1302	5,3	1,2	13,3	5,0	0,8	3,3	Andrade et al (1995) Brasil
Cacao	Inceptisol	3050	-	2,1	-		1,2	-	Gerold,1996 Ecuador
Bosque montano	Inceptisol	2519	6,8	-	-	7,0	-	-	Clark et al (1997) Costa Rica
Cacao	Alfisol	1862	42,6	1,4	8,6	6,0	0,9	3,9	Olivera y Rene Valle(1990) Brasil
Bosque	Ultisol	2500	2,6	0,4	3,4	7,0	1,15	4,6	Mcdowell y Asbury (1994) Puerto Rico
Bosque lluvioso		4007	1,7	0,17	5,4	8,9	1,5	5,8	Parker,1985 Costa Rica
Café-cacao	Inceptisol	2642	26,5	2,8	9,6	7,2	1,2	4,7	Imbach et al,1985 Costa Rica

Los valores obtenidos para este flujo al aplicar la fórmula se observan en el cuadro 33, se trabajó con una precipitación media de 1827 mm por año.

Cuadro 33. Entrada de nutrientes por deposición atmosférica resultado de la fórmula de transferencia aplicada en la región de Waslala, Nicaragua.

Elemento	Deposición atmosférica kg N ha ⁻¹ año ⁻¹
N	5,98
P	0,98
K	3,93

Precipitación media de 1827 mm según LocClim para la región de Waslala, Nicaragua

Entrada 4 Fijación biológica de nitrógeno (En4)

La entrada por fijación biológica se separa en dos tipos la no simbiótica productos de organismos diazotrofos de vida libre como *Azotobacter* y *Pseudomonas* (Paul y Clark 1989), y la simbiótica, que es producto de especies con la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico a través de la asociación con bacterias del género *Rhizobium* (Hansen 1994.).

Entrada 4a Fijación biológica no simbiótica (En4a)

La validación de la fórmula utilizada para el cálculo de la fijación no simbiótica con datos de literatura a partir de estudios de la región de América tropical, (Cuadro 34) con el propósito de observar y comparar los datos obtenidos en el estudio con la aplicación de la fórmula, mostraron valores de fijación desde 0,50 a 60 en el estudio de recopilación hecho por Cleveland 1999 y valores más específicos como el de Reed de 5,48 kg N ha⁻¹ año⁻¹, donde al aplicar la fórmula con los datos del estudio se generó un valor superior (20,25 kg N ha⁻¹ año⁻¹); sin embargo debido a la amplitud de rangos en los que se puede mover este valor se podría trabajar con esta fórmula en la región dándonos un valor aproximado a esta entrada.

Cuadro 34. Estudios de fijación no simbiótica de nitrógeno reportados por diversos autores en la región

Cultivo	Suelo	Prec.media	Valor según estudio kg N ha ⁻¹ año ⁻¹	Valor Formula*	Autor
---------	-------	------------	--	-------------------	-------

Bosque	N.D.	2128	9,14	5,89	Pérez et al (2003) Chile
Bosque húmedo	Ultisol	5578	0,36 época seca 5,48 época lluviosa	20,25	Reed et al (2007) Costa Rica
Bosques Tropicales			0,50-60		Cleveland et al,(1999) Recopilación

*valor estimado utilizando las variables del estudio requeridas para el cálculo mediante fórmula.

El dato por fijación no simbiótica en la región de Waslala arrojó un valor promedio de 4,4 kg N ha⁻¹ año⁻¹ utilizando el valor de precipitación media de 1827 mm, el valor se encuentra dentro de los rangos reportados por la literatura que menciona que generalmente el ingreso por este medio es de pocos kilogramos por hectárea estando en el rango desde < 0.01- 8 kg N ha⁻¹ año⁻¹ según Vitousek *et al.* (2002), Son (2001), Limmer y Drake (1996), Boring *et al.* (1988), Jones y Bangs (1985) citados por Aviles (2009).

Entrada 4b Fijación simbiótica (En 4b)

Datos de valores por fijación simbiótica dados por diversos autores en sistemas agroforestales se presentan en el Cuadro 35, muchos de estos estudios han sido hechos bajo condiciones experimentales y con distancias de siembra y densidades de árboles leguminosos bien definidos, en el caso del estudio de Waslala se encontraron sistemas muy heterogéneos con una alta variabilidad en los tipos de leguminosas, las distancias de siembra y el manejo de la poda; no obstante el conocer los rangos de valores según estos autores da una idea de la importancia que tiene la entrada por fijación simbiótica en los sistemas.

Cuadro 35. Estudios de fijación simbiótica de nitrógeno reportados por diversos autores en la región

Densidad	Fijación kg N ha ⁻¹ año ⁻¹	Autor
N.A.	Más de 40	Bornemisza, E(1982)
100-300 24x24	No más de 60 30-60	Beer,1988 Aranguren et al.(1982)
Con <i>Inga jiniquil</i>	Más de 40	Roskoski (1982)

El dato por fijación según la metodología desarrollada arrojó valores según la cantidad de árboles leguminosos encontrados estableciéndose 3 rangos como se ve en el Cuadro 36, donde los valores de fijación promedio fueron desde 8,5 hasta 67,7 kg N ha⁻¹ año⁻¹ según la cantidad de árboles presentes y la intensidad de poda que generalmente los productores de la región le dan a estos árboles.

Este flujo de entrada depende por lo tanto de la población de árboles leguminosos que puede variar de unos pocos hasta 300 árboles por ha (Barker 1991; Ling 1984). También el régimen de podas donde se puede dejar el árbol que crezca de forma libre o el caso en el donde se poda varias veces al año, la forma en cómo se colocan los restos de la poda, que pueden ir alrededor del árbol, esparcidos o exportados a otras zonas de la finca o utilizados como leña (Beer *et al.* 1988). Otros factores que incluyen son la selección de la especie e incluso del tipo de clon (Nygren y Ramírez 1995).

Los arboles leguminosos presentes en las parcelas estudiadas comprendían casi en su totalidad arboles de la especie Inga (Mimosasea) considerada una de las especies más importantes en el neo trópico como árbol de sombra tanto por su capacidad fijadora además de la extracción de fruto para consumo y leña en muchos países de América latina (Lawrence 1995) citado por Leblanc *et al* (2005), el sistema de podas es principalmente una poda anual de árboles que se dejan crezcan en forma libre y escogiéndose aquellos árboles que presentan ramas bajas las cuales los productores proceden a desramar, se observó en varios casos como los productores colocaban los restos de este material de poda alrededor de los árboles de cacao, y como se observa en el cuadro 36 el número de árboles leguminosos varían bastante en las parcelas estudiadas, desde unos pocos hasta inclusive más de 100, sin embargo las poblaciones bajas de leguminosas en la parcelas fue lo que más se observó donde más del 73% de los productores mantenían un promedio de 28 árboles en sus parcelas con incorporaciones promedio de 8,5 kg N ha⁻¹ año.

Cuadro 36. Valores de fijación simbiótica de nitrógeno Kg N ha⁻¹ año, obtenidos en las parcelas de cacao en Waslala, Nicaragua.

Rango	n=	%	Promedio # Arb. Leguminosos	Media de fijación simbiótica ⁻¹
1-26	22	73	28±11,0	8,5±9,3
26-50	6	20	65±8,4	32,5±8,2
>50	2	7	105±7,0	67,7±7,4

n=30

4.3.2 Salidas

Las salidas comprendieron dos flujos no necesariamente fácil de medir pero que correspondían a información suministrada por el productor y otros dos flujos que dependieron de las formulas desarrolladas por el estudio de Smaling y Stoorvogel 1993.

Salida 1 Cosecha (Sal 1)

La salida por cosecha se da por la extracción de las semillas de cacao. Este valor es relativamente bajo ya que la biomasa cosechada es muy poca, el Cuadro 37 muestra los resultados de la extracción de nutrientes según la producción media, en el caso del nitrógeno los valores promedio de extracción van desde 3,8 hasta 11,1 kg ha⁻¹ año⁻¹. Se demuestra como el cacao es un cultivo que demanda relativamente pocos nutrientes para la cosecha aunque con incrementos en cosecha producto de mejor manejo o mejorando el material genético podrían aumentar la demanda, ocasionando que la fertilidad del suelo pueda disminuir con incrementos en la cosecha (Schroth *et al.* 2001). No obstante a pesar de que parece ser poca extracción a la vez debido a la poca productividad se debe recordar que un sistema orgánico donde la aplicación de insumos e incorporación de abonos es baja, el llegar a reemplazar incluso de 3,8 a 11 kg de nitrógeno podría llegar a ser una tarea ardua para muchos productores.

Cuadro 37. Extracción de nutrientes en la cosecha de semillas de cacao (kg ha⁻¹ año⁻¹)

Elemento	Rango	Producción media	N	%	Media
Nitrógeno	2-6	109,7	12	34	3,8 ±1,0
	6-10	204,6	15	43	7,1±1,0
	10-13	315,3	8	23	11,1±1,1
Fósforo	0,3-0,8	109,7	12	34	0,5±0,1
	0,8-1,3	204,6	15	43	0,9±0,1
	1,3-1,7	315,3	8	23	1,5±0,1
Potasio	2-6	109,7	12	34	3,8±1,0
	6-10	204,6	14	40	7,1±0,9
	10-14	315,3	9	26	11,2±1,2

Otros productos cosechados en la parcelas fueron la extracción de bananos y leña (Cuadro 38) con considerables extracciones de nutrientes, flujos considerados a la hora de efectuar los cálculos de extracción de nutrientes en el sistema.

Cuadro 38. Extracción de nutrientes en subproductos en las parcelas de cacao de Waslala, Nicaragua (kg ha⁻¹ año⁻¹)

Producto	N	P	K
Bananos n=31	2,7±4,5	0,9 ±1,6	4,2 ±6,9
Leña n=23	1,1±2,6	0,7±0,5	2,4±1,0

*Para el cálculo de los valores de banano se usaron los valores % de extracción de NPK según Bertsch (2003) y para leña los valores por defecto que presenta el modelo Nutmon en sus bases de datos.

Salida 2 Residuos de cosecha (Sal 2)

En los sistemas estudiados se el 100 % de los productores dejan los residuos de cosecha del cacao en el cacaotal que correspondería a la llamada concha o cascara de cacao reduciendo con esto lo que serían las pérdidas de nutrientes principalmente del potasio.

Salida 3 Lixiviación (Sal 3)

La validación de la fórmula para el cálculo de lixiviación utilizada por el Nutmon con datos de estudios en la región de América tropical fue el primer paso para conocer distintos rangos en los que se mueven los valores por lixiviación en diferentes tipos de suelos, a diferentes dosis de fertilización, distintos regímenes de precipitación y con diferentes cultivos (Cuadro 39). al utilizar las variables requeridas por las formulas con los datos de los estudios se encontró que la formula en todos los casos presentaba valores más altos (sobre estimación) encontrándose la

mayor diferencia en el estudio de Babbar (1995) donde se reportó pérdidas de nitrógeno por lixiviación de 9 a 24 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ y según a fórmula las pérdidas serían de 169,9 Kg N ha⁻¹ año⁻¹, esto sugiere que el uso de esta fórmula en estudios en la zona debe ser tratado con precaución, diversos estudios han demostrado que el uso de estas fórmulas tienden a sobreestimar las pérdidas; por lo que mediciones en campo deben llevarse a cabo para validar si las pérdidas sugeridas por el modelo son consistentes con las mediciones empíricas de estas fórmulas.(Faerge y Magid 2004b).

Estudios de lixiviación han demostrado que las pérdidas por lixiviación son menores en sistemas agroforestales que en cultivos anuales, la diferencia se ha explicado por la mayor capacidad de retención de nutrientes y de tomarlos de la solución del suelo por parte de los cultivos perennes (Seyfried y Rao 1991). Fassbender y Bornenisz 1987 mencionan no obstante que las pérdidas por lixiviación es la pérdida más notable de N en los agroecosistemas junto con la pérdida por absorción de las plantas, incluso en suelos de bosques naturales estos autores mencionan pérdidas de 5 a 20 Kg N ha⁻¹ año⁻¹. Mientras que Seyfried y Rao (1991) mencionan un valor de 1 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ de pérdidas por lixiviación en sistemas perennes. No obstante hubo un estudio que se acercó a los valores altos de lixiviación dados por la fórmula y corresponde al estudio de Avila et al (2004) el cual reportó valores de pérdidas por lixiviación de hasta 186 Kg N ha⁻¹ año en cultivo de café (*Coffea arabica*) con asociado con eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) superando incluso al valor calculado con la fórmula de transferencia de Smaling y Stoorvogel (1990); en el estudio de Avila et al (2004), la lixiviación a 60 cm fue incluso mayor que el aporte anual hecho por fertilizantes, sugiriendo así que incluso el nitrógeno mineralizado en el suelo se estaría perdiendo.

Cuadro 39. Estudios de lixiviación de nutrientes Kg N ha⁻¹ año reportados por diversos autores en la región

Cultivo	Suelo	Prec.	Valor	Valor calculado con fórmulas de NUTMON	Autor
Café	Ultisol	2700	26,9 sin sombra 15,6 sin sombra	101,9	Harmand et al Costa Rica 2007
Café-cacao	Inceptisol	2642	N 5,7 K 1,7	N 29,4 K 3,57	Imbach et al Costa Rica 1985
Café	Andisol	2400	N 9 sombra N 24 sin sombra	169,9	Babbar Costa Rica 1995
Caña	Ultisol	1251	N 18 K 66	N 38,0 K 3,15	Ghilberto (2009) Brasil
Café-Eucalipto	Ultisol	2740	N 186	N 134	Avila <i>et al</i> 2004, Costa Rica

Valores por lixiviación en el área de estudio van desde los 9 a los 35 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 40), en estas parcelas las perdidas por lixiviación se deben principalmente al nitrógeno que se mineraliza a lo largo del año, proceso por el cual el nitrógeno presente en el suelo en formas orgánicas pasa a formas minerales disponibles para las plantas por transformación microbiana (Urzúa 2000), ya que la incorporación de nitrógeno por fertilizantes es muy baja en la mayoría de las parcelas estudiadas. Los promedios de mineralización de nitrógeno en las zona fueron en promedio de 47,9 kg Kg N ha⁻¹ año⁻¹, valor estimado a partir del % de nitrógeno, la densidad aparente y asumiendo una tasa de mineralización anual de 2 % (valor por defecto del modelo Nutmon); estudios como el de Babbar y Zak (1994.) en SAF café determinaron tasas de mineralización en SAF café de incluso 145 kg N ha⁻¹ año⁻¹ , y como menciono Van Bodegom (1995), la lixiviación tiende a ser mayor cuando la mineralización es alta y la toma de nitrógeno es baja. En el caso del potasio los valores estuvieron entre 2,1 y 5,9 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ y de la misma manera trataría de pérdidas ocasionadas por la disponibilidad de potasio que se encuentra en la solución del suelo y no por la incorporación de este elemento a traes de la fertilización. Al comparar estos valores en el área de estudio (Cuadro 40) con los valores reportados por la literatura resulta difícil debido a que en los datos de la literatura los estudios fueron hechos con sistemas que recibían altas dosis de fertilizante mineral y los valores de perdida por lixiviación son bajos por lo que se debe pensar que la fórmula no es adecuada para el trabajo en sistemas agroforestales de agricultura orgánica donde la entrada por fertilizantes es muy baja.

Cuadro 40. Valores promedio de lixiviación obtenidos mediante formula en los sistemas de producción estudiados de cacao en Waslala, Nicaragua (Kg N ha⁻¹ año⁻¹)

Elemento	Rango	n	%	media
Nitrógeno	9-20	17	48,6	15,7 ±2,8
	20-30	13	37,1	22,5±1,7
	30-35	5	14,3	32,2±1,3
Potasio	1-3	15		2,1±0,4
	3-5	14		4,0±0,7
	5-7	6		5,9±0,7

Se asume que la lixiviación de P es cero por su alta tasa de fijación en el suelo.

Salida 4 Desnitrificación (Sal 4)

Al igual que el flujo por lixiviación para analizar la desnitrificación se compararon estudios de la región de América tropical para conocer los posibles rangos en la que los valores por desnitrificación se mueven en sistemas agrícolas semejantes a los del área de estudio, estos estudio incluyeron diferentes cultivos, suelos, y medias de precipitación (Cuadro 41).

Los valores reportados en estos estudios se compararon con los valores obtenidos con la fórmula de Smaling y Stoorvogel (1993), se observaron valores superiores con el uso de la fórmula que aquellos reportados por los estudios. Lo que sugiere que el trabajo con la fórmula en la región podría generar valores de desnitrificación sobreestimados, aun mas al tratarse de un sistema agroforestal con poco uso de insumos donde las perdidas por este flujo se esperarían sean reducidas.

Debemos recordar que parte de las críticas a esta metodología reside en el uso de estas fórmulas para el cálculo de los flujos difíciles de estimar como la desnitrificación, por lo que se suele exagerar en los valores, especialmente en cultivos con pocas entradas y con pocas salidas, donde los balances estimados se basarían principalmente en estas fórmulas. (Kanté 2001; De Ridder *et al.* 2004).

Cuadro 41. Cantidades de N por desnitrificación reportados en diversos estudios en la región (kg N ha⁻¹ año⁻¹)

Cultivo	Suelo	Prec. media	Valor	Valor For.trans	Autor
Café	Andisol	2800	44 con sombra 27 sin sombra	76 con sombra 78 sin sombra	Babbar y Zak (1994.) Costa Rica
Café	Andisol	2886	Café sin sombra: Fer=5,2-9,9 SF=3-6,7 Café con sombra: Fer=3,2-6,0 SF=2,0-3,3	Fer=69,7 SF=13,8 Fer=72 SF=14,5	Hergoualc'h et al (2009) Costa Rica
Café	Ultisol	2700	Café sin sombra: 1,9 Café con sombra: 1,9	35,4 36,1	Harmand et al (2007) Costa Rica

Los resultados de nitrificación en el área de estudio presentan promedios de 4,6 hasta 10,8 Kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 42) valores los cuales no se encuentran muy distantes de los reportados por la literatura pero sin embargo y de la misma manera que con los estudios de lixiviación en estos estudios se trabajó con dosis altas de fertilización mineral (algunos casos hasta 300 kg N por ha), por lo que la comparación con un sistema orgánico libre de fertilización química resulta inconsistente por lo tanto el uso de esta fórmula reflejaría incongruencias y los valores obtenidos no permitirían reflejar claramente lo que realmente estaría sucediendo en el sistema mediante este flujo.

Cuadro 42. Valores promedio de desnitrificación obtenidos mediante formula en los sistemas estudiados de Waslala, Nicaragua (Kg N ha⁻¹ año⁻¹).

Rango	n	media
3-6	9	4,6±1,0
6-9	21	7,3±0,9
9-12	5	10,8±1,0

Salida 5 Erosión (Sal 5)

No se estimó por tratarse un sistema agroforestal con múltiples estratos y con una amplia cobertura de suelo donde se asume que la erosión sería despreciable. Además que para su

estimación mediante el USLE requería variables climáticas más precisas no encontradas en la región.

4.4 Análisis de Sensibilidad

Los variables identificadas y seleccionadas que aportaron la mayor variabilidad fueron en el caso de nitrógeno, la cantidad de árboles leguminosos con un aumento en 4,4 Kg ha⁻¹ año⁻¹ presentes seguidos por % de nitrógeno fijado, tasa de mineralización, la densidad aparente y % de nitrógeno en el suelo y en menor grado la precipitación y el % de arcilla, en el caso del fósforo la única variable directa relacionada con su estimación fue la precipitación pero la variación solo lo afectó en 0,1 Kg ha⁻¹ año⁻¹, en el caso del potasio fueron el K intercambiable y la precipitación sin embargo el valor absoluto en el balance no se vio afectado más de 0,4 Kg ha⁻¹ año⁻¹. Sin embargo los parámetros absolutos en si no son un gran reflejo en un sistema como este donde las entradas y salidas eran relativamente pequeñas por lo que se realizó un estudio de variación relativo para analizar cuanto era la variación porcentual (Cuadro 43).

Cuadro 43. Efecto de variación absoluta de los balances de N, P, K variando en +/- 10% los parámetros

	Disminución de la influencia en el balance (valor absoluto Kg ha ⁻¹ año ⁻¹)								
	# arboles leguminosos	% NFIJ	DA	# Gallinas	% N	TMIN	PREC	%ARC	K inter
N	±4,42	±2,4	±2,4	±2,4	±2,4	±2,7	±0,3	±0,2	n.a
P	n.a	n.a	n.a	±0,8	n.a	n.a	±0,1	n.a	n.a
K	n.a	n.a	n.a	±1,2	n.a	n.a	±0,2	n.a	±0,4

% NFIJ: % de nitrógeno fijado por la especie leguminosa, DA: densidad aparente, TMIN: tasa de mineralización, PREC: precipitación, % ARC: % de arcillas, K inter: potasio intercambiable

En los sistemas estudiados se evidenció la importancia del número de árboles leguminosos, ya que un aumento o disminución de 10 árboles en la parcela ocasiona un cambio de un 24 % en el balance total (Cuadro 44), mientras que un aumento en el número de gallinas tiene un impacto similar a la que tendrían parámetros de suelo como aumentos en la tasa de mineralización, el % de arcillas y % de N en el suelo. Es importante hacer notar la relevancia de estos parámetros no ligados al suelo, ya que el productor tiene posibilidades de manejo, lo que no tendría con variables como % de arcilla.

Para Vlaming (comunicación personal) las variables a las que se debe prestar más atención para lograr una mayor precisión en la estimación de los balances de nutrientes, variará según los tipos de finca y su manejo, donde la precisión para fincas con alto potencial de producción aumenta al estudiar con más detalle las propiedades del suelo, mientras que aquellas con bajo potencial y poco uso de insumos, el enfoque debe ir más en el monitoreo de los flujos sencillos y en las características de los productos.

Cuadro 44. Efecto de variación relativa en los balances de N, P, K por variación en +- 10% de diversos parámetros (%).

Disminución de la influencia en el balance (%)									
	# arb leguminosos	TMIN	DA	# gallinas	% N	NFIJ	PREC	ARC	K inter
N	24,2	14,1	14,1	14,1	14,1	10,9	1,6	1,1	n.a
P	n.a	n.a	n.a	17,6	n.a	n.a	2,2	n.a	n.a
K	n.a	n.a	n.a	4,2	n.a	n.a	0,7	n.a	2,7

4.5 Balances Totales y Parciales

La comparación de los balances parciales y totales para NPK mostró una mayor diferencia en el balance de nitrógeno, que en los balances de P y K. Se observaron diferencias que van desde -49,3 kg N ha⁻¹ año hasta 28,1 kg N ha⁻¹ año entre balance total y parcial (Cuadro 45). Esto se debe a que en el balance parcial no se consideran los flujos de fijación biológica de nitrógeno, deposición por lluvia, lixiviación y desnitrificación. En el caso de potasio se observaron diferencias mucho menores, debidas a la deposición por lluvia y la salida por lixiviación; con una diferencia entre total y parcial promedio en las parcelas de -0,45±1,5 kg K ha⁻¹ año. Y en el caso del fósforo la diferencia la marca únicamente la entrada por deposición por lluvia de únicamente 1 kg P ha⁻¹ año.

Cuadro 45. Balances total y parciales de NPK así como la diferencia absoluta entre ellos para las 35 parcelas estudiadas en Waslala, Nicaragua (kg ha⁻¹ año⁻¹)

Cod. finca	NTOT	NPART	Dif.	PTOT	PPART	Dif.	KTOT	KPART	Dif.
	_ha	_HA		_ha	_HA		_ha	_ha	
n01	-14,1	14,1	28,1	5,9	4,9	-1,0	2,5	0,7	-1,7
N02	-22,5	4,1	26,6	2,5	1,5	-1,0	-2,6	-3,9	-1,3
n03	-27,5	-15,1	12,3	-0,7	-1,7	-1,0	-12,2	-11,4	0,8
n04	8,4	5,7	-2,7	1,4	0,4	-1,0	1,9	-0,1	-2,0
N05	-20,8	-3,1	17,7	1,0	0,0	-1,0	-6,6	-6,9	-0,2
n06	63,3	14,0	-49,3	4,5	3,5	-1,0	-3,1	-3,2	-0,1

n07	-2,8	-9,5	-6,7	-0,9	-1,8	-1,0	-12,9	-11,0	1,9
n08	-12,0	-2,3	9,7	0,9	-0,1	-1,0	-1,8	-0,5	1,4
n09	8,0	10,1	2,1	4,7	3,8	-1,0	-6,4	-4,5	1,9
n10	21,6	6,7	-14,8	3,9	3,0	-1,0	-10,9	-12,4	-1,4
n11	-16,9	-1,2	15,7	1,6	0,6	-1,0	-6,2	-5,5	0,8
N12	-23,3	-10,6	12,8	-0,6	-1,6	-1,0	-14,3	-14,4	-0,1
N13	8,7	3,5	-5,2	2,2	1,2	-1,0	-0,9	-1,5	-0,6
N14	-13,6	-1,2	12,4	1,1	0,1	-1,0	-0,9	-3,5	-2,6
N15	-15,1	-12,6	2,5	-1,7	-2,7	-1,0	-13,3	-12,5	0,8
n16	-8,8	3,0	11,8	2,6	1,6	-1,0	-2,2	-2,5	-0,3
n17	-13,3	-9,4	3,9	-0,5	-1,5	-1,0	-4,9	-7,3	-2,4
n18	8,8	-1,8	-10,6	0,9	-0,1	-1,0	-2,3	-4,1	-1,8
n19	-6,6	-1,0	5,6	1,8	0,8	-1,0	-10,6	-7,5	3,0
n20	5,3	13,6	8,3	4,8	3,8	-1,0	-0,6	-3,0	-2,4
n22	51,0	16,4	-34,6	5,8	4,8	-1,0	-0,2	-0,7	-0,5
n23	0,2	-7,0	-7,2	-0,1	-1,1	-1,0	-8,4	-7,6	0,8
n24	-11,2	-0,5	10,6	2,3	1,3	-1,0	-12,2	-10,9	1,3
N25	-12,9	-10,7	2,2	-0,6	-1,6	-1,0	-10,5	-12,2	-1,7
N26	-8,2	-15,8	-7,7	-1,6	-2,6	-1,0	-14,5	-15,4	-0,9
n27	11,3	10,8	-0,5	4,1	3,1	-1,0	-7,5	-8,4	-0,9
n28	-8,4	-6,1	2,2	-0,2	-1,2	-1,0	-4,5	-6,5	-2,0
n29	-19,6	-7,1	12,5	-0,2	-1,1	-1,0	-3,7	-5,4	-1,7
n31	9,2	-12,5	-21,6	-1,4	-2,4	-1,0	-7,9	-10,3	-2,4
N32	-22,9	-13,2	9,7	-1,2	-2,2	-1,0	-12,7	-13,7	-1,0
n33	-27,0	-10,9	16,1	-0,7	-1,7	-1,0	-8,6	-10,1	-1,4
n34	-1,5	-13,8	-12,4	-3,9	-4,9	-1,0	-24,3	-25,8	-1,5
n36	-8,0	16,8	24,8	5,9	5,0	-1,0	0,4	1,2	0,8
n37	-10,6	-3,9	6,7	0,7	-0,3	-1,0	-8,6	-6,2	2,5
n38	-16,9	-8,0	8,9	-0,7	-1,7	-1,0	-8,9	-9,7	-0,8

En general se observa que para nitrógeno la mayoría de las fincas presentaron balances totales negativos ($-14,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ $n=24$) y parciales negativos ($-7,7 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ $n=23$). La diferencia es que en el parcial son menos negativos debido a que en el balance parcial no se toma en cuenta las pérdidas por lixiviación y desnitrificación; de la misma manera parcelas que presentaron balance total positivo de nitrógeno ($17,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ $n=11$) en los balances parciales fueron menos positivas ($9,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ $n=12$) esto debido a que en el cálculo del balance parcial no se estima la fijación biológica de nitrógeno. En el caso del fósforo y de potasio las diferencias entre los balances totales y parciales según los valores promedio de las parcelas, no mostró mayores diferencias. En el caso de potasio tanto en los balances totales como parciales casi la totalidad de las parcelas presentan promedio de balances totales

negativos ($-7,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ $n=33$) y balances parciales negativos ($-7,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ $n=33$) lo que sugiere una alta extracción de este elemento sin mayor reposición (Cuadro 46).

Cuadro 46. Efecto de variación absoluta de los balances de N, P, K variando en $\pm 10\%$ los parámetros $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$

Variable	Grupo 1	Grupo 2
N total	-14,3(7,1) $n=24$	17,8 (20,2) $n=11$
P total	-1,0 (0,9) $n=15$	2,9 (1,8) $n=20$
K total	-7,6 (5,3) $n=32$	1,6 (1,0) $n=3$
N parcial	-7,7 (5,0) $n=23$	9,9 (5,1) $n=12$
P parcial	-1,5 (1,1) $n=19$	2,4 (1,7) $n=16$
K parcial	-7,8 (5,3) $n=33$	0,9 (0,3) $n=2$

Entre paréntesis desviación estándar

El análisis de varianza con los grupos de conglomerados conformado con las 35 parcelas; donde se formaron 3 grupos de parcelas; muestra que no existen diferencias significativas entre las parcelas para los balances totales ($p=0,8511$) ni para parciales ($p=0,4867$) de nitrógeno, ni el fósforo (balances totales ($p=0,5088$); parciales ($p=0,4996$)). En el caso de potasio este si presentó diferencias significativas entre los grupos formados tanto para balances totales ($p=0,0268$) como para parciales ($p=0,050$) (Cuadro 47). Estas diferencias sugieren que estas variaciones se deben a la extracción de bananos de las parcelas, el poco retorno de este elemento en forma de fertilizantes orgánicos o reincorporación de residuos de cosecha (p.e., importante rescatar que ninguno de los productores entrevistados menciono el uso del raquis de la fruta (pinzote) a la hora de realizar la compostera). Se reporta un contenido de K del 8,2 % de potasio que podría regresar al sistema; incluso en un estudio realizado en la EARTH demostraron que el raquis de pinzote puede ser utilizado como sustituto de la cascarilla de arroz en la elaboración de bocashi (Leblanc *et al.* 2006).

Cuadro 47. Análisis de varianza de los grupos de conglomerados formados a partir de NPK total y parcial en las parcelas de cacao en Waslala, Nicaragua.

Variable	C1 n=23	C2 n=3	C3 n=9	Valor de p
N_total	-3,0±4,2a	-9,3±11,6a	-5,7±6,7a	0,8511
P_total	1,6±0,5a	0,5±0,8a	0,5±1,4a	0,5088
K_total	-5,0±1,1a	-9,8±3,0ab	-10,6±1,7b	0,0268
N_parcial	-0,2±2,0a	-4,2±3,3a	-5,1±5,7a	0,4867
P_parcial	0,6±0,5a	-0,4±0,8a	-0,5±1,4a	0,4996
K_parcial	-5,7±1,1a	-9,3±3,0ab	-10,8±1,7b	0,0500

El análisis de regresión lineal demostró que las variables que más incidían en la determinación de los balances totales y parciales fueron # de gallinas ($p= 0,0034$), # de árboles leguminosos ($p=<0,0001$) y el % de arcillas ($p=0,0054$) (Cuadro 48) en el caso del balance total de nitrógeno lo que se demuestra como en el caso de un balance total la entrada de nitrógeno por leguminosos es importante y debe ser tomada muy en cuenta, como ha sido mencionado por Budowski y Russo (1997) donde se enfatiza el uso de leguminosas en un contexto de agricultura sostenible.

Se observa como en el caso de los balances totales y parciales de fósforo y potasio en ambos casos las variables que más peso están teniendo en su determinación son el # de gallinas como entrada y el rendimiento en forma de extracción de nutrientes en forma de cosecha como salida, por lo que en el caso de esos dos elementos el hacer una análisis parcial o total no estaría reflejando diferencias, no así en el caso del nitrógeno. En ese caso un balance parcial nos permitiría observar mejor el comportamiento sencillo de las parcelas en términos de cuanto le estamos sacando en forma de cosecha y cuanto le estaríamos incorporando en forma de estiércoles producto de pastoreo de animales.

Cuadro 48. Variables de más peso en la determinación de los balances totales y parciales de NPK en las parcelas de cacao en Waslala, Nicaragua

Variable	R2	Variables	Valor de p
N_total	0,81	# gallinas	0,0034
		#arboles leguminosos	<0,0001
		% de arcillas	0,0054
P_total	0,65	# gallinas	<0,0001
K_total	0,67	Rendimiento	<0,0001
		# gallinas	0,0004
N_parcial	0,65	Rendimiento	0,0086
		# gallinas	0,0001
P_parcial	0,65	# gallinas	0,0001
K_parcial	0,70	Rendimiento	<0,0001
		# gallinas	0,0001

Los balances totales y parciales determinados en este estudio surgen de una serie de estimaciones, supuestos y análisis de literatura, los valores obtenidos son en sí una aproximación y un reflejo de los procesos complejos por los cuales los diferentes macro elementos se mueven dentro del sistema. Se observaron fincas donde la extracción de nutrientes principalmente se da por cosecha, residuos de cosecha de productos y la incorporación de nutrientes se da por la presencia de árboles leguminosos y a que mantienen inconscientemente un pastoreo de gallinas suministrando pequeñas cantidades de nitrógeno al sistema, que resultan al final importantes. Los estudios de Smaling y Stoorvogel (1990) concluyeron que en el trópico, agriculturas con pocas entradas de insumos usualmente resultan en disminución de los nutrientes del suelo, y comprometiendo seriamente la producción agrícola futura como ocurrió en muchos países de África.

El estudio de los balances de nutrientes se realizó con el fin de determinar su aplicación como herramienta para determinar la sostenibilidad de un sistema orgánico y comprobar el estado de fertilidad de los sistemas, se encontró que los dos tipo de balances a pesar de tener comportamientos diferentes por los tipos de flujos con lo que se determinan y los métodos de estimación, es posible separar parcelas por su estado inicial de fertilidad, la presencia y interacción del componente animal con el cultivo, la presencia del componente arbóreo principalmente leguminosas así como los niveles de extracción de nutrientes vía cosecha de producto principal ;y de productos secundarios como leña, madera, o frutales.

5 CONCLUSIONES

Todos los sistemas productivos estudiados presentaron balances totales y parciales negativos para nitrógeno y potasio y positivos para fósforo.

Los balances de K de estos sistemas fueron los más negativos, producto de la extracción de leña y bananos de la parcela de cacao, a pesar de la reincorporación de las cenizas en el compost, pero sin reincorporación de residuos de cosecha del banano.

Las diferencias entre balances totales y parciales, según el modelo utilizado (NUTMON), son importantes solo en el caso de nitrógeno, ya que adicionada entradas como fijación simbiótica de nitrógeno, deposición por lluvia; y salidas como lixiviación y desnitrificación que no son estimadas en el balance parcial. No se observaron diferencias ente un balance total o parcial en el caso de fósforo y potasio

No se encontró correlación entre balances totales o parciales; y productividad de las parcelas.

El análisis de sensibilidad demostró que para estos sistemas, con poco uso de insumos externos, un aumento en ± 10 árboles leguminosas afecta el balance total de N en 24%; y variables de suelos como tasa de mineralización, % de nitrógeno del suelo, % de arcillas y densidad aparente tenían el mismo peso con respecto al balance total afectándolo en un 14,1 %.

Se evidenció la importancia de la interacción entre el componente animal y los cultivos, mediante el aporte de estiércol por pastoreo de gallinas las cuales son alimentadas en su totalidad con el producto de la unidad de producción de maíz, y a la vez están pastorean en el cacao depositando estiércol, siendo la entrada que tuvo el mayor peso en la determinación de los balances parciales de N, P y K (significando una incidencia relativa en el balance total de 17,2 % para fósforo y 4,2% para potasio).

Los parámetros más importantes a estimar en el caso de un sistema de producción orgánico como este utilizando el modelo NUTMON son la extracción de productos y sub productos de la parcela, la incorporación de nitrógeno producto de fijación atmosférica (número de árboles leguminosos), el aporte de estiércoles; y las diferentes variables de suelo tanto físicas como químicas que intervienen en las ecuaciones como densidad aparente, % de arcillas, % nitrógeno y K intercambiable.

El análisis de balances permitió conocer a grosso modo el estado nutricional de las parcelas estudiadas, pero únicamente en un momento dado, generando una idea del manejo de los sistemas con los recursos disponibles.

La validación de las ecuaciones que utiliza el NUTMON demostró que flujos como lixiviación y desnitrificación tendían a sobreestimar los valores al compararlos con estudios hechos en la región, mientras que flujos como fijación no simbiótica y deposición por lluvia están dentro de rangos aceptables reportados por la literatura.

6 RECOMENDACIONES

En sistemas orgánicos como el del presente estudio, se recomienda basar los cálculos de balances de nutrientes en los movimientos de materiales propios de la misma finca de una unidad de producción a otra en términos de materia fresca o seca y que son conocidos y reportados por el productor.

VARIABLES DIFÍCILES DE ESTIMAR EN CAMPO COMO LIXIVIACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN SON IMPORTANTES DE TOMAR EN CUENTA PERO SI NO SE PUEDEN MEDIR EN CAMPO PUEDEN SER ESTIMADAS CON VALORES PROMEDIO REPORTADOS POR LA LITERATURA EN OTROS ESTUDIOS DE LA REGIÓN POR LAS DIFERENCIAS ENCONTRADAS EN EL USO DE LAS FORMULAS

Se recomienda, realizar análisis de laboratorio de las propiedades físicas y químicas de suelo, para conocer el estado inicial de fertilidad de suelos y monitorear cambios que estos sufran en el tiempo.

Se recomienda en el caso del análisis de fijación simbiótica de nitrógeno realizar muestreos de reconocimiento de nódulos para identificar si estos efectivamente están fijando nitrógeno o no.

Se recomienda a técnicos o extensionistas llevar junto con los productores registros más precisos de cosechas por parcelas, para diferenciar aquellas parcelas más extractoras de nutrientes de aquellas no tan extractoras, lo que permitiría un mejor manejo de los nutrientes en las fincas, considerando su retorno potencial.

Se recomienda trabajar con extensionistas y productores temas de fertilidad de suelos, especialmente en parcelas orgánicas para fortalecer su conocimiento de los nutrientes y los procesos que sufren estos dentro de las parcelas y sus fincas. El balance de nutrientes es una herramienta con potencial para ser utilizada en extensión agrícola y capacitaciones en este tema.

Se recomienda hacer análisis de composición de microorganismos en las parcelas para conocer el efecto de estos en la descomposición de la materia orgánica, importante en el mecanismo de ciclaje de nutrientes, como cantidad de nutrientes potencialmente mineralizados por la biomasa microbiana, para así estudiar los posibles beneficios en estas variables producto de la aplicación de los compost

Se recomienda un uso simplificado a través de herramientas de cálculo de Excel para extensionistas donde se lleve un monitoreo periódico de las parcelas con el objetivo de conocer posibles pérdidas de nutrientes y generar recomendaciones.

Se recomienda en el caso del análisis de fijación simbiótica realizar muestreos de reconocimiento de nódulos para identificar si estos efectivamente están fijando nitrógeno o no.

Para mejorar los balances de NPK se recomendaría la introducción de más cantidad de arboles leguminosos en las parcelas o su establecimiento y poda en otras unidades de producción y acarrear el material podado a la parcela de cacao (cercas vivas), aumentar la cantidad de abonos orgánicos aplicados, aumentar el número de gallinas por pastoreo; y reincorporar los residuos de cosecha producto de la extracción de banano en las parcelas.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Alpizar, L; Fassbender, HW; Heuvel, J; Fölster, H; Enríquez, G. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. I. Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems*. Volume 7, Number 2 / octubre de 1988.
- Álvarez, M; Angeler, D. 2007. Exportación de nutrientes en las cuencas hidrográficas de Latinoamérica: una recopilación. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3 (1): 31-43.
- Andrade, G; Da Silva, H; Ferreira, C; Bellote, A; Moro, L. 1995. Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *BOSQUE* 16(1): 47-51
- APROCACAHO. 2003. Identificación y control de la miniliasis del cacao. Consultado 16 de mayo del 2010. Disponible en <http://www.fao.org/teca/sites/default/files/technologies/MANUAL%20MONILIASIS%20DEL%20CACAO.pdf> Consultado 16 de mayo del 2010.
- Aranguren, J; G., E; Herrera, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. *Plant and Soil*. 67: 247- 258.
- Arévalo, E; Zúñiga, L; Arévalo, C; Adiazola, J. 2004. Cacao: manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnología en la Amazonía Peruana. Tarapoto, San Martín, PE, Instituto de Cultivos Tropicales. 184 p.
- Aviles, I. 2009. Fijación biológica de nitrógeno y almacenamiento de carbono en agroecosistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en Puerto Rico. Disponible en <http://grad.uprm.edu/tesis/avilesvazquez.pdf> Consultado el 21 de junio del 2010
- Babbar, L; Zak, D. 1994. . Nitrogen cycling in coffee agrosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agricultural Ecosystems and Environment*. 48: 107-113.
- Barker, D. 1991. An economic analysis of farming coffee and trees at Turrialba, Costa Rica: comparing small farms with poro (*Erythrina poeppigiana*) only to those with both laurel (*Cordia alliodora*) and poro. . MSc Thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Bationo, A; Lompo, F; y Koala, S. 1998. Research on nutrient flows and balances in west Africa: state-of-the-art. *Agricult.Ecosyst. Environ* 1:19-35.
- Beer, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5:3-13.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1988. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139–164, 1998.
- Beer, J; Muschler, R; Somarriba, E; Kass, D. 1998. Shade Management in Coffee and Cacao Plantations-a Review. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Benzing, A. 2001. *Agricultura Orgánica. Fundamentos para la región andina*. Neekar-Verlag, Villingen-Schwenningen. Alemania. 682 p.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, ACCS. 157 p.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos.
- Bornemisza, E. 1982. Nitrogen cycling in coffee plantations. *Plant and Soil* 67: 241- 247.

- Budowski, G; Russo, R. 1997. Nitrogen -fixing trees and nitrogen fixation in sustainable agriculture: research challenges I. Soil Bid. Biochem. Vol. 29, No. 516, pp. 161~770.
- CATIE. 2007. Proyecto Competitividad y Ambiente en los Territorios Cacaoteros de Centroamérica (PCC). Disponible en http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Imagenes/pcc_poa_2009.pdf. Consultado 21 de junio del 2009.
- CATIE. 2009a. Componente 1. Productividad y ambiente. Protocolos de Investigaciones. Documento del proyecto PCC (Proyecto Cacao Centroamerica).
- CATIE. 2009b. Determinación del potencial de mantener, aumentar o adoptar diferentes sistemas de cacao (*Theobroma cacao*) con base en el rol relativo y absoluto que éstos juegan en las estrategias de vida de los hogares en el municipio de Waslala, Nicaragua. Documento del proyecto PCC (proyecto cacao centroamerica).
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2006. Propuesta de proyecto: fortalecimiento e integración de cinco organizaciones de productores indígenas y campesinos pobres en las cadenas de producción de cacao en América Central. Turrialba, CR 62 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2007. Documento de proyecto PCC. Competitividad y Ambiente en los Territorios Cacaoteros de Centroamerica. Consultado 12 de octubre del 2009. Disponible en http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/pcc_version_11_07.pdf
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2006. Modernización e integración de las cadenas del cacao de seis grupos indígenas y campesinos pobres de América Central. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2701E/A2701E.PDF>. Consultado el 6 de octubre del 2009.
- Clark, K; Nadkarnit, N; Schaefers, D; Gholz, H. 1997. Atmospheric deposition and net retention of ions by the canopy in a tropical montane forest, Monteverde, Costa Rica. *Journal of tropical Ecology* 14.
- Cleveland, C; Townsend, A; Schimel, D; Fisher, H; Howarth, R; Hedin, L; Perakis, S; Latty, E; Von Fischer, J; Elseroad, A; Wasson, M. 1999. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems. *GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES*, VOL. 13, NO 2, PAGES 623-645.
- Cornell. S.F. Cornell University Nutrient Management Planning System. Disponible en <http://nmsp.cals.cornell.edu/software/calculators.html>
- Crews, T; Peoples, M. 2005. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (2005) 72:101–120.
- Chesney, P; Nygren, P. 2002. Fine root and nodule dynamics of *Erythrina poeppigiana* in an alley cropping system in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 56: 259–269.
- De Jager, A; Nandwa, SM; Okoth, PF. 1998. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON) I. Concepts and methodologies. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71 37-48.
- De Jager, A; Onduru, D; y Walaga, C. 2003. Facilitated learning in soil fertility management: assessing potentials of low-external-input technologies in east African farming systems. Disponible en <http://www.nutmon.org/files/8eb995c0c93b3284707ed182f7315aad.pdf>

- De Oliveira, J; Valle, R. 1990. Nutrient Cycling in the Cacao Ecosystem: Rain and Throughfall as Nutrient Sources for the Soil and the Cacao Tree. . *Agriculture, Ecosystems & Environment* 32(1-2):143-154.
- De Ridder, N; Breman, H; Van Keulen, H; Stomph, TJ. 2004. Revisiting a 'cure against land hunger': soil fertility management and farming systems dynamics in the West African Sahel. . *Agricultural Systems* 80: 109-131.
- Deugd, M; Roling, N; y Smaling, EMA. 1998. A new praxeology for integrated nutrient management, facilitating innovation with and by farmers. *Agricult. Ecosyst. Environ.* 71.:269-283.
- edición, AN-. 2001. *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guia de 18 cultivos. Banano.* Disponible en <http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Publication/Espanol/banano.pdf> Consultado 6 de enero 2010.
- Enriquez, G. 2003. El cultivo organico de cacao bajo el concepto de calidad total. Consultado 12 de octubre del 2009. Disponible en http://www.ceaecuador.org/imagesFTP/4640.Cacao_organico_y_biol_INIAP.pdf
- Enríquez, GA. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. CATIE, Serie Materiales de Enseñanza N° 22. Turrialba, Costa Rica. 239 p.
- EUROSTAT. 1999. Evaluation of Sensitivity and Uncertainty Analysis Methods in a Quality Assessment Framework with Application to Environmental and Business Statistics. Disponible en <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/quality/documents/EVALUATION%20OF%20SENSITIVITY%20AND%20UNCERTAINTY%20ANALYSIS%20METHODS.pdf>
- Faerge, J; Magid, J. 2004a. Evaluating NUTMON nutrient balancing in Sub-Saharan Africa. . *Nut Cycl Agro* 69:101-110.
- Faerge, J; Magid, J. 2004b. Evaluating NUTMON nutrient balancing in Sub-Saharan Africa. . *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 69, 101-110.
- Faerge, J; Magid, J. 2004c. Evaluating NUTMON nutrient balancing in Sub-Saharan Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69: 101–110.
- Fairtrade. 2009. El cacao y el suelo. Consultado 7 oct. 2009. Disponible en <http://www.fairtrade.net/cocoa.html?&L=1>
- FAO. 2002. FAO Local Climate Estimator. Disponible en http://www.fao.org/sd/2002/en1203a_en.htm Consultado el 16 de mayo del 2010
- FAO. 2005. New_LocClim. Environment and Natural Resources, Working paper No. 20 (CD-ROM) | October 2005 Disponible en http://www.fao.org/NR/climpag/pub/en3_051002_en.asp
- Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA, San José. pp. 139.
- FUNICA. 2007. Análisis de La Cadena Subsectorial del CACAO. Nicaragua. Consultado 1 de octubre del 2009. Disponible en www.funica.org.ni/docs/Analisis-cacao.pdf
- Gaitan, T. 2005. Cadena del Cultivo del Cacao (*Theobroma Cacao L.*) Con potencial Exportador. En línea. Consultado 6 de octubre del 2009. Disponible en <http://appcacao.org/descargar/Cadena%20del%20cacao%20Nicaragua.pdf>

- Gama Rodriguez, A; Zevallos, A. 1991. Efecto de la fertilizacion en el desarrollo radicular de cacao en suelos de "Tabuleiros" del sur de Bahia, Brasil. Turrialba, Vol.41, No.2 135-141.
- Ghiberto, P; Libardi, P; Brito, A; Trivelin, P. 2009. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an Ultisol in Brazil. *Agricultural Water Management* 96 1443–1448.
- Giller, K; Rowe, E; Ridder, N; Keulen, H. 2006. Resource use dynamics and interactions in the tropics: Scaling up in space and time. *Agricultural Systems* 88: 8–27.
- Gramacho, I; Magno, A; Mandarino, E; Matos, A. 1992. Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia. Bahía, BR, CEPLAC. 124 p.
- Grebe, H. 2003. Seminario Internacional: "Cadenas de Producción para el Desarrollo Económico Local y el Uso Sostenible de la Biodiversidad". Cacaonica transforma a campesinos de Waslala en exportadores de Cacao.:117-123. Consultado 9 de octubre del 2009. Disponible en http://www.underutilized-species.org/Documents/PUBLICATIONS/memoria_del_seminario.pdf.
- Hansen, AP. 1994. Symbiotic N₂ fixation of crop legumes: achievements and perspectives. . Hohenheim Tropical Agricultural Series. Center for Agriculture in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Germany. 248 p.
- Harmand, JM; Avila, H; Dambrine, E; Skiba, U; S, K; Renderos, R; Oliver, R; Jimenez, F; Beer, J. 2007. Nitrogen dynamics and soil nitrate retention in a Coffea arabica—Eucalyptus deglupta agroforestry system in Southern Costa Rica. *Biogeochemistry* 85:125–139.
- Hartemink, A. 2003. Soil fertility decline in the tropics with case studies on plantations. . CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Hartemink, A. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in Agronomy*. 86:227-253.
- Hergoualc'h, K; Cannavo, P; Harmand, JM; Skiva, U; Oliver, R; Henault, C. 2009. The utility of process-based models for simulating N₂O emissions from soils: A case study based on Costa Rican coffee plantations. *Soil Biology & Biochemistry* 41 2343–2355.
- Heuveland, J; Fassbender, HW; Alpizar, L; Enríquez, G; y Fölster, H. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao) with laurel (Cordia alliodora) and poro (Erythrina poeppigiana) in Costa Rica II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems*. Volume 6, Numbers 1-3.
- Holdridge, PLC. 1979. Ecología Basada en zonas de vida. IICA. San José: 159 p.
- Imbach, A; Fassbender, HW; Borel, R; Beer, J; y Bonnemann, A. 1989. Modelling agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao) with laurel (Cordia alliodora) and cacao with poro (Erythrina poeppigiana) in Costa Rica. IV. Water balances, nutrient inputs and leaching. *Agroforestry Systems* 8: 267-287.
- Isaac, ME; Timmer, VR; Quashie-Sam, SJ. 2007. Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of Theobroma cacao by vector analysis. *Nutrient cycling in agroecosystems*. Volume 78, Number 2, 155-165.
- Jansen, DM; Stoorvogel, JJ; Schipper, RA. 1995. Using sustainability indicators in agricultural land use analysis: an example from Costa Rica.
- Kanmegne, J; Smaling, EMA; Brussaard, L; Gansop Kouomegne, A; y Boukong, A. 2006. Nutrient flows in smallholder production systems in the humid forest zone of southern Cameroon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76:233–248.

- Kanté, S. 2001. Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au Mali Sud. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Kass, D; Sylvester-Bradley, R; Nygrem, P. 1997. The role of the nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the americas. *Soil Bio/. Biochem.* Vol. 29. No. 5/6, pp. 715-185.
- Kathuku, A; Kimani, S; Okalebo, J; Othieno, C; y Vanlauwe, B. 2005. Integrated Soil Fertility Management: Use of NUTMON to Quantify Nutrient Flows in Farming Systems in Central Kenya.
- Kohn, R. 2001. FNB.(Maryland Farm Nutrient Balancer). Disponible en <http://nutrients.umd.edu/index.htm>
- Koning, GHJ; Vande Kop, PJ; Fresco, LO. 1997. Estimates of soil nutrients balances as sustainability indicators for agro-ecosystems in Ecuador. *Agriculture, ecosystems and environment* 65: 127-139.
- Lal, R. 1998. Methods for assessment of soil degradation. Estimating nutrient balances in agro-ecosystems at different spatial scales. pag:229-249. Disponible en <http://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=4gv5HEOrX8YC&oi=fnd&pg=PA229&dq=%22Smaling%22+%22Estimating+nutrient+balances+in+agro-ecosystems+at+...%22+&ots=8g-X9J0X02&sig=P44SdgwY8WT4lBgyLBXQYBIBAKA#v=onepage&q=%22Smaling%22%20%22Estimating%20nutrient%20balances%20in%20agro-ecosystems%20at%20...%22&f=false>
- Lathwell, DJ; Grove, TL. 1986. Soil- plant relationships in the tropics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1986. 17:1-16.
- Leblanc, H; R., M; Nygren, P; Le Roux, C. 2005. Neotropical legume tree *Inga edulis* forms N₂-fixing symbiosis with fast-growing Bradyrhizobium strains. *Plant and Soil* 275:123–133.
- Leblanc, HA; Cerrato, ME; Vélex L.A. 2006. Comparacion del contenido nutricional de bokashis elaborados con desechos de fincas del tropico humedo de Costa Rica. *Tierra Tropical* 2 (2): 149-159. Disponible en http://usi.earth.ac.cr/tierratropical/archivos-de-usuario/Edicion/31_v2.2-07_Velex.pdf Consultado el 16b de mayo del 2010
- Lesschen, JP; Stoorvogel, JJ; Smaling, EMA; Heuvelink, GBM; Veldkamp, A. 2007. A spatially explicit methodology to quantify soil nutrient balances and their uncertainties at the national level. *Nutr Cycl Agroecosyst* 78:111–131.
- Lima, HN; Schaefer, CER; Mello, JWV; Gilkes, RJ; Ker, JC. 2002. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. *Geoderma* 110, 1-17.
- Ling, A. 1984. Litter production and nutrient cycling in a mature cocoa plantation on inland soils of Peninsular Malaysia. . Pushparajah E and Soon CP (eds) *International Conference on Cocoa and Coconuts: Progress and Outlook*, pp 451-467. The Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Lutheran World Relief. 2009. Cacao Organico, manual del cultivo. Proyecto ACORDAR (Alianza para crear oportunidades de desarroll rural a traves de relaciones agroempresariales).
- Mafongoya, PL; Giller, KE; Palm, CA. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter, *Agroforest. Syst.*, 38, 77-97.

- Maria, A; Reyes, E. S.F. Efecto del uso de Abonos Orgánicos en el Rendimiento del Cacao (*Theobroma Cacao L.*). Resumen de cartel en la 15e CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIONES DEL CACAO.
- McCall, W. 1980. Chicken manure. Disponible en <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/GHGS-02.pdf> Consultado el 16 de mayo del 2010
- McDowell, W; Asbury, C. 1994. Export of carbon, nitrogen, and major ions from three tropical montane watersheds. *Limnol. Oceanogr.*, 39(1) 111-125.
- Mejía, L. 2000. Nutrición del cacao. Publicación de Corpoica. Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Caca. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bucaramanga, Colombia. pp. 33-35.
- Molina, E; Meléndez, G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.
- Nygren, P; Ramírez, C. 1995. Production and turnover of N₂ fixing nodules in relation to foliage development in periodically pruned *Erythrina poeppigiana* (Leguminosae) trees. *Ecol Man* 73: 59-73.
- Oenema, O; Kros, H; y Vries, W. 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy* 20:3-16.
- Oliveira, J; Rene Valle, R. 1990. Nutrient cycling in the cacao ecosystem: rain and throughfall as nutrient sources for the soil and the cacao tree. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 32 143-154.
- Omotoso, T. 1975. Amounts of Nutrients removed from the soil in harvested Amelonado and F3 Amazon Cacao during a year. *Turrialba*, 235: 425-428.
- Orozco, M; Thienhaus, S. 1997. Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*). *AGRONOMIA MESOAMERICANA* 8(1): 81-92. .
- Paschold, J; Koelsch, R. 2006. Estimating a Whole Farm Nutrient Balance. Disponible en <http://water.unl.edu/mmresources/software>
- Paul, EA; Clark, FE. 1989. Transformation of nitrogen between the organic and inorganic phase and to nitrate. p. 131-146. En: E.A. Paul and F.E. Clark (ed.) *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, San Diego, CA. USA. pp. 131-146.
- Pellerin, D; Wattiaux, M; Charboneau, E; Moreira, V; y Flis, S. S.F. N-CyCLES (Nutrient-Cycling, Crops, Livestock, Environment and Soils). Disponible en <http://dairynutrient.wisc.edu/N-CyCLE/page.php?id=517>
- Pérez, C; Carmona, M; Armesto, J. 2003. Non- symbiotic fixation, net nitrogen mineralization and denitrification in evergreen forests of Chiloe Island, Chile: a comparison with other temperate forest. *Gayana Bot.* 60(1): 25-33.
- Phillipp, D; Gamboa, W. 2003. Observaciones sobre el sistema mucuna-maiz en las laderas de Waslala, region Atlantica de Nicaragua. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/437/43714212.pdf> Consultado 16 de mayo del 2010
- Pieri, C; Dumanski, A; y Young, A. 1995 *Land Quality -Indicators*. World Bank, Washington, DC.63 p.
- Rabindra, N; Ram, V. 2005. Soil nitrogen balance assessment and its application for sustainable agriculture and environment. *Science in China Ser. C Life Sciences* 2005 Vol.48 Special Issue 843—855.
- Ramachandran, N. 1997. *Agroforestería*.Chapingo.Mexico.543 p.

- Ramfrez, C. 1993. Agroforestry: a mechanistic approach. *International Crop Science I*. Crop Science Society of America, Madison, WI, pp. 43-48.
- Reed, S; Cleveland, C; Townsend, R. 2007. Controls Over Leaf Litter and Soil Nitrogen Fixation in Two Lowland Tropical Rain Forests. *BIOTROPICA* 39(5): 585–592.
- Rodriguez, R. 2008. Mineralización de nitrógeno en suelos bajo agrosistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en Puerto Rico. Tesis de maestría.
- Romero, A. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Tesis. CATIE.
- Roskoski, JP. 1982. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation. *Plant and Soil* 67: 283-291.
- Sánchez, J; Dubón, A. 2005. Informe técnico 2004. Programa de cacao y agroforestería. Honduras. Fertilización del cacao (*Theobroma cacao*) con gallinaza composteada bajo sistema de agricultura orgánica. CAC 97-03.
- Sánchez, L; Parra, D; Gamboa, E; y Rincón, J. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado del Tachira, Venezuela. *Bioagro* 17(2):119-122.
- Sanchez, PA. 1990. Deforestation reduction initiative: an imperative for world sustainability in the twenty first century. In: Bouwman, A.E. (Ed.), *Soil and the Greenhouse effect*. Wiley, NY, USA.
- Sandor, JA, and Eash, N. S. . 1995. Ancient agricultural soils in the Andes of Southern Peru. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 170-179.
- Sanginga, N; D., BG; Danso, SKA. 1990. Assessment of genetic variability for N₂ fixation between and within provenances of *Leucaena leucocephala* and *Acacia albida* estimated by ¹⁵N labelling techniques. . *Plant and Soil* 127: 169-178.
- Scoones, I; Toulmin, C. 1998. Soil nutrient balances: what use for policy? . *Agr Ecosyst Environ* 71:255-267.
- Schroeder, P. 1995. Organic matter cycling by tropical agroforestry systems: a review *Journal of Tropical Forest Science* 7(3): 462 - 474
- Schroth, G; Lehmann, J; Rodrigues, MRL; Barros, E; V., MJL. 2001. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 53: 85–102. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/lr63118761277876/> Consultado el 16 de mayo del 2010
- Sequeira , E. 1981. Proyecto de siembra de 3000 m² de cacao en la región atlántica. Nicaragua.
- Seyfried, MS; Rao, PSC. 1991. Nutrient leaching loss from two contrasting cropping systems in the humid tropics. . *Trop. Agricult.* 68, 9-18.
- Smaling E.M.A.; Stoorvogel, JJ. 1998. Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 50: 151–158.
- Smaling, EMA. 1993. An Agroecological Framework for Integrated Nutrient Management with Special Reference to Kenya. Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, (Ph.D. Thesis).
- Snoeck, D; Zapata, F; Domenach, A. 2000. Isotopic evidence of the transfer of nitrogen fixed by legumes to coffee trees. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 4 (2), 95–100.
- Snoeck, J; y Jadin, P. S.F. Cacao (*Theobroma cacao* L.). Institut de Recherches du Café, du Cacao et autres plantes stimulantes (IRCC/CIRAD), Montpellier, France.

- Somarriba, E. 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? *Agroforestería en las Américas* N° 41-42
- Somarriba, E; Beer, J; Muschler, RG. 2001. Research methods for multistrata agroforestry systems with coffee and cacao: recommendations from two decades of research at CATIE. *Agroforestry Systems* 53: 195-203, .
- Soto, G. 2004. . Situación de la producción de abonos orgánicos en Costa Rica y Nicaragua: retos y estrategias. In Congreso Latinoamericano de Bioplaguicidas y Abonos Orgánicos. Memorias. Costa Rica.
- Soto, G; Melendez, G. 2004. Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* No. 72 p. 91-97.
- Stoorvogel, JJ; Smaling, EMA. 1990. Assessment of soil nutrient depletion in sub-Sahara Africa: 1983–2000, . The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, The Netherlands. 4 volúmenes, Reporte 28.
- Stoorvogel, JJ. 1993. Optimizing land use distribution to minimize nutrient depletion: a case study for the Atlantic Zone of Costa Rica. *Geoderma*, 60 277-292.
- Surendran, U; Murugappan, V; Bhaskaran, A; y Jagadeeswaran, R. 2005. Nutrient Budgeting Using NUTMON - Toolbox in an Irrigated Farm of Semi Arid Tropical Region in India - A Micro and Meso Level Modeling Study. *World Journal of Agricultural Sciences* 1 (1): 89-97.
- Urquhart, DH. 1963. Cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Versión española de Juvenal Valerio. Turrialba, Costa Rica. 322 p.
- Urzúa, H. 2000. Fijación simbiótica de nitrógeno en Chile: Importante herramienta para una agricultura sustentable. Proc. XX Reunión Latinoamericana de Rhizobiología. Arequipa, Perú. p. 211-227.
- Van Bodegom, P. 1995. Water, nitrogen, and phosphorus dynamics in three fallow systems and maize in western Kenya. . Thesis de MSc. Wageningen Agricultural University.
- Van den Bosch, H; De Jager, A; and Vlaming, J. 1998a. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON) II. Tool development. *Agirc. Ecosyst. Environ.* 71, 54±64.
- Van den Bosch, H; De Jager, A; y Vlaming, J. 1998b. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON) II. Tool development. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71 (1998) 49-62.
- VARINUTS. 1999. Spatial and temporal variation of soil nutrient stocks and management in sub-Saharan African farming systems. Disponible en <http://www.nutmon.org/varinuts/index.html> Consultado 16 de mayo del 2010
- Vlaming, J; Van den Bosch, H; Van Wijk, MS; De Jager, A; Bannink, A; y Van Keulen, H. 2001. Monitoring nutrient flows and economic performance in tropical farming systems (NUTMON). Consultado 12 de octubre del 2009. Disponible en http://www.monqi.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=73&Itemid=43
- Vlaming, J; van den Bosch, H; van Wijk, MS; de Jager, A; Bannink, A; y van Keulen, H. 2003. Nutmon (Nutrient monitoring for tropical farming systems).Wageningen UR. Disponible en <http://www.nutmon.org/index.php3>
- Vlaming, J; Van den Bosch, H; Van Wijk, MS; De Jager, A; Bannink, A; Van Keulen, H. S.F. Monitoring nutrient flows and economic performance in Tropical farming systems

- (NUTMON) Part 1: Manual for the NUTMON-Toolbox. Disponible en www.nutmon.org/toolbox.php3.
- Vlaming, J; Gitari, JN; M.S., VW. S.F. Farmers and researchers on their way to Integrated Nutrient Management. ILEIA Newsletter Vol. 13 No. 3 p. 6.
- Wessel, M. 1971. Fertilizer requiremetns of Cacao (*Theobroma Cacao* L.) in South-Western Nigeria. Communication 61. Department of Agriculture and Natural Resources, Royal Trop. Inst.
- Winowiecki, L. 2008. Soil biogeochemical patterns in the Talamanca foothills, Costa Rica: Local soil knowledge and implications for agroecosystems. Leigh Winowiecki. Tesis Doctorado. Univesidad de Idaho y CATIE.

ANEXOS

Anexo 1. FORMATO DE LA ENCUESTA CARACTERIZACION

Nombre del propietario: _____

Pertenece a alguna asociación de productores? SI NO Cual? _____

Comunidad: _____

Coordenadas: _____

Altura: ____msnm Área total de la finca: ____ha

Cuántas parcelas tiene de cacao: _____

Topografía: _____

Área: ____ha Variedad: _____ Distancia de siembra: ____ Edad: ____años

Cultivos presentes en la parcela: _____

Cuadro 1. Árboles de sombra y cultivos en la parcela de cacao

Nombre común	Nombre científico	Función	Edad	Distancia de siembra

Época de defoliación de los árboles de sombra, que porcentaje se pierde:

Manejo:

Cuales prácticas agrícolas realiza en el cacaotal(poda, fertiliza, deshierba, control manual de enfermedades): _____

Edad del cultivo? _____

Origen genético del material vegetal: cómo lo nombra el agricultor y dónde lo consiguió:

Siente que las condiciones climáticas han variado en los últimos años: _____

Modo de propagación: siembra directa de semillas, plántulas de vivero, plántulas injertadas:

Aplicaba enmiendas químicas? SI NO Cuáles? _____

Aplica abonos orgánicos: _____

Considera importante la fertilización de cacao: SI NO:

Tipo: _____

cantidad: _____

Conoce la cantidad de nutrimento aportado por estos abonos?: _____

Frecuencia: _____

Forma de aplicarla: _____

Cuanto tiempo dedica a la preparación de los abonos? _____

Compra algún insumo extra para prepararlos:

Que procedimiento realiza para prepararlos y donde recibió capacitación. Hace Cuanto?: _____

Cuadro 2. Plagas y enfermedades en el cultivo

Plaga o enfermedad	Qué parte de la planta afecta	En qué meses hay mayor incidencia	Controla SI NO Cómo?

Manejo de los árboles de sombra asociados al cacao: labores realizadas en los últimos 3 años incluyendo el presente: tipo de labor (poda, corte, siembra,...), momento del año e intensidad de la poda o Corte: _____

Manejo de poda de los árboles de cacao en los últimos 3 años incluyendo el presente: tipo de poda (intensidad y propósito, cada cuanto poda):

Estado del cultivo

Se observan síntomas de deficiencia en las plantas? SI NO en qué porcentaje?

Se observa síntomas o signos de enfermedades en las plantas? SI NO en qué porcentaje?

Se observa ataque de insectos en las plantas? SI NO en qué porcentaje?

Cuáles son los principales problemas para la producción del cultivo

1. _____

2. _____

Rendimientos

Cuánto fue el rendimiento más bajo: _____

Cuánto fue el rendimiento más alto: _____

Cuánto es el rendimiento más frecuente en los últimos dos años: _____

A observado cambios en el rendimiento con la aplicación de abonos orgánicos: _____

Información sobre el conocimiento de sus suelos

Topografía: _____

Qué tipo de suelos existen en su finca, como lo describiría: _____

Considera que su suelo es bueno? SI NO Por qué?

Cuáles cree que son las principales limitantes de su suelo?

Hace labores de conservación o mejoramiento de suelos? SI NO Cuáles?

A hecho análisis de sus suelos? SI NO cuándo? _____

ANEXO 2. Manejo de los datos por NUTMON

Entradas 1-2 y Salidas 1-2

Flujos: Flujos de productos; relacionado con el uso de fertilizantes, cosecha, reusó de residuos de cosecha, aplicación de compost, estiércoles y alimentación de ganado. (Relacionado con En 1-En2 y Sal 1-Sal2)

$\sum ps \text{ Prod}_{x,t} * fr \text{ Prod}_x$	Kilogramos de producto multiplicado	
	Por la concentración de nutrientes en el producto	(kg)
$\text{Prod}_{x,t}$	cantidad de producto * aplicado en el mes t	kg
$fr\text{Prod}_x$	contenido de nutrientes del producto x	kg/kg

Toda esta la información se generó de entrevistas con los productores, y registros de cosechas.

EN1p,t, : Entrada fertilizante mineral a la unidad primaria de producción en ese mes

EN2Ap,t, : Entrada de fertilizante orgánico a la unidad primaria de producción en ese mes

EN1s,t, : Entrada fertilizante mineral a la unidad secundaria de producción en ese mes

EN2As,t, : Entrada de fertilizante orgánico a la unidad secundaria de producción

EN1r,t,: Entrada fertilizante mineral a la unidad de redistribución

EN2Ar,t, Entrada de fertilizante orgánico a la unidad de redistribución

EN1st,t, : Entrada fertilizante mineral a inventario en ese mes

EN2A st,t, : Entrada de fertilizante orgánico a inventario en ese mes

SAL2hhIN2Ap,t, : Salida residuos del hogar usados en unidad primaria de producción

SAL 2hhIN2As,t, Salida residuos del hogar usados en unidad secundaria de producción

SAL 2hhIN2Ar,t,: Salida residuos del hogar usados en unidad e redistribución

SAL 1stIN2Ap,t, : Salida de inventario de producto cosechado usado

SAL 2stIN2Ap,t, : Salida residuo de cosecha (estiércol) de inventario utilizado en unidad primaria de producción

SAL 1stEN2As,t,: Salida de producto de cosecha utilizado en unidad secundaria de producción

SAL 2stEN2As,t, : Salida de residuo de cosecha (estiércol) de inventario llevados a unidad secundaria de producción

SAL 1stEN2Ar,t, : Salida de inventario de productos de cosecha llevados a unidad de distribución

SAL 2stEN2Ar,t,: Salida del residuos de cosecha de inventario llevados unidad de redistribución

SAL 1pEN2Ap,t, Salida de productos de cosecha de la unidad primaria de producción usados como abono orgánico en la unidad primaria de producción

SAL 2pEN2Ap,t,: Salida de residuos de cosecha de la unidad primaria de producción usados como abono orgánico en la unidad primaria de producción

SAL 1pEN2As,t, : Salida de productos de cosecha de la unidad primaria de producción usados como abono orgánico en la unidad secundaria de producción

SAL 2pEN2As,t, : Salida de residuos de cosecha de la unidad primaria de producción usados como abono orgánico en la unidad secundaria de producción

SAL 1pEN2Ar,t, : Salida de productos de cosecha de la unidad primaria de producción llevados a unidad de redistribución

SAL 2pEN2Ar,t, : Salidas de residuos de cosecha de la unidad primaria de producción llevados a la unidad de redistribución

SAL 1pEN2Ahh,t :Salidas de producto de cosecha de la unidad primaria de producción usados en el hogar

SAL 2pEN2Ahh,t, : Salida de residuos de la unidad secundaria de producción usados en el hogar

SAL 1pEN2Ast,t, : Salida de producto de cosecha de la unidad primaria de producción llevado a inventario

SAL 2pEN2Ast,t,: Salida de residuos de cosecha de la unidad primaria de producción llevados a stock

SAL 1sEN2Ahh,t, : Salida de productos de la unidad secundaria de producción usados en el hogar

SAL 2ArEN2Ar, : Salida de residuos de cosecha llevados unidad de redistribución

SAL 1p,t, : Salida de producto de cosecha de la unidad primaria de producción

SAL 2p,t, : Salida de residuo de cosecha de la unidad primaria de producción

SAL 1s,t,: Salida productos de la unidad secundaria de producción

SAL 2Ar,t, : Salida de residuos de cosecha y estiércoles de la unidad de redistribución

SAL 1Ast,t: Salida de producto de cosecha a inventario

SAL 2Ast,t : Salida de residuos de cosecha a inventario

Entrada 3: Deposición atmosférica

Nutrientes presentes en la precipitación se calcula utilizando la función de transferencia que relaciona la entrada de nutrientes con la media de la precipitación anual.

En 3_{p,t}: Flujo a través deposición atmosférica kg

Para nitrógeno:

$$(\text{Area}_p / 10000) * \sqrt{\bar{x} (\text{prec anual})} * (\text{prec.Mensual} / \text{precAnual}) * 0,023$$

Para fósforo

$$(\text{Area}_p / 10000) * \sqrt{\bar{x} (\text{prec anual})} * (\text{prec.Mensual} / \text{precAnual}) * 0,023$$

Para potasio

$$(\text{Area}_p / 10000) * \sqrt{\bar{x} (\text{prec anual})} * (\text{prec.Mensual} / \text{precAnual}) * 0,092$$

Area_p: área unidad primaria de producción m² Sale de FMB(farm data base)

Prec Anual: mm/año Sale de FMB(farm data base)

Entrada 4 Fijación de nitrógeno

La fijación no simbiótica de nitrógeno se calcula con la función que relaciona la fijación con la media de la precipitación anual. Para aquellas unidades de producción asociadas con especies de leguminosas (anuales o perennes), un porcentaje del total de nitrógeno captado es resultado de la fijación simbiótica de nitrógeno. El total de nitrógeno captado es definido como la suma de las cantidades de nitrógeno en la cosecha y en los residuos de cosecha.

En 4_{p,t} Entradas por fijación (solo nitrógeno) kg

En4(No Simb_{p,t} + En 4 Simb_{p,t})

En4 No Simb_{p,t} fijación no simbiótica del cultivo en UPP en mes t

En 4 Simb_{p,t} fijación simbiótica por el cultivo en UPP en mes t

UPP: unidad primaria de producción

En4 No Simb_{p,t} fijación no simbiótica del cultivo en UPP en mes t kg

$$(\text{Area}_p/10000)*(1/12)*2+ (\text{PrecAnnual}-1350)*0,005))$$

Area_p área de la unidad primaria (p) m² FDB

PrecAnnual precipitación anual mm/año FDB

FDB: farm data base

En 4 Simb_{p,t} fijación simbiótica por el cultivo en UPP en mes t kg

Captación_{cult,p,t} * Frfijada_{cult}

Captación_{cult,p,t} captación del cultivo de nitrógeno en UPP en mes t kg

Fracfijada_{cult} fracción de N obtenida por fijación biológica BGDB

BGDB: background data base

Salida 3:Salida por lixiviación

Sal3Ap,t Salida de nitrógeno por lixiviación kg

Fracción de arcilla < 0,35

$$(\text{N mimeralizado } p / 12) \square \square \text{En } 2\text{MinOrg N } p,t)*(2,1 \times 10^{-2} * \text{PrecAnnual}-3,9)$$

0,35% < Fracción de arcilla < 0,55%

$$(\text{N mimeralizado } p / 12) \square \square \text{En } 2\text{MinOrg N } p,t)*(1,4 * 10^{-2} * \text{PrecAnnual}+0,71)$$

Fracción de arcilla > 0,55%

$$(\text{N mimeralizado } p / 12) \square \square \text{En } 2\text{MinOrg N } p,t)*(7.1 * 10^{-3} * \text{PrecAnnual} \square \square 5,4)$$

N mimeralizado cantidad de nitrógeno mineralizado

en los primeros 20 cm de suelo kg

En2OrgFertKp,t Flujo de Entrada por uso de fertilizantes orgánicos Kg

PrecAnnual media de la precipitación anual FDB-I

Fracción de arcilla contenido de arcilla en el suelo en la UPP FDB-I

FDB-I: farm data base inventario

Sal 3B_{p,t} Salida de potasio por lixiviación kg

$$\text{frLixK } p * ((\text{Kinter } p * 1/12) \square \text{En2OrgFertK } p,t))$$

En2OrgFertK_{p,t} Entrada por fertilizante orgánico en la UPP kg

frLixK p Fracción lixiviada de potasio en el suelo desde la UPP kg
 Kinter_p Potasio intercambiable en el suelo meq/100g soil FDB-I

FracLixK p

Fracción de arcilla < 0,35

FracLixK p \square 0.00029 * PrecAnual \square 0.41

0,35% < Fracción de arcilla < 0,55%

FracLixK p \square 0.00029 * PrecAnual \square 0.26

Fracción de arcilla > 0,55%

FracLixK p \square 0.00029 * PrecAnual \square 0.11

FracLixK p Fracción lixiviada de potasio en el suelo desde la UPP kg

PrecAnual media de la precipitación anual FDB-I

Lixiviación desde las unidades de redistribución

El estiércol excretado en corrales y compost producido en composteras, se asumen que son sujeto de lixiviación; calcular las pérdidas está definido por porcentajes de pérdida definidas por el usuario. La definición de las pérdidas se basan en la presencia de pisos de concreto o si está o no techados.

Para Nitrógeno

frLixNr * (1 - **Min**(1, (NLixFactor de techo \square NLixFactor de suelo))) * NutStatusNr,t ^{1/12}

frLixNr Cantidad de nitrógeno lixiviado de la UR en base a un año kg/kg

NLixFactortecho Factor de reducción como resultado de la presencia de concreto en el piso, entre 0-1

NLixFactordepiso Factor de reducción como resultado de la presencia de techo, entre 0-1

NutStatusNr,t Cantidad de nitrógeno presente en la UR

Nota: **Min** es una función que selecciona el valor mínimo de 1 y la suma de ambos factores de reducción.

Para Potasio

$$frLixKr * (1 - \text{Min}(1, (KLixFactor \text{ de techo} \square KLixFactor \text{ de suelo})) * NutStatusKr,t)^{1/12}$$

$frLixKr$ Cantidad de potasio lixiviado de la UR en base a un año
kg/kg

$KLixFactor_{techo}$ Factor de reducción como resultado de la presencia de concreto en el piso, entre 0-1

$KLixFactor_{de piso}$ Factor de reducción como resultado de la presencia de techo, entre 0-1

$NutStatusKr,t$ Cantidad de potasio presente en la UR

Nota: **Min** es una función que selecciona el valor mínimo de 1 y la suma de ambos factores de reducción.

Extracción de nutrientes por el cultivo en la UPP

$$\sum (psSal1CultProd_{p,t} * frSal1CropProd_{p,t}) \square (psSal2ResCult_{p,t} * frSal2ResCult_{p,t})$$

$psSal1CultProd_{p,t}$: Producto cosechado en la UPP en peso seco Kg FDB-M

$frSal1CropProd_{p,t}$: contenido de nutrientes en el producto cosechado kg/kg BGDB

$psSal2ResCult_{p,t}$: residuos de cosecha del cultivo en peso seco kg FDB-M

$frSal2ResCult_{p,t}$: contenido de nutrientes en los residuos de cosecha kg/kg BGDB

SAL4 Perdida por volatilización

$Sal4_{p,t}$ Perdida por volatilización (solo nitrógeno)

$$frvolatilizadaN_p * ((N_{mineralizado p} / 12) \square En2FertOrgN_{p,t})$$

$frvolatilizadaN_p$ nitrógeno perdido a través de volatilización kg/kg

$N_{mineralizado p}$ N mineralizado en la UPP kg/año

$En2FertOrgN_{p,t}$ entrada de fertilizante organico aplicado kg

$frvolatilizadaN_p$ Nitrógeno perdido a través de volatilización kg/kg

$$- 9.4 \square 0.13 * \text{FracArcilla}_p * 100 \square 0.01 * \text{PrecAnual}$$

FracArcilla_p contenido de arcilla en la UPP kg/kg FDB-I

PrecAnual media precipitación anual mm/año FDB-I

FDB-I: Farm data base-inventario

Nmineralizado p N mineralizado en la UPP kg/año

$FrNtotal p * TasasMin/100 * DensApp * ProfRaizp * Area p$

FrNtotal p nitrógeno total contenido en el suelo kg/kg FDB-I

TasasMin/100 tasa de mineralización %/año FDB-I

DensApp densidad aparente kg/m³ FDB-I

ProfRaizp profundidad de raíces m FDB-I

Area p área de la UPP m² FDB-I

Sal 5.Erosión

No se estimara al tratarse de un sistema agroforestal con una amplia cobertura verde, donde la pérdida sería insignificante.

Desechos del hogar

La cantidad de desechos del hogar la define el usuario por día (medición directa) por día, al igual que el contenido de nutrientes, estos desechos pueden llevarse a UPP, USP, UR o el EXT

Sal2HogarEn2Ap,t Desechos del hogar reutilizados en la UPP kg

$ResHogar_t * frDistriDesHogar p,t$

ResHogar_t cantidad de nutrientes en residuos del hogar kg

frDistriDesHogar p,t cantidad de residuos del hogar reutilizados en la UPP kg/kg FDB-M

Sal2HogarEn2As,t Desechos del hogar reutilizados en la USP kg

$ResHogar_t * frDistriDesHogar p,t$

ResHogar_t cantidad de nutrientes en residuos del hogar kg

frDistriDesHogar s,t cantidad de residuos del hogar reutilizados en la USP kg/kg FDB-M

Sal2HogarEn2Ar,t Desechos del hogar reutilizados en la UR kg
 $ResHogar_t * frDistriDesHogar_{p,t}$
ResHogar_t cantidad de nutrientes en residuos del hogar kg
frDistriDesHogar_{r,t} cantidad de residuos del hogar reutilizados en la UR kg/kg FDB-M

ResHogar_t cantidad de nutrientes en residuos del hogar kg
 $psResiduohogar * noConsHog * noDiasMest * frResiduosHogar$

psResiduohogar peso de residuos de hogar kg mo
noConsHog numero de consumidores en el hogar FDB-M
noDiasMest numero de días del mes días FDB-M
frResiduosHogar fracción de nutrientes en los residuos del hogar kg/kg om
 om-opcion del modelo

Manejo del Ganado

ContNEstiercols,t Cantidad total de nutrientes presentes en las excretas de animales kg
 Si
 $(psAlimDirecta + psAlimReqPast) < frMinAlimReq$

Entonces

$\sum_{a,t} (NoAnimalesta_{,s,t} * psExcDiariaExtiercolat * NoDiasMest * frEstiercolat)$

\sum_{ta} sumatoria de los tipos de animales

psAlimDirectaCons cantidad de peso seco consumido por alimentación 1

frMinAlimReq requerimiento de alimentación mínimo mo

NoAnimalesta_{,s,t} número animales de los diferentes tipos cabeza FDB-M

psExcDiariaExtiercolta peso seco de excreción diaria kg/animal/día BGDB

NoDiasMest número de días al mes FDB-M

frEstiercolta fracción nutrientes en los estiércoles por tipo de animal BGDB