



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Trabajo de Graduación
Para Optar al Grado de Maestro en Ciencias en
Manejo y Conservación de Recursos Naturales Renovables

Efectos de los sistemas de cultivo-arboles-pastos
sobre la erosión laminar y la calidad de suelo en la
micro cuenca Tecomapa, municipio de Somotillo-
Nicaragua

AUTOR

Ing. Esteban Antonio Avilés Silva

ASESORES

Ing. MSc. Reynaldo Bismarck Mendoza Corrales

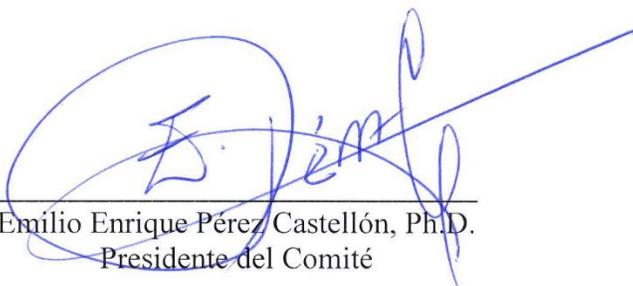
Ing. MSc. César Joaquín Aguirre Jiménez

Managua, Nicaragua

Abril - 2016

Esta fue aceptada en su presente forma por la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria y aprobada por el Comité Evaluador del estudiante: **Esteban Antonio Avilés Silva**, como requisito parcial para optar al grado académico de *Maestro en Ciencias en Manejo y Conservación de Recursos Naturales Renovables*. Por lo que se considera que llena los requisitos para ser presentado ante la comunidad científica de la Universidad Nacional Agraria.

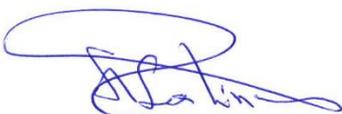
Firmantes:



Emilio Enrique Pérez Castellón, Ph.D.
Presidente del Comité



Ing. Gerardo Ulises Murillo Malespín, MSc
Secretario del Comité



Ing. Isidro Humberto Salinas Marcenaro, MSc.
Vocal del Comité

Lugar y fecha: Managua, 25 de abril de 2016

DEDICATORIA

Al Creador de los cielos y la tierra, por darme de su fuerza y sabiduría a todo lo largo de este proceso - aprendizaje y la capacidad de llegar a la finalización de ésta maestría.

A mi padre José Felipe Avilés Reyes (q.e.p.d), mi madre María Cristina Silva Río, a mi amiga, compañera y esposa Dora María Guadamúz Marín quienes me apoyaron de muchas maneras impulsándome a seguir adelante en los estudios y de esta manera llegar a un final exitoso.

A mis hijos Amy Zaira, Olman Antonio, Jorge Luis y Nancy Nohemí todos Avilés Guadamuz.

AGRADECIMIENTOS

Al fondo de Cooperación de Austria Proyecto Quesungual Forrajes ejecutado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)-Nicaragua, la Universidad Nacional Agraria (UNA) y el Instituto Nicaragüenses de Tecnología Agropecuaria (INTA).

A la Universidad Nacional Agraria (UNA) por apoyar y aprobar el soporte económico de los cursos de la maestría. Al personal del Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA), por su apoyo en los análisis de laboratorio. De igual manera a la Ing. MSc. Lucía del Carmen Romero (Vicedecana-FARENA) y al Dr. Efraín Acuña Espinales, quienes con mucha gentileza y gestiones apoyaron la realización de esta investigación.

Al colectivo de trabajo que apoyaron todo el tiempo; Orlando, Napoleón, Antonio, Bismarck, Glenda Bonilla, así mismo a los conductores: Máximo, Juan Castellón, Ronaldo, Pedro y Ernesto Sequeira, por ocupar parte de su tiempo en llevarnos al sitio de estudio para el respectivo monitoreo de campo.

De manera especial a los protagonistas: Roberto Pineda, Ernesto Pineda, Jerónimo Aguilera, Freddy Aguilera, Alberto Álvarez, Isidro Zúñiga, Juana Hernández y Teresa Rodríguez, por facilitar y apoyar incondicionalmente en el estudio.

Mis asesores y consejeros principales Ing. MSc. Reynaldo Bismarck Mendoza Corrales e Ing. MSc. César Joaquín Aguirre Jiménez, que con sus conocimientos sólidos y experiencia me brindaron sugerencias valiosas durante el desarrollo de la tesis.

A mis amigos por su apoyo en la finalización de mi estudio y tesis de Maestría en especial a Ing. MSc. Miguel Garmendia, Ing. MSc. Olman Narváez y Lic. Fátima Cortez.

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°		Pág.
Cuadro 1.	Descripción de los tratamientos por sistema de uso, Proyecto CIAT-Quesungual-Forraje, 2011.....	10
Cuadro 2.	Riesgo de erosión laminar de acuerdo a las pérdidas de suelo propuesta por la FAO, 1980.....	19
Cuadro 3.	Clasificación de la densidad aparente en los suelos.....	21
Cuadro 4.	Clase y tasas de infiltración y su relación con el potencial de erosión de suelos, 2014.....	23
Cuadro 5.	Clasificación del pH de los suelos del trópico de Nicaragua.....	26
Cuadro 6.	Rango de contenidos de materia orgánica y fósforo en el suelo.....	27
Cuadro 7.	Correlación múltiple entre sistemas de uso de la tierra y 10 indicadores de calidad de suelo. Datos muestreados en 2011, 2012 y 2013 en 3 fincas de la micro cuenca Tecomapa. La fila en el numerador representa el coeficiente de correlación y por debajo la probabilidad.....	44
Cuadro 8.	Correlación múltiple entre el rendimiento de maíz y frijol y 9 indicadores de calidad de suelo. Datos muestreados en 2011, 2012 y 2013 en 3 fincas de la micro cuenca Tecomapa. La fila en el valor superior representa el coeficiente de correlación y el valor en la parte baja representa la probabilidad.....	48

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		Pág.
Figura 1.	Ubicación del área de estudio, Valle la Danta y comunidad la Flor, municipio Somotillo departamento de Chinandega, Nicaragua.....	8
Figura 2.	Diseño y ubicación de las fincas, tratamientos y posiciones en las parcelas de muestreo permanente, micro cuenca Tecomapa, Somotillo, 2011 al 2013.....	11
Figura 3.	Mapa de orden de suelos y ubicación de las fincas donde se realizaron los ensayos del estudio, micro cuenca Tecomapa Somotillo.....	12
Figura 4.	Registro de precipitación (mm) la Danta y la Flor, micro cuenca Tecomapa - Somotillo, para los años 2011, 2012 y 2013.....	30
Figura 5.	Análisis de la tasa de erosión neta laminar en las parcela ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) a nivel de sistema (A), anualmente (B) y productores (C), micro cuenca Tecomapa.....	33
Figura 6.	Análisis de la dinámica de la erosión fraccionada, expresando en tasa de suelo depositadas o transporte de sedimento fuera de las parcelas ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) a nivel de sistemas (A), anualmente (B) y por productores (C), micro cuenca Tecomapa.....	35
Figura 7.	Análisis de la erosión total ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$) en relación a la pendiente, bajo cinco manejo de suelo, durante los años 2011, 2012 y 2013.....	36
Figura 8.	Análisis de la erosión fraccionada espacialmente ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) en relación a la posición alta y baja dentro de una parcela, bajo cinco manejo de suelo, 2011, 2012 y 2013.....	37
Figura 9.	Análisis estadísticos evaluados a nivel de tratamientos, de indicadores relacionados a la fertilidad química de los suelos: (A) contenido de fósforo, (B) Contenido de arcilla, (C) Materia orgánicas y (D) Acidez o pH del suelo. Monitoreo en la Micro cuenca Tecomapa 2012 y 2013.....	39
Figura 10.	Análisis estadísticos evaluados a nivel de tratamientos, de indicadores relacionados a la dinámica del agua en el suelo: (A) retención de humedad, (B) infiltración de agua en el suelo, (C) contenido de arcilla (%). Monitoreo en la Micro cuenca Tecomapa 2011, 2012 y 2013.....	40

Figura 11.	Por la posición de las parcelas con tratamientos en el relieve, se vuelven donante de sedimentos a las parcelas ubicadas agua abajo. Somotillo, 2011, 2012 y 2013.....	41
Figura 12.	Análisis de los componentes principales, presentación en el primer plano principal del primer y segundo componente de las propiedades físicas químicas de los suelos de la microcuenca Tecomapa, bajo cinco sistemas de manejo de suelo (Bs, SAQ, SSP, Pm y Q). Análisis basado en 90 datos de muestreo.....	45
Figura 13.	Análisis de indicadores de calidad relacionado a la producción de maíz y frijol en uso de la tierra de la microcuenca Tecomapa, bajo dos sistemas de manejo de suelo (SAQ y Q). Análisis basado en 90 datos de muestreo....	46
Figura 14.	Análisis de indicadores de calidad relacionado a la producción de maíz y frijol en uso de la tierra de la microcuenca Tecomapa, bajo dos sistemas de manejo de suelo (SAQ y Q). Análisis basado en 90 datos de muestreo....	49

INDICE DE FOTOS

FOTO N°		Pág.
Foto 1.	Establecimiento de parcela con tratamientos de quema (Q) en la finca de don Roberto Pineda, micro cuenca Tecomapa 2011, 2012 y 2013.....	14
Foto 2.	Establecimiento de Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) en la finca de don Isidro Zúñiga, micro cuenca de Tecomapa 2012, 2012 y 2013.....	14
Foto 3.	Bosque secundario (Bs) en la finca de doña Teresa Rodríguez, micro cuenca Tecomapa 2011, 2012 y 2013.....	15
Foto 4.	Establecimiento del Sistema Pecuario: a) Silvopastoril (SSP) en la finca de doña Teresa Rodríguez y b) pastos mejorado (Pm) en la finca de Roberto Pineda, 2011, 2012 y 2013.....	17
Foto 5.	Registro y lecturas diarias de lluvias a través del pluviómetro en los distintos fincas: a) finca de Roberto Pineda/parte alta, b) finca de Isidro Zúñiga/ parte media y c) finca de Teresa Rodríguez/ parte baja, micro cuenca Tecomapa Somotillo, durante los años 2011, 2012 y 2013.....	17
Foto 6.	a) Instalación de parcelas de clavos, b) monitoreo de erosión de suelos y c) cálculos de erosión y sedimentación de suelos en la parte alta y baja de cada parcela los años 2011, 2012 y 2013.....	19

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N°		Pág.
Anexo 1.	Croquis de la finca de Roberto Pineda, ubicada en la parte alta de la microcuenca Tecomapa, 2011.....	57
Anexo 2.	Croquis de la finca de Isidro Zúñiga, ubicada en la parte media de la microcuenca Tecomapa, 2011.....	58
Anexo 3.	Croquis de la finca de Teresa Rodríguez, ubicada en la parte baja de la microcuenca Tecomapa, 2011.....	59
Anexo 4.	Georeferenciación y localización de fincas y parcelas de los productores del proyecto Quesungual – forraje, Municipio Somotillo – 2011.....	60
Anexo 5.	Lista de especies encontradas en los bosques secundario de la microcuenca Tecomapa, Somotillo, 2005.....	61
Anexo 6.	Datos de lluvias de las distintas estaciones situadas en las diferentes fincas de la toposecuencia de la microcuenca Tecomapa, 2011, 2012 y 2013.....	62
Anexo 7.	Rendimiento estimado de la producción maíz en un área de 70 m ² , la Flor y la Danta, Somotillo, 2011, 2012 y 2013.....	63
Anexo 8.	Rendimiento estimado de la producción de frijol en un área de 70 m ² , la Flor y la Danta, Somotillo, 2011, 2012 y 2013.....	64
Anexo 9.	Datos de erosión y sedimentación en los suelos de la Flor y la Danta, Somotillo de los 2011, 2012 y 2013.....	65
Anexo 10.	Indicadores de calidad de suelos de la Danta y la Flor de la microcuenca Tecomapa Somotillo, 2011, 2012 y 2013.....	68
Anexo 11.	Indicadores relacionados a la fertilidad química de los suelos de la Danta y la Flor de la microcuenca Tecomapa Somotillo, 2011, 2012 y 2013....	71
Anexo 12.	Análisis de Varianzas de depósitos y erosión de suelos en los usos de tierra agrícola, 2011, 2012 y 2013.....	74
Anexo 12.1	ANOVA – Erosión y sedimentación (t ha ⁻¹ a ⁻¹) con relación a tratamientos, año y finca.....	74

Anexo 12.2	ANOVA – Erosión y sedimentación ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) con relación a la posición en el tratamiento.....	74
Anexo 12.3	ANOVA – Erosión y sedimentación ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) con relación a la pendiente.....	75
Anexo 12.4	ANOVA – Erosión y sedimentación ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) en relación a los tratamientos.....	76
Anexo 12.5	ANOVA – Erosión y sedimentación con relación al tiempo, 2011, 2012 y 2013.....	76
Anexo 13.	Análisis de Varianzas de los indicadores de calidad de suelos.....	77
Anexo13.1	ANOVA – Infiltración de agua en el suelo ($min\ pul^{-1}$).....	77
Anexo13.2	ANOVA – Contenido de arcilla en el suelo (%).....	77
Anexo13.3	ANOVA – Espesor orgánico del suelo (cm).....	78
Anexo 13.4	ANOVA – Retención de humedad (%).....	78
Anexo 13.5	ANOVA – pH del suelo (H_2O).....	79
Anexo 14.	Análisis de Varianzas de los indicadores de fertilidad química de suelos.....	80
Anexo 14.1	ANOVA – Materia orgánica del suelo ($kg\ ha^{-1}$).....	80
Anexo 14.2	ANOVA – Materia orgánica del suelo ($kg\ ha^{-1}$).....	80
Anexo 15	Análisis de componentes principales de la producción de maíz y frijol, en los sistemas agrícolas, 2011, 2012 y 2013.....	81
Anexo 15.1	ANOVA – Producción de maíz ($kg\ ha^{-1}$).....	81
Anexo 15.2	ANOVA – Producción de frijol ($kg\ ha^{-1}$).....	82
Anexo 16.	Análisis de componentes principales de los indicadores de calidad de suelos, en los sistemas agrícolas, 2011, 2012 y 2013.....	82
Anexo 17.	Análisis de componentes principales de la producción de maíz y frijol, en los sistemas agrícolas, 2011, 2012 y 2013.....	82

Avilés, S.E.A. 2016. Efectos de los sistemas de cultivo-arboles-pastos sobre la erosión laminar y la calidad de suelo en la micro cuenca Tecomapa, municipio de Somotillo-Nicaragua

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los efectos de los sistemas de cultivo-arboles-pastos sobre la erosión laminar y la calidad de suelo, en tres fincas de la micro cuenca Tecomapa, municipio de Somotillo-Nicaragua; fueron establecidas en cinco usos de la tierra: quema tradicional (Q); sistema agroforestal Quesungual (SAQ); bosque secundario (Bs); potreros mejorados con *Brachiaria sp- Marandú*, (Pm); y sistema silvopastoril (SSP), 30 sub parcelas de 10 m² con 10 varillas cada una, y monitoreados diez indicadores de calidad de suelo durante 2011, 2012 y 2013. Como resultado, la tasa de erosión neta positiva (ganancia) fue clasificada de moderada (10 a 50 t ha⁻¹ a⁻¹) en los sistemas de BS y Pm, y de alta (50 a 200 t ha⁻¹ a⁻¹) en los sistemas SAQ y SSP. La tasa de erosión neta (pérdida) fue clasificada de moderado únicamente en el sistema de quema agrícola (28.3 t ha⁻¹ a⁻¹). Procesos que ocurrieron mayormente en pendientes de 26 y 57%. La tasa de erosión dentro (ganancia) representó un 61.5% del total de la erosión neta, fenómeno asociado al uso de la tierra y probablemente a la forma del micro relieve. Estas tasas de erosión dentro de las parcelas ocurrieron mayormente en pendientes de 15 y 52%, en las partes bajas. La calidad de los suelos fue influenciada por los contenidos de MOS, contenidos que fueron mayores a 4000 kg ha⁻¹ en los sistemas SAQ, SSP y Bs. Este indicador fue correlacionado negativamente con el incremento de arcilla en el horizonte superficial de los suelos utilizados en pasturas por erosión previa. Finalmente, los indicadores de calidad de suelo que incrementan el rendimiento del cultivo de maíz y frijol fueron los altos contenidos de MOS, tasas de infiltraciones rápidas, y la presencia de suelos con pendientes altas únicamente para frijol.

Palabras claves: Bosque secundario, Quesungual, Silvopastoril, Pasto mejorado, Quema, erosión, depósito, sedimentos, pendiente, posición alta y baja.

Avilés, S. E.A. 2016. Effects of cropping systems - tree - grass on sheet erosion and soil quality in the micro basin Tecomapa, Somotillo – Nicaragua

SUMMARY

In order to evaluate the effects of cropping systems-tree-grass on sheet erosion and soil quality on three farms in the micro basin Tecomapa, Somotillo-Nicaragua; were established in five land uses: traditional burning (Q); ; Quesungual (SAQ) agroforestry system secondary forest (Bs); Improved pastures with *Brachiaria* sp- Marandú (Pm); and silvopastoral system (SSP), 30 sub plots of 10 m² with 10 pins each, and monitored ten indicators of soil quality during 2011, 2012 and 2013. As a result, the rate of positive net erosion (gain) was rated moderate (10-50 t ha⁻¹ a⁻¹) in the BS and Pm systems, and high (50 to 200 t ha⁻¹ a⁻¹) in the SAQ and SSP systems. The net rate of soil erosion (loss) was rated only moderately in the system of agricultural burning (28.3 t ha⁻¹ a⁻¹). Processes that occurred mostly on slopes of 26 and 57%. The rate of soil erosion within (gain) represented 61.5% of total net erosion rate, phenomenon associated with land use and probably the form of micro relief. These rates of erosion within the plots occurred mostly on slopes of 15 and 52%, in the lower parts. The soil quality was influenced by the contents of SOM, contents that were greater than 4000 kg ha⁻¹ in the SAQ, SSP and B systems. This indicator was negatively correlated with increasing clay in the surface horizon of soils used pasture by previous erosion. Finally, soil quality indicators that increase crop yields of corn and beans were the high levels of SOM, rapid infiltration rates, and the presence of soils with high only for bean earrings.

Key Words: Secondary forest, Quesungual, Silvopastoral, improved pasture, burning, erosion, deposition, sediment, slope, high and low position, indicators of soil quality, maize and beans.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE FOTOS	viii
INDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	xi
SUMMARY	xii
INDICE GENERAL	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II.- OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo General.....	6
2.2. Objetivos Específicos.....	6
2.3. Hipótesis.....	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.1 Ubicación del área de estudio.....	8
3.2 Caracterización biofísica del área de estudio.....	9
3.2.1 Clima.....	9
3.2.2 Suelo.....	9
3.2.3 Relieve.....	9
3.2.4 Uso actual de la tierra.....	9
3.2.5 Suelo.....	9
3.3 Estructura experimental.....	10
3.3.1 Manejo de los ensayos.....	11
3.4 Monitoreo de campo.....	18
3.5 Metodología de parcela de varilla e indicadores de calidad de suelos.....	18
3.5.1 Parcela de varillas para monitoreo de erosión.....	18
3.5.2 Densidad aparente (Da).....	21
3.5.3 Infiltración del agua en el suelo.....	22
3.5.4 Retención de humedad (%).....	23
3.5.5 Espesor orgánico del suelo.....	24
3.5.6 Textura.....	24
3.5.7 Materia orgánica en el suelo (MOS).....	25
3.5.8 Acidez del suelo (pH).....	25

3.5.9 Fósforo disponible en el suelo (P).....	26
3.6 Análisis estadístico de datos	27
3.7 Equipos utilizados en campo.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1 Precipitaciones	30
4.2 Dinámica de la erosión por sistemas de uso en Tecomapa 2011, 2012 y 2013.....	30
4.3 Comportamiento espacial de la erosión	35
4.4 Análisis de indicadores de calidad de suelo	38
4.4.1 Dinámica de los indicadores de calidad de suelos, Tecomapa 2011, 2012 y 2013.	38
4.4.2 Análisis multivariados.....	41
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES.....	51
VII.- LITERATURA CITADA.....	52
ANEXOS.....	56

I. INTRODUCCIÓN

Según (INIDE, 2007), se estima que en el año 2005 la pobreza general en Nicaragua es del 48.3% y la pobreza extrema del 17.2%. Mientras que, hay un 6.7% de pobreza extrema y 30.9% de pobreza general en la población urbana; en la población rural correspondió a 30.5%, respectivamente. Por otro lado, se estima que un 20% de la población de Nicaragua presenta problemas de desnutrición (INTA, 2005).

En Nicaragua y especialmente en el municipio de Somotillo departamento de Chinandega, la seguridad alimentaria depende de la producción de maíz y frijol. La reducción de la fertilidad del suelo por efecto de la erosión atentan contra la productividad, como consecuencia existen problema en la producción agrícola, esto se refleja en la crisis familiar campesina y en el deterioro progresivo de los recursos naturales, específicamente del suelo y la poca escasez de agua (INTA, 2005).

La presencia de un sistema de producción degradante como la tala y quema en la producción de granos básicos y las características edafoclimáticas de Somotillo indican que se deben introducir sistemas silvopastoriles y agroforestales (con alta concentración de leguminosas) como medida, para conservar y garantizar los rendimientos de maíz y frijol y poder obtener una estructura productiva que asegure la alimentación de los pobladores (INTA, 2005).

Según el CIAT 2014, la producción de granos básicos en la zona de Somotillo esta ejercida por pequeños y mediamos productores (con parcelas entre 3 y 8 has), y la actividad agropecuaria con presencia de bosque secundarios se localiza en productores medianos y grandes (fincas mayores a 8 has).

El Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), es una alternativa productiva y amigable con el ambiente que muchos agricultores están adoptando en la zona. Este sistema consiste en la aplicación de la técnica de siembra directa sin quema, cero labranza, manejo de rastrojos de cultivos, depósito de cobertura vegetal sobre la superficie del suelo, presencia de árboles dispersos en regeneración natural y cultivos de granos básicos de maíz y frijol en laderas de

altas pendientes (Welchez, 2002). El SAQ se originó en Lempira de Honduras y es el resultado de la interacción del conocimiento local con el técnico. Es un sistema de producción conservacionista, que incluye un buen manejo de los recursos naturales (cobertura y biomasa). Su aplicación tiene muchas ventajas tales como: a) contribuir a la seguridad alimentaria incrementando los rendimientos de cultivos y proporcionando productos adicionales como leña, la cual suple en un 80% las necesidades de las familias productoras en la zona, b) reducir la cantidad de uso de insumos y suplir las necesidades de consumo familiar c) reducir el número de días de trabajo, incrementando la eficiencia de la mano de obra y disminuir el uso de herbicidas, d) incrementar y conservar la retención de agua en el suelo entre un 8-23%, mejorar la calidad del suelo, la recuperación de los paisajes y la vida silvestre.

La evolución del sistema está soportada en el impacto sobre las comunidades donde se ha implementado y por una base de datos de 10 años del proyecto FAO Lempira Sur, Honduras, donde se ha demostrado que es posible garantizar la seguridad alimentaria y conservar los recursos naturales en laderas. Por ejemplo, en este área de Honduras los efectos del “huracán Mitch” en 1998, fueron reducidos por la presencia de estos Sistemas agroforestales (FAO, 2002). Dadas las características de adaptación de este sistema, se extrapolo a la zona de Somotillo y posiblemente a otras partes de Nicaragua.

Las tierras bajo condición de laderas en la región centroamericana y en particular Somotillo Nicaragua, son densamente pobladas (16,673 habitantes en un área de 6,778.77 m², equivalente a 6.86%) y dicha presión poblacional ejerce mayor presión sobre los recursos naturales, para el suministro de alimentos y otros bienes y servicios. La importancia de los suelos cultivados en las laderas no puede ignorarse, por aquellos agentes externos como el agua, el viento que van desgastando la superficie terrestre (Mendoza C. C., 2002).

La erosión de suelos es un proceso que se inicia cuando las gotas de lluvia impactan en el suelo y disgregan las partículas de éste; asimismo, la magnitud con que ocurre el fenómeno, depende del tamaño y la velocidad de las gotas de lluvia. De esta forma (Amezquita, 2004), define la erosión como la pérdida del potencial productivo del suelo, por deterioro de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas, afectando la calidad de los suelos o degradando los mismos.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 1991) publicó un set preliminar de indicadores ambientales y conceptos; sirviendo de base para la Soil Science Society of America quien estableció el concepto de calidad del suelo (Karlen D. M., 1997). El término calidad del suelo se empezó a usar ampliamente al reconocer las funciones del suelo: i) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); ii) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y iii) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran J. &, 1994); (Karlen D. M., 1997). Al desarrollar este concepto, también se ha considerado que el suelo es el substrato básico para las plantas; capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo (Larson, 1991); (Buol, 1995). En consecuencia, este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa (Parr, 1992).

Los indicadores de calidad de suelos son aplicados exitosamente en proceso de diagnósticos extensión e investigación participativa, a escala de parcela, finca y paisaje. Esto con el propósito de fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje entre la comunidad técnica y los agricultores, así como, mejorar el proceso de empoderamiento al introducir o rescatar buenas prácticas agrícolas y agropecuarias. El uso de métodos sencillos para valorar el estado de los suelos en campo es una información que se correlaciona con las obtenidas en el laboratorio. Los principales atributos de los indicadores de calidad de suelos son la utilidad para una variedad de usuarios y tomadores de decisiones, por ser fáciles de usarlos en campo, fácil de interpretar, económicos y por integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, entre otros. (Doran J. a., 1997); (Mendoza C. , 2014).

Los recursos naturales en Nicaragua han sido sobre explotados. Esto está generando un proceso acelerado de desertificación y de poca disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas para consumo. Los procesos de erosión y sedimentación también se han acelerado a pesar que Nicaragua es uno de los pocos países en Centro América que aún mantiene una considerable extensión de bosques (MARENA, 2000).

Según la misma fuente, la degradación del suelo se inicia con la eliminación de la cobertura vegetal, debido a la tala para extracción de madera o bien con la quema para siembra de cultivos y pasturas. La situación socio-económica precaria de los productores los obliga a despalar (inclusos áreas protegidas) y cultivar suelos degradados para satisfacer sus necesidades básicas, principalmente de alimentación.

La degradación de los suelos, también está relacionada con la distribución irregular de las lluvias que propician sequías e inundaciones. La baja seguridad alimentaria en las zonas rurales está asociada fundamentalmente a la baja fertilidad de los suelos y a la falta de financiamiento y apoyo de parte de las instituciones gubernamentales.

Las migraciones se producen por búsqueda de nuevas tierras para satisfacer las necesidades, sobre todo alimenticias, de la población más pobre, estas migraciones se dan cuando se agota la capacidad productiva del suelo en la zona de origen. La degradación medioambiental es muy grave en las áreas que por mucho tiempo han sido sometidas a un uso inadecuado para la producción de alimentos. El deterioro ambiental y la situación socioeconómica de los más pobres son progresivo. Las acciones dirigidas a la recuperación y rehabilitación de estas zonas degradadas no han sido muy eficientes.

La falta de información cuantitativa sobre el tema de la erosión en Nicaragua es un problema evidente, y con un atraso de 30 años en este tipo de estudios con respecto a otros países (Arreola, 2004). Por tanto, es necesario validar metodología de campo adecuada para evaluar el impacto de la erosión y su efecto en la calidad de los suelos y la productividad de cultivos y pastos. Generalmente la dinámica de la erosión en pasturas es más desconocida por la dificultad de instalar sistemas de monitoreo con presencia del ganado.

Los estudios de erosión han sido históricamente desvinculados a los procesos de mejora de la calidad de suelo que muchos proyectos promueven en zonas de laderas de Centro América. Lo cual reduce la visión integral del manejo sostenible de los suelos. De esta forma, los estudios integrales con participación de agricultores permiten mejorar el proceso de toma de decisiones para producir eco-eficientemente.

En el 2011, se definieron parcelas experimentales para evaluar los servicios ecosistémicos en 2011, 2012 y 2013. Este proceso incluyó el monitoreo a la erosión hídrica con el método de varillas. Para dicho ensayo fueron seleccionadas tres fincas con cuatro sistemas y cinco tratamientos, donde se ubicaron se instalaron varillas para evaluar la pérdida (erosión) y ganancia (sedimentación) de suelos en la parte alta y baja de cada parcela.

En este trabajo se pretende analizar y evaluar los procesos dinámicos de la erosión a través del método de varillas en campos abiertos, su relación con la calidad de suelo y los rendimientos de maíz y frijol sembrados al espeque durante tres años de monitoreo. Con el propósito identificar tanto las tasas de erosión y su dinámica, como también los factores relacionantes al rendimiento, y así poder responder a las interrogantes de investigaciones a continuación se describen:

- ¿Cuál es la tasa de erosión y su dinámica en sistemas de cultivos pastos-árbol-ganado en condiciones de laderas en la micro cuenca Tecomapa?
- ¿Cómo los sistemas Agroforestales han mejorado la calidad del suelo?
- ¿Cuál es la relación entre indicadores de calidad de suelo, erosión y rendimiento de los cultivos?

II.- OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar los efectos de los sistemas de cultivo-arboles-pastos sobre la dinámica de la erosión laminar de suelos, calidad del suelo y la productividad de los cultivos maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), en la microcuenca Tecomapa durante 2011, 2012 y 2013.

2.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar el efecto de los sistemas cultivo-arboles- pastos eco-eficientes sobre el control de la erosión laminar por el agua de lluvia y su dinámica en condiciones de tierra en laderas.
2. Evaluar la mejora de la calidad de suelos como estrategia de restauración que aportan los sistemas de árboles-cultivo-y pastos a los suelos en condiciones de ladera de la micro cuenca Tecomapa, utilizando indicadores sencillos de calidad de suelo.
3. Identificar la relación entre calidad de suelo (infiltración, retención de humedad, espesor agrícola, acidez, contenido de fósforo, materia orgánica y arcilla), erosión y rendimientos de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) bajo sistemas agroforestales.

2.3. Hipótesis

Ha1: Los sistemas agroforestales reducen la tasa de erosión laminar en sistemas abiertos de monitoreo a niveles ligeros (<5 t/ha/a) por efecto de su cobertura aérea y en el suelo.

Ha2: Los sistemas agroforestales restauran la calidad de los suelos al incrementar un 100% los contenidos de materia orgánica, la infiltración de agua, la retención de humedad en los suelos, y fijar más fósforo en los sistemas.

Ha3: Los rendimientos de cultivos de maíz y frijol se ven incrementados por la mejora de la calidad de suelo y la reducción de la tasas de erosión en los suelos de las laderas de la microcuenca Tecomapa.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

El valle la Danta y la comunidad de la Flor están ubicadas en la micro cuenca Tecomapa, perteneciente al municipio de Somotillo, departamento de Chinandega, a 18 km del casco urbano municipal y 87 km de la cabecera departamental. Situada entre las coordenadas 13°04'45" latitud norte, 85°47'25' longitud oeste 13°08'39" longitud norte, a 86°04'45" de longitud oeste, con una extensión de 14.04 km² (Figura 1).

El Valle de la Danta es dividida por el río Tecomapa de norte a sur, recorriendo una distancia de 5 km (lineales) y drenando a través de las quebradas el Chon, Jiñocuabo, Esperanza, Ocho, Borbollón, Gavilán y la Palma (INETER, 2014).



Figura 1. Ubicación del área de estudio, Valle la Danta y comunidad La Flor, municipio Somotillo departamento de Chinandega, Nicaragua.

3.2 Caracterización biofísica del área de estudio

3.2.1 Clima

El clima es subtropical con temperatura promedio anual de 25 °C, temperaturas máximas de 34 °C, las precipitaciones promedio anual oscilan entre 1,400 a 1,600 mm/año, con 6 meses secos (diciembre a mayo). Las zonas de vida es bosque seco tropical (IICA, 1987).

3.2.2 Suelo

Los suelos de la micro cuenca son de origen volcánico, bien drenado, originados de rocas volcánicas del Terciario Mioceno sobre un relieve escarpado. En su mayoría son suelos arcillosos friables, moderadamente profundos pertenecientes al orden Molisol y los subgrupos taxonómicos: Udic Argiustols (98%), y Lithic Haplustols y Paralithic Entic Haplustols, (2%).

3.2.3 Relieve

Las condiciones topográficas dentro del bosque se consideran irregulares en su mayoría. Sin embargo, existen puntos medios ondulados dentro del bosque y accidentado de 100 m a 200 msnm. La micro cuenca en estudio se caracteriza por tener suelos franco arenoso apto para la siembra de granos básicos, predominando las pendientes con inclinación entre 50 y 80 % y alturas entre los 200 y 500 msnm (INTA, 2005).

3.2.4 Uso actual de la tierra

El uso actual de tierra presenta 30% de las tierras bajo uso agrícola, 40% en pasturas tradicionales, 30% de bosque.

Los tipos de suelos identificados fueron: Entisol que representan el 23 % (2.40 km²); los Molisoles representan el 43 % (4.6 km²); los Alfisol, representan el 28 % (2.9 km²); y los Vertisoles representan el 6 % (0.6 km²), (Rodríguez, 2008).

3.2.5 Suelo

Los tipos de suelos identificados fueron: Entisol que representan el 23 % equivalente a 2.40 km²; los Molisoles representan el 6% igual a 0.6 km²; Alfisoles el 28% (2.9 km²) y los suelos Vertisoles un 6% equivalente a 0.6 km²

3.3 Estructura experimental

Para la selección del área de estudio se tomaron varios criterios como: i) propietario de la tierra; ii) colaboración del productor en las actividades y demandas del proyecto; iii) fincas ubicadas en la parte alta, media y baja de la microcuenca; iv) capacidad y disposición de facilitar un área de 3.16 has (1.05 ha para SAQ y 2.11 ha para SSP); v) terreno con linderos dentro de una sola finca; vi) dispuestos a probar con las variedades mejoradas de granos básicos y nuevos forrajes seleccionado por consenso; vii) poseer un bosque secundario de al menos 0.35 has; viii) saber leer y escribir y ix) disponibilidad de mano de obra

Las fincas seleccionadas por su posición en el transecto de la micro cuenca Tecomapa fueron: Roberto Pineda, ubicada en la parte alta, Isidro Zúñiga (parte media) y Teresa Rodríguez (en la parte baja); donde se establecieron los sistemas de varillas para evaluar la erosión (Anexos 1, 2 y 3). Adicionalmente, dentro de cada finca se establecieron cuatro sistemas y cinco tratamientos (Cuadro 1), donde se establecieron parcelas por cada tratamiento de forma heterogénea en la parte alta y baja, ubicándose set de varillas para estimar la erosión (Figura 2). El diseño fue bloque completamente al azar (BCA), surge por la necesidad de ejercer un control local de la variación dado la existencia de un material experimental heterogéneo (Montgomery, 2015).

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos por sistemas de uso, Proyecto CIAT-Quesungual-Forraje 2011.

Sistema	Códigos	Descripción de Tratamientos	Área
			Has
Forestal	Bs	Bosque secundario, con diez años mínimo de establecido	0.53
Agrosilvícola	SAQ	Sistema Quesungual con árboles dispersos y regulación de sombre. Donde se siembra maíz de primera y frijol de postrera.	0.11
Silvopastoril	Pm	Pastura mejoradas en potreros con escasa cobertura de árboles.	0.53
	SSP	Pastura mejorada (<i>B. Humidicola</i>) en potrero con buena cobertura de árboles, como son los sistemas silvopastoril.	
Agrícola	Q	Sistema tradicional de tala y quema (testigo extremo). Donde se siembra maíz de primera y frijol de postrera.	0.11

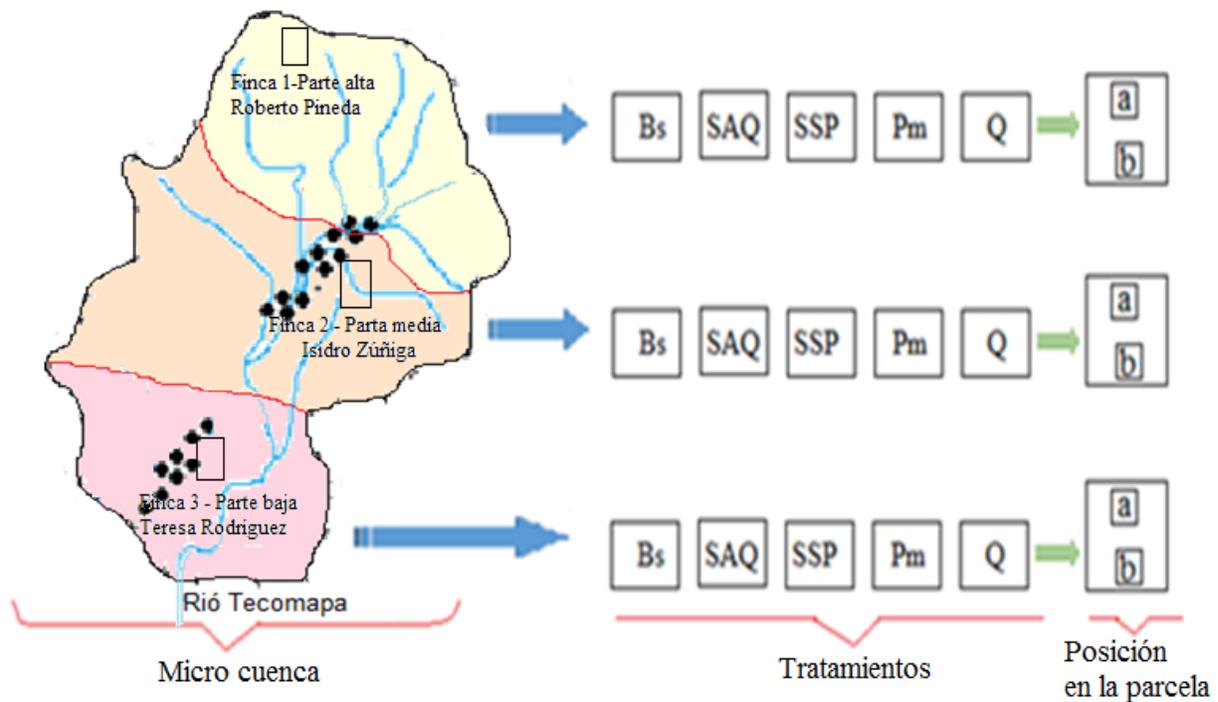


Figura 2. Diseño y ubicación de las fincas, tratamientos y posiciones en las parcelas de muestreo permanente, micro cuenca Tecomapa, Somotillo, 2011, 20112 y 2013.

3.3.1 Manejo de los ensayos

Se procedió a geo-referenciar las parcelas en las fincas con sistemas y tratamientos de cada productor (Anexo 4); ubicadas a lo largo del transecto de la micro cuenca Tecomapa, así como la parte alta, media y baja, distribuida en órdenes de suelos Alfisol, Entisol y Vertisol respectivamente (Figura 3), según estudio no publicado de levantamiento de suelos en la micro cuenca la Danta Somotillo (Rodríguez, 2008).

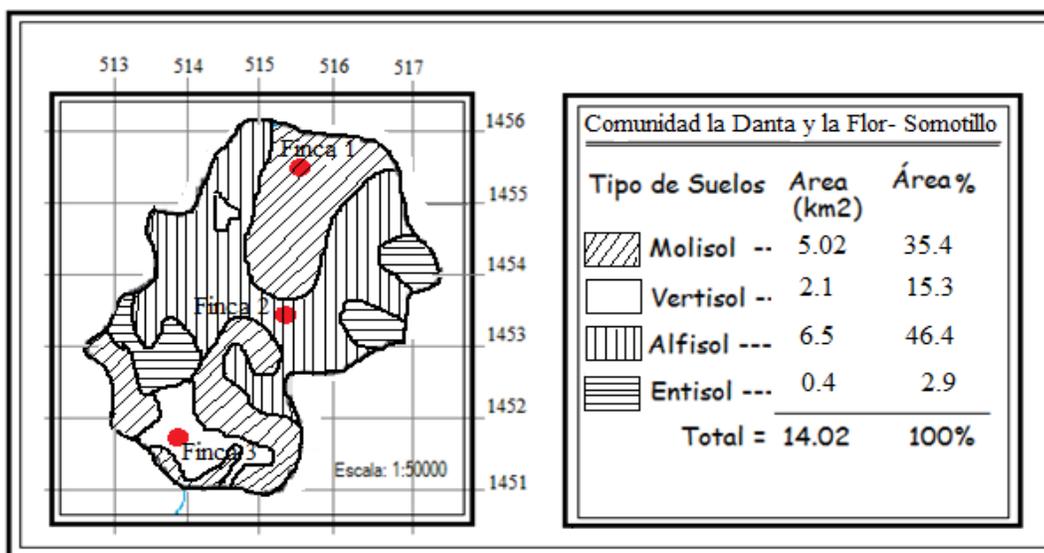


Figura 3. Mapa de orden de suelos y ubicación de las fincas donde se realizaron los ensayos del estudio, micro cuenca Tecomapa Somotillo.

Las unidades experimentales se establecieron en el año 2011; antes de su establecimiento se realizó un inventario florístico, para identificar las especies arbóreas de uso múltiple (Anexo 5) presentes en la micro cuenca Tecomapa y un estudio de suelo para su clasificación (INTA, 2005).

Los sistemas Agroforestal Quesungual y Silvopastoril, es una opción para incrementar los rendimientos, de los cultivos de maíz, frijol y pastura y reducir la erosión hídrica a través de mejora de la calidad de los suelos.

3.3.1.1 Sistema Agrícola

Los sistemas agrícolas son un subconjunto de los sistemas ecológicos, y posee al menos un componente vivo. En este sistema se estableció parcela de quema con manejo tradicional (Q), el cual consiste en tala y quema para establecer cultivo de maíz y frijol con uso de fertilizante, en un área de 0.11 ha (Foto 1).

3.3.1.1.1 Establecimiento de los Cultivos Maíz y Fríjol

Se establecieron los cultivos de maíz y fríjol en los sistemas de uso tradicional quema (Q) y en los sistemas agroforestal (SAQ). Se implementó una rotación de cultivos en dos épocas de siembra primera maíz (15 al 20 de mayo) y postrera fríjol (6 al 15 de septiembre), obteniéndose resultados de rendimientos (Anexo 7 y 8) de los años 2011 al 2013 en ambos cultivos.

❖ *Maíz*

Siembra al espeque (por sitio), distancia de siembra de 75cm entre planta y surco, para densidades de 42,436 plantas/ha. Se depositó tres semillas por sitio, se raleo a los 15 días de germinado y se dejó 2 plantas por postura, la semilla utilizada fue de NB-6, el marco de siembra utilizado fue tres bolillo (en triángulo).

Manejo agronómico

Fertilización: se fraccionó en dos momentos, se aplicó 22.74 kg de P ha⁻¹ y 20.46 kg de N ha⁻¹ al momento de la siembra, y a los 25 días se suministró 30.15 kg de N ha⁻¹, se realizó manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas.

❖ *Fríjol*

Siembra al espeque, colocando tres semillas por postura, la distancia de siembra fue de 60 cm entre planta y surco, para densidades de 83,333 plantas/ha, usando el marcos de siembra tres bolillos, la variedad de semilla utilizada fue INTA ROJO.

Manejo agronómico

Fertilización: se aplicó única dosis de 22.74 kg de P ha⁻¹ y 20.46 kg de N ha⁻¹ al momento de la siembra y se realizó manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas. La cosecha se realizó manual a la madurez fisiológica en ambos cultivos, se establecieron parcelas útiles en área de 70 m². En la parte céntrica de las parcelas para evitar el efecto de borde.



Foto 1. Establecimiento de parcela con tratamientos de quema (Q) en la finca de Roberto Pineda, micro cuenca Tecomapa 2011, 2012 y 2013.

3.3.1.2 Sistema Agrosilvícola

En este sistema se establecieron parcelas de Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), con variedades mejoradas NB-6 e INTA ROJO. El área de la parcela es de 0.11ha (Foto 2).

En las parcelas del SAQ se realizó manejo silvícola, para las especies arbóreas (poda, raleos y manejo de regeneración natural), con el objetivo de regular sombra para ayudar al desarrollo de los cultivos de maíz y frijol.



Foto 2. Establecimiento de Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) en la finca de Isidro Zúñiga, micro cuenca de Tecomapa 2011, 2012 y 2013.

3.3.1.3 Sistema Forestal (Bosque)

Estudios realizado por (Tally, 2006) en los bosques de la micro cuenca Tecomapa, determinaron que están formado por 47 especies y 18 familias botánicas (Anexo 5); y de acuerdo al estudio florístico se determinó que es un bosque secundario joven aproximadamente de 10 años de edad, distribuidas en parches boscosos sin siembra de cultivo.

Por otra lado (Quesada, 2009), considera un bosque secundario como un umbral ecológico, tierras con vegetación leñosa de carácter sucesiones secundaria que se desarrolló una vez que la vegetación original ha sido eliminada por actividades humanas y/o fenómenos naturales, con una superficie mínima de 0.5 ha, y ecológico por darse cambio abrupto en un ecosistema y que produce a su vez, cambios a largo plazo, persistentes y potencialmente irreversibles (Foto 3).

Los bosques secundarios por su posición en el relieve o toposecuencia se convierten en donantes de sedimentos (MARENA, 2000), para las mayorías de las parcelas ubicadas en dirección aguas abajo de la misma.

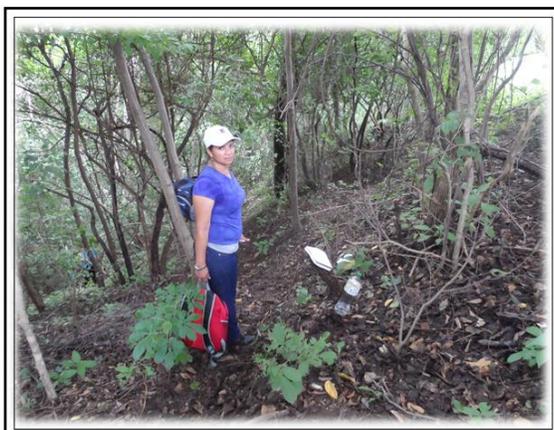


Foto 3. Bosque secundario (Bs) en la finca de Teresa Rodríguez, micro cuenca Tecomapa 2011, 2012 y 2013.

3.3.1.4 Sistema Pecuario (Pastura)

Se establecieron parcelas con tratamientos de pastos variedad (*Brachiaria sp- Marandú*), es una especie adaptada al suelo de mediana a alta fertilidad y a regiones calientes, situadas entre 0 -

2,000 msnm de altitud, donde la precipitación pluvial excede los 1,000 mm promedio anual, tolera fuego y heladas leves (INTA, 2005).

En la parcela de pastura (0.53 ha) se establecieron sub-parcelas (22.5 m²), con pastos mejorados (Pm) y Silvopastoriles (SSP), variedad *Brachiaria sp-Marandú*. (Foto 4)

3.3.1.4.1 Establecimiento del Cultivo de Pastura (Brachiaria sp- Marandú)

La preparación en terrenos pendientes debe ser mínima y en franjas a curvas de nivel, distancia entre franjas dependiendo del grado de la pendiente y del potencial de erosión del suelo y sembrándose con labranza mínima (Ayarza & Spain, 1991).

Se establecieron dos sistemas: a) Sistema con árbol o silvopastoril con variedad de pasto (*Brachiaria sp - Marandú*), estableciéndose 9.6 libras de semillas por manzana, sembrándose al espeque, depositando de 4 a 5 semillas por golpes en un cuadrante de 24 pulgadas, y b). Sistema de siembra sin árbol (Pm), siendo igual manejo que el sistema silvopastoril (SSP).

Manejo agronómico

Antes de la siembra se aplicó Glifosato (N-fosfometilglicina, C₃H₈NO₅P) a razón de 2 litros por manzana, y cuando el pasto tenía un mes de emergido se aplicó 1 litro de Potrerón, para el control post-emergente de malezas de hoja ancha (*Chromolaena odorata L.*), tanto anuales como perennes, herbáceas o leñosas, en potreros y áreas sin cultivo. El pasto se estableció los últimos 15 días del mes de julio del 2011

El primer pastoreo se realizó a los cuatro meses después de la siembra cuando se observó que la pradera presenta más de un 90 % de cobertura (Miranda, 2009).

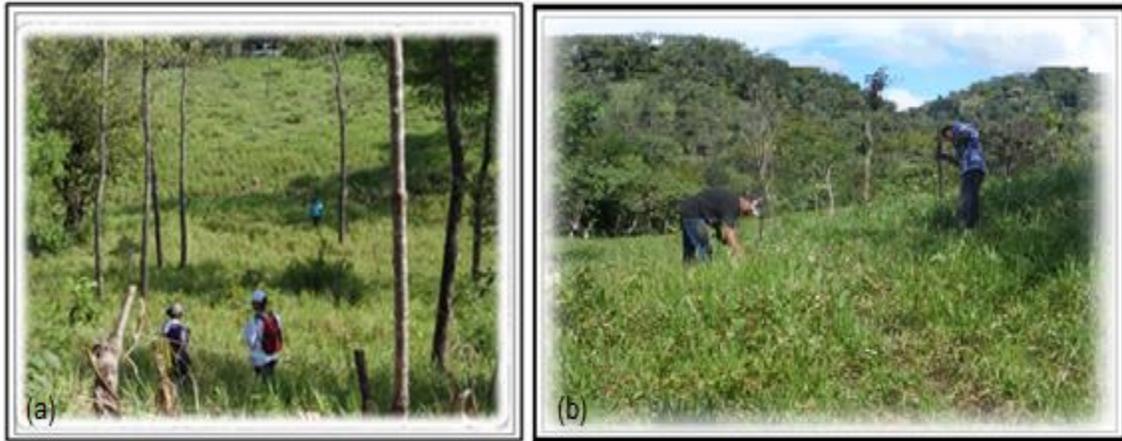


Foto 4. Establecimiento del Sistema Pecuario: a) Silvopastoril (SSP) en la finca de Teresa Rodríguez y b) pastos mejorado (Pm) en la finca de Roberto Pineda, 2011, 2012 y 2013.

3.3.1.5 Instalación de Pluviómetro

Se instaló un pluviómetro en cada finca para la medición diario de lluvia o precipitación por el agricultor (Foto 5), los que fueron ubicados en diferentes posiciones del relieve a lo largo de la toposecuencia; parte alta Jerónimo Aguilera, parte media Isidro Zúñiga y en la parte baja Teresa Rodríguez. Según, (Mendoza M. T., 1994), se toman las lecturas y se anotan en una libreta de campo la cantidad de lluvia caída después de cada evento (Anexo 6).



Foto 5. Registro y lecturas diarias de lluvias a través del pluviómetro en los distintos fincas: a) finca de Roberto Pineda/parte alta, b) finca de Isidro Zúñiga/ parte media y c) finca de Teresa Rodríguez/ parte baja, micro cuenca Tecomapa Somotillo, durante los años 2011, 2012 y 2013.

3.4 Monitoreo de campo

El monitoreo de lectura y levantamientos de datos se realizó en los meses febrero, los días 15 al 25, y septiembre los días 25 al 27 de cada año 2011, 2012 y 2013. En cada sistema de uso se realizó un muestreo de suelo para caracterizar los parámetros físicos y químicos más relevantes sobre el estado de la calidad de suelos, utilizando indicadores (infiltración del agua en el suelo, pendiente, espesor orgánico del suelo, retención de humedad, varillas de erosión de suelos) sencillos de campo. Se extrajeron muestras de suelos alterada (bolsas) y no alterada usando un cilindro de volumen conocido a una profundidad 0-10 cm. La materia orgánica del suelo (MOS), densidad aparente (Da), porcentaje de humedad y textura del suelo se determinaron en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) de la UNA. Los indicadores pendiente, espesor de suelo e infiltración, se midieron en campo directamente en las posiciones altas y bajas de cada parcela, también el rendimiento estimado de maíz y frijol en área útil de 70 m², respectivamente. (Anexos 7 y 8).

3.5 Metodología de parcela de varilla e indicadores de calidad de suelos

3.5.1 Parcela de varillas para monitoreo de erosión

Los datos de erosión se monitorearon una vez pasado el invierno o época de lluvia. Realizándose, una lectura por cada varilla con la cinta métrica. Si la lectura era mayor de 10 cm, el dato es erosión (pérdida), y si la lectura era menor de 10 cm es sedimentación (ganancia) de suelos respectivamente (Foto 6). Después de la toma de datos, las varilla o clavo es removido con tenaza y enterrado a una profundidad de 20 cm con la ayuda de martillo o mazo. (Anexo 9)

El método de clavos puede considerarse uno de los más sencillos y fáciles de aplicar para cuantificar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica. (PASOLAC, 2005).

Se establecieron un total de 300 varillas de erosión anualmente en las tres fincas de estudio, distribuidas de la siguiente manera: 100 varillas por fincas, de las cuales 20 varillas se monitorearon en cada una de las cinco parcela o tratamiento, estas veinte varillas fueron divididas a la vez en un set o sub parcela de 10 varillas ubicadas en la parte alta y baja de la

misma parcela. Cada sub parcela representó un área de 10 m², es decir un metro cuadrado por varilla. Estas fueron enterradas 10 cm, y pintadas para facilitar su localización durante el monitoreo (Foto 6). El método fue originado en el Colegio Postgraduados Chapingo 1982, y modificado para adaptarlo a diferentes topografías de Nicaragua por (Mendoza M. T., 1994). (Somarriba, 1989), y (Mendoza M. T., 1994), cuantificaron pérdida de suelo en ocho parcelas con pendientes diferentes y cultivos diversos. La pérdida de suelo, se valora el riesgos de erosión laminar o pérdida de suelos (Cuadro 2), propuesta por la (FAO, Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos, 1980).

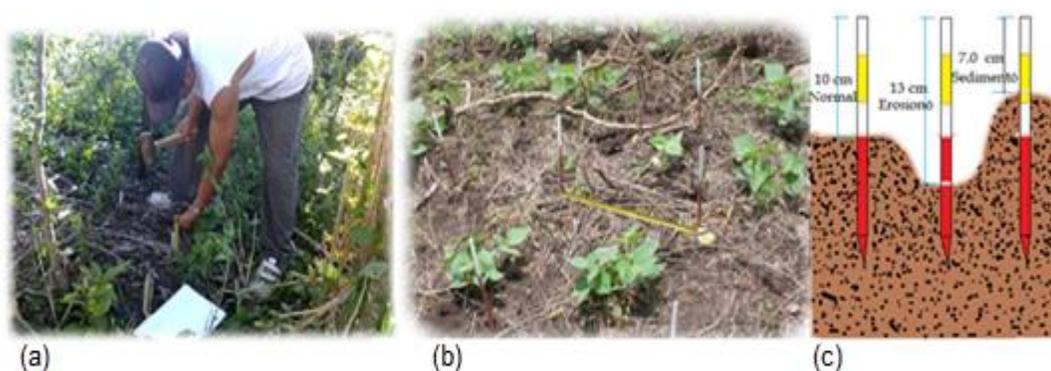


Foto 6. a) Instalación de parcelas de clavos, b) monitoreo de erosión de suelos y c) cálculos de erosión y sedimentación de suelos en la parte alta y baja de cada parcela los años 2011, 2012 y 2013.

Cuadro 2. Riesgos de erosión laminar de acuerdo a las pérdidas de suelo propuesta por la FAO, 1980.

GRADO DE EROSIÓN	PÉRDIDA DE SUELO	
	(t ha ⁻¹ año ⁻¹)	(mm año ⁻¹)
Ligero	< 10	< 0.6
Moderado	10 - 50	0.6 – 3.3
Alto	50 - 200	3.3 – 13.3
Muy alto	>200	>13.3

Para cuantificar la lámina de suelo erosionada o sedimentada se hace a través de las siguientes ecuaciones:

Erosión fuera de la parcela (pérdida) $S_f = Da * He * A$

Dónde:

Sf = suelo erosionado fuera de la parcela (t ha⁻¹)

Da = densidad aparente (g/cm³, ó t/m³)

He = altura de suelo perdido (cm)

A= área de medida (m²)

Erosión dentro de la parcela (ganancia) $Sd = Da * Hs * A$

Dónde:

Sd=suelo sedimentado dentro de la parcela (t ha⁻¹)

Da= densidad aparente (g/cm³, ó t/m³)

Hs = altura de suelo sedimentada (cm)

A = área medida (m²)

Erosión neta (balance entre ganancia y pérdida) $En = Se - Ss$

Dónde:

En= Erosión neta (t ha⁻¹ año⁻¹)

Se= Suelos erosionado (t ha⁻¹ año⁻¹)

Ss= Suelo sedimentada (t ha⁻¹ año⁻¹)

La pérdida de suelo es causada por diferentes agentes como es la lluvia, el viento y deslizamiento de placas. Estas pérdidas de suelos son más severas en zonas de laderas, haciéndose más fuerte en las primeras etapas de los cultivos cuando el suelo está descubierto y expuesto al golpe directo de las gotas de lluvia (erosión hídrica), y su vez destruyen las propiedades físicas del suelo (Narro, 1994).

La importancia de los suelos cultivados en las laderas, no puede ignorarse, debido que un 79% del maíz se cultiva en estas áreas y el 100% de frijoles. Además de la producción de cultivos, las laderas también tienen importante usos para la silvicultura, la producción animal y la gestión de los recursos hídricos (Mendoza C. C., 2002).

3.5.2 Densidad aparente (Da)

Éste indicador se determinó por el método mencionado por (Forsythe, 1950), el cual consiste en tomar una muestra de suelo en un cilindro de volumen conocido, se seca a una temperatura de 105°C por 24 horas y se calcula los datos mediante la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{P_{ss}}{V_c}$$

Dónde:

Da = densidad aparente (g/ cm³)

Pss = peso de suelo seco (g)

Vc = Volumen del cilindro (cm³)

El incremento de los valores de la Da se asocia con la disminución del espacio poroso, el incremento de la conductividad térmica, el grado de compactación o adensamiento natural del suelo. La reducción del espacio poroso es responsable del drenaje rápido del exceso de agua y por ende de la aireación (Pla, 1983).

Según (Doran J. &., 1994), la densidad aparente está incluida dentro de un grupo de parámetros cuya medida es necesaria para evaluar la calidad de un suelo; sus valores dependen de muchos factores incluyendo la estructura y materia orgánica, la resistencia mecánica al enraizamiento y la cohesión del mismo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación de la densidad aparente en los suelos

Unidad de la Densidad aparente (g/cm ³)	Clasificación
<1.0	Muy bajo
1.0 – 1.2	Bajo
1.2 – 1.4	Medio
1.4 – 1.6	Alto
>1.6	Muy alto

Fuente: (Cairo, 1995)

3.5.3 Infiltración del agua en el suelo

La infiltración de agua depende de muchos factores, tales como espesor del suelo, humedad del suelo, cubierta vegetal, tipo vegetal y pendiente, por lo que su estimación confiable es difícil y requiere de una comparación entre varios parámetros. La infiltración es el proceso de penetración del agua en el suelo; por tanto es inverso al proceso de escorrentía del agua de lluvia, la velocidad de la misma depende de los tipos de suelo, la estructura o grado de agregación y del contenido de agua en el mismo. (Mendoza C. , 2014). La velocidad de infiltración puede reducir o aumentar la escorrentía superficial y con ello el peligro de erosión hídrica.

Esta prueba se realizó en los tratamientos de cada finca, situada a lo largo de la posición del relieve (parte alta y baja del transecto), utilizando anillo Infiltrómetro de 15 cm de diámetro y 15 cm de altura, enterrándose a 1.5 pulgada de profundidad con la ayuda de un mazo; se realizaron dos réplicas por posición. Este fue instalado a dos metros de distancia cada uno en forma horizontal. El volumen estimado para una lámina de 2.54 cm (1 pul) fue de 448.9 ml; usando una probeta volumétrica se graduó y marco con marcador permanente en una botella plástica para agilizar dicha prueba (Anexo 10). Para no disturbar la superficie de suelo al momento de verter el agua, se cubrió este con un plástico y se quita lentamente a la vez que se pone en marcha el cronómetro o reloj. Los datos se anotan en un formato de campo donde se registra el tiempo inicial y final de cada replica respectivamente. El volumen de agua a infiltrar se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$Vc = (\pi * r^2) * H$$

Donde:

Vc = Volumen del cilindro (cm³)

π = pi (3.1416)

r = radio

H = altura de la lámina de agua 1 pulgada

Se admite que tanto a escala de parcela como de cuenca, la permeabilidad y capacidad de infiltración presentan una gran variabilidad espacial y temporal. Esa variabilidad es particular

de cada suelo y depende de diferencias texturales y composicionales, así como de los usos al que sea destinado (Vieira, 1983).

La interpretación de los resultados de una prueba de infiltración de agua en el suelo está asociada a tipo de textura o material en el sub-superficie del suelo. (Mendoza C. , 2014). Cuadro 4.

Cuadro 4. Clase y tasas de infiltración y su relación con el potencial de erosión de suelos, 2014.

Tasa de infiltración (min/pul)	Tasa de Infiltración (mm/h)	Clasificación infiltración
<3	<508	Muy rápido
3 – 10	152 – 508	Rápido
10 – 30	50 – 152	Moderadamente rápido
30 – 100	15 – 50	Moderada
100 – 300	5 – 15	Moderadamente lenta
300 – 1000	1.5 – 5	Lenta
1000 - 40000	0.03 – 1.5	Muy lenta
>40000	>0.04	Impermeable

Fuente: (FAO, Land evaluation for forestry forestry paper, 1984); modificado por (Mendoza C. , 2014).

3.5.4 Retención de humedad (%)

Estas características permiten clasificar el suelo y establecer valores aproximados con otras propiedades, utilizando relaciones empíricas (Tafur, 2006).

Ésta se determinó mediante la toma de muestra alterada de suelos. Cada muestra se pesó con la respectiva humedad de campo, pesándola nuevamente luego de haberse sometido a 105 °C por más de 24 horas.

El contenido de agua en el suelo se basa en el peso del suelo a humedad de campo y el mismo secado en estufa y se expresa en unidades de masa o de volumen por unidad de volumen (Baver, 1972).

El contenido de humedad para un mismo punto del suelo es muy variable tanto en tiempo como en distancia y profundidad. El contenido de agua del suelo se puede expresar en tres formas

generales: a) contenido volumétrico, b) contenido gravimétrico y c) lámina de agua (Narro, 1994).

La determinación de la humedad gravimétrica se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$H(g) = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

Dónde:

H(g) = Humedad (gravimétrica) (%)

Psh = Peso de suelo húmedo (g)

Pss = Peso de suelo seco (g)

3.5.5 Espesor orgánico del suelo

El horizonte superior (A) puede presentar espesores algo mayores a los 20 cm y contener hasta 2%-3% de materia orgánica, aún en aquellos suelos muy pedregosos. De acuerdo al sistema de clasificación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2006), estos corresponden principalmente a los tipos Molisoles y Entisoles.

Para determinar el espesor orgánico del suelo se abrieron hoyos con la siguiente dimensiones: 16 cm de ancho y 25 cm de profundidad (según el tipo de tratamiento), ubicados en las parcelas de los tratamientos y en las distintas posiciones (parte alta y baja). Para este ensayo se usó un pala punta cuadrada de 16.0 cm de ancho por 37.0 cm de alto, la medición de la profundidad se realizó con una cinta métrica mediante el color observado en el sitio.

3.5.6 Textura

Se realizó por el método del hidrómetro, consiste en determinar la cantidad de sólidos en suspensión de una muestra de suelo, disuelta en una probeta de 1000 ml de agua con dispersante Hexametáfosfato. Así, después de 40 segundos de agitación de la muestra, todas las partículas con 2 mm de diámetro se sedimentan, de tal manera que no influyan sobre la función del

hidrómetro, ya que la flotación de éste, varía con la densidad de la suspensión y también con la textura. La lectura realizada dos horas después, corresponde a las partículas menores de 0.002 mm. En esta prueba se obtiene el porcentaje de arenas, limos y arcillas de una muestra de suelo, finalmente, con los valores obtenidos y por medio del triángulo textural, se determina el tipo de textura (Pavón, 2008).

3.5.7 Materia orgánica en el suelo (MOS)

La materia orgánica del suelo mejora la textura, aumenta la capacidad de retención de agua, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, es fuente de nutrientes y facilita la asimilación de fósforo, es fuente de gas carbónico y aumenta la actividad biológica del suelo; además dependen de muchos factores como clima, relieve, vegetación, organismos del suelo, composición mineralógica del suelo, y el uso del suelo (FAO, Informe final. El sistema Agroforestal Quesungual, 2005).

Para la caracterización e identificación de los contenidos de MOS en el ensayo, se extrajeron muestras de suelo en la parte alta y baja de cada tratamiento, a profundidades de 0 a 10 cm. Para el muestreo se utilizó un barreno de cilindro de 6.5 pulgadas de alto y 3.25 pulgadas de diámetro; bien identificada la muestra, se llevó al laboratorio, donde se determinó materia orgánica por el método de Walter and Black; este se basa en la oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio en medio ácido en una muestra de suelo tamizado a 0.5 mm, y se determina mediante la ecuación $\%MOS = (C - D) * 1.34 * N_2$ (Walkley, 1946).

Donde:

- C= ml de sulfato ferroso en la muestra del blanco
- D= ml de sulfato ferroso en la muestra de suelo
- 1.34= Valor constante
- N₂= normalidad del sulfato ferroso

3.5.8 Acidez del suelo (pH)

El pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). El grado de acidez o alcalinidad de un suelo es determinado por medio de un electrodo de vidrio en un contenido de humedad específico o

relación de suelo-agua, y expresado en términos de la escala de pH. El valor de pH es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno, que se expresa por números positivos del 0 al 14. Tres son las condiciones posibles del pH en el suelo: la acidez, la neutralidad y la alcalinidad.

Para la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico o pHmetro (Willarh, 1974); (Bates, 1983). Este se basa en pesar 1g de suelo y se deposita en un vaso de 25 ml agregándole 10 ml de agua destilada; se agita por un tiempo de 30 minutos y listo para leerse (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación del pH de los suelos del trópico de Nicaragua (Quintana J. *et, al*, 1983).

Rango del pH (H ₂ O)	Clasificación
<4.5	Extremadamente ácido
4.6 – 5.2	Muy frecuentemente ácido
5.3 – 5.6	Fuertemente ácido
5.7 – 6.2	Medianamente ácido
6.3 – 6.6	Ligeramente ácido
6.7 – 6.8	Muy ligeramente ácido
6.9 – 7.2	Neutro
7.3 – 7.4	Muy ligeramente alcalino
7.5 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Medianamente alcalino
8.5 – 8.8	Fuertemente alcalino
8.9 – 9.4	Muy fuertemente alcalino
>9.4	Extremadamente alcalino

3.5.9 Fósforo disponible en el suelo (P)

La planta debe tener P para cumplir su ciclo normal, ya que absorben la mayor parte del P como ion ortofosfato primario (H₂PO⁻⁴), el pH del suelo influye en gran parte en la absorción de estas formas de P. El P en el suelo se mueve muy poco en la mayoría de los suelos, por lo general se mantiene en el lugar que lo colocaron ya sea por meteorización o por fertilización; muy poco P se pierde por lixiviación, aun cuando sean suelos arenosos. Las dos formas únicas significativas de pérdida de fósforo en los suelos es la erosión que mueve las partículas del suelo y la remoción en el cultivo (Pavón, 2008).

Se usó el método Olsen, consistiendo en una muestra extraída de una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) de pH 8.5. El fosfato en el extracto es determinado colorimétricamente con el método del color azul de molibdato de amonio con ácido ascórbico como agente reductor. (Olse, 1982). Cuadro 6.

Cuadro 6. Rango de contenidos de materia orgánica y fósforo en el suelo.

Nutrientes	Unidad	Rangos		
		Pobre	Medio	Alto
Materia Orgánica (MO)	(%)	<2	2 - 4	>4
Fósforo (P)	(ppm)	<10	10 - 20	>20

Fuente: Quintana J, *et, al*, 1983

3.6 Análisis estadístico de datos

Los cinco tratamientos sujetos de estudio fueron: el bosque secundario (Bs), sistema agroforestal Quesungual (SAQ), sistema silvopastoril (SSP), pastos mejorados (Pm) y quema agrícola (Q), descritos previamente en cuadro 1.

Datos de erosión: Anualmente fueron colectados 300 datos que registran la lámina de erosión o depósito de cada lectura (varilla). Estos a su vez convertidos de lámina en cm a tonelada por hectárea año. Las variables clasificatorias fueron finca, año, posición y tratamiento.

Datos de calidad de suelo: Anualmente fueron colectados 240 datos que registraron los indicadores: pendiente (%), infiltración de agua en el suelo (min pul^{-1}), retención de humedad (5), contenido de arcilla (%), espesor orgánico (cm), contenido de MOS (kg ha^{-1}), pH (adimensional), y contenido de P (ppm), los fueron tomados utilizando métodos sencillos de campo, y laboratorio. Las variables clasificatorias fueron finca, año, tratamiento y posición alta y baja.

Datos de rendimiento: Anualmente fueron colectados 12 datos de rendimiento en (kg ha^{-1}) en el ciclo de primera (maíz), y 12 datos en postrera para el cultivo de frijol. Estos datos fueron

colectados de una parcela útil de 70 m², en la parte baja y alta de los tratamientos de quema y Quesungual. Las variables clasificatorias fueron finca, año, tratamiento y posición alta y baja (Kuehl, 2000).

Para el análisis de los datos de erosión y calidad de suelo fue utilizado el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu_{ijkl} + \beta_i + \theta_j + \alpha_k + \tau_l + \epsilon_{(ijk)}$$

Donde:

i= 3 finca (posiciones en el relieve de la micro cuenca)

j= 5 tratamientos (descritos previamente)

k= 2 posición en las sub-parcelas (alta y baja)

l = 3 años

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor medio de las observaciones medidas en los distintos Tratamientos de cada finca.

μ_{ijk} = Efectos de las medidas muestral sobre el modelo

β_i = El efecto de la i-ésimo (finca)

θ_j = El efecto de la j-ésimo (tratamientos)

α_k = El efecto del k-ésimo (Posición de las sub-parcelas)

τ_l = El efecto de los años

ϵ_{ijk} = Es el error de $(\beta\theta\alpha)_{ijk}$

Datos para los análisis multivariados: Dos análisis multivariados fueron corridos para explicar primeramente la relación o grado de asociación entre indicadores de calidad de suelo y otro análisis para entender la relación entre rendimiento de cultivos e indicadores de calidad de suelo. Ambos, análisis incluyeron los datos de erosión y depósito de suelo. Las técnicas estadísticas utilizadas fueron el análisis de Correlación Múltiple y el Análisis de Componentes principales. El total de datos utilizados para identificar la relación entre indicadores de calidad de suelo fueron 90 datos por cada una de las 10 variables utilizadas por finca anualmente. Son 10

variables por agregar la erosión y el depósito expresados en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$. Para identificar el grado de asociación entre indicadores y los rendimientos del maíz y frijol únicamente fueron utilizados 40 datos por finca anualmente.

Los análisis fueron corridos en el software (InfoStat, 2009) y graficados en el software SigmaPlot 12.0 versión libre.

El análisis de Componentes Principales (ACP), es una técnica que consiste de una serie de transformaciones lineales de las observaciones originales dentro de nuevos vectores en el ACP, considerándose una extensión de líneas y planos rectos ajustados por regresión de mínimo cuadrado (Jongman, 1995). La línea horizontal es el primer componente. El aumento de la longitud de las flechas indica aumento de la variabilidad en lo largo del plano del primer y segundo componente. En este estudio el diagrama ordinario con flechas representa los indicadores de calidad de suelo. La dirección de las flechas indica la subida más empinada en el plano, donde los indicadores de la calidad del suelo y la longitud de la flecha son igual a la velocidad de cambio en esa dirección. Los coeficientes de correlación son clasificados de fuerte (>0.65 a 1), moderada (0.25 a 0.64) y débil (0.0 a 0.24) según (Kiernan, 2010).

En esta escala, el ángulo entre las flechas de cada indicador ofrece una aproximación de su correlación por pares o grupos. En consecuencia, las flechas que apuntan en la misma dirección indican estar positivamente correlacionados, flecha perpendicular indican falta de correlación y las flechas que apuntan en la dirección opuesta indican una correlación negativa a los indicadores de calidad del suelo.

3.7 Equipos utilizados en campo

- ✓ GPS, Cinta métrica, Clinómetro K+E, Barreno con cilindro, Cilindro Infiltrómetro (min pul¹), Mazo, Galón de plástico, Cilindro volumen conocido, Varilla de hierro, Balanza de precisión, Marcador permanente, Navaja, Bolsa plástica de 5 libras, Cronómetro, Regla plástica graduada, Lapicero, palustre de jardín, hule y libreta.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Precipitaciones

Las pérdidas de suelos son más severas en las primeras etapas de los cultivos cuando el suelo está descubierto y expuesto al golpe directo de las gotas de lluvia (erosión hídrica), quien a su vez destruyen las propiedades físicas del suelo (Narro, 1994). Los patrones de lluvia recolectados para los años 2011, 2012 y 2013 fueron bimodales y similares a los reportados por (INETER, 2014); presentándose mayores promedios de lluvia en los meses de septiembre a octubre 2012 (Figura 4), con valores que van desde 570 a 469 mm en el periodo reportado.

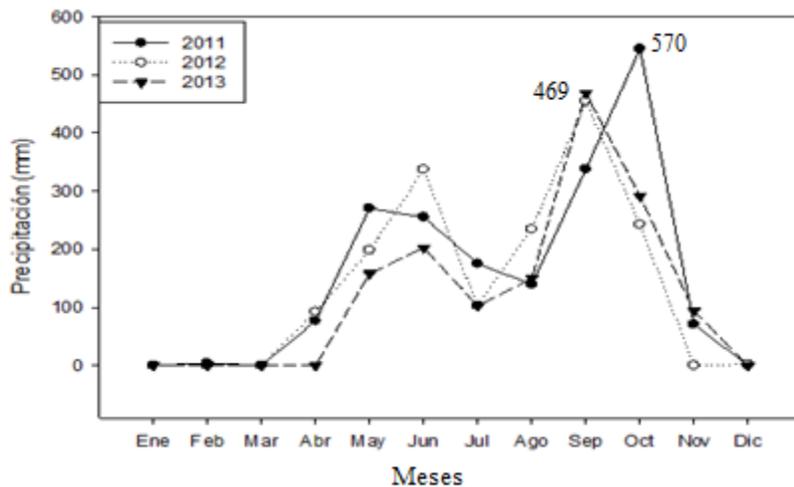


Figura 4. Registro de precipitación (mm) la Danta y la Flor, micro cuenca Tecomapa - Somotillo, para los años 2011, 2012 y 2013.

4.2 Dinámica de la erosión por sistemas de uso en Tecomapa 2011, 2012 y 2013

La erosión es considerada la forma más importante de degradación de los suelos en el país, aproximadamente 7.7 millones de hectáreas del territorio nacional presentan grados variables de erosión, 3.6 millones de hectáreas presentan un grado de erosión catalogada de fuerte a severo (PAA-NIC, 1994).

La erosión es el desgaste de la superficie terrestre por agentes externos como el agua, el viento y el hielo glacial (Mármol, Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas y, 2006). (Somarriba, 1989); (Mendoza R., & Tinoco. 1994), cuantificaron pérdida de suelo en ocho parcelas con pendientes diferentes y cultivos diversos.

En este estudio, la erosión neta total expresada volumétricamente a nivel de los sistemas evaluados en estos tres años, muestra diferencias altamente significativas ($P > F = < 0.0001$), con un balance total de depósito de sedimentos de 31.98, 121.79, 60.97 y 42.11 t ha⁻¹ año⁻¹ acumuladas, para los sistemas de Bs, SAQ, SSP y Pm respectivamente (Figura 5-A). Observándose en la misma figura que únicamente en el sistema de quema (Q) dio un balance de pérdida de suelo de -28.30 t ha⁻¹ a⁻¹. Los Sistemas SAQ presentan mayor depósito de sedimentos, porque se localizan aguas abajo del bosque secundario en la mayoría de las fincas. Detalles de las tasas de depósito y erosión se muestran en la Figura 5-A. Baltodano y Mendoza (2007), reportan similar tasa de erosión en sistemas con quema, utilizando pequeñas parcelas de escorrentía, en Candelaria, Lempira Sur, Honduras en una evaluación de 2 años (2005 y 2006). Ellos reportan una tasa de erosión de 28 t ha⁻¹ a⁻¹ en quema, entre 2 y 4 t ha⁻¹ a⁻¹ en Quesungual y 1 t ha⁻¹ a⁻¹ en tierras en descanso con matorrales.

La erosión del suelo consiste en la remoción, arranque y transporte de los materiales que constituyen la capa más superficial del suelo, sea cual sea el agente responsable: agua, viento, hielo, actuaciones humanas, etc. (Schmidt, 1982). Para este estudio, el análisis de la tasa de erosión neta en el tiempo (Figura 5-B), muestra mayor tasa de suelo depositada en el año 2012, con diferencias estadísticas significativa ($P > F = 0.0012$), lo cual estuvo relacionado a la ocurrencia de lluvias según datos de lluvia observados con mayor intensidad en los meses de septiembre y octubre (Figura 4), meses donde los cultivos presentaron menor cobertura vegetal. Los valores fueron de 18.46, 85.96 y 32.94 t ha⁻¹ año⁻¹ para los años 2011, 2012 y 2013 respectivamente.

Por otro lado, los resultados promedios del balance entre transporte de sedimentos a nivel de finca muestran una mayor tasa de depósito que llegaron a la finca de Isidro Zúñiga; con datos muy similares entre finca (no significativos). Los valores promedios de las tasas de depósito

fueron 40.80, 56.52 y 40.02 t ha⁻¹ a⁻¹ para las fincas de Roberto Pineda, Isidro Zúñiga y Teresa Rodríguez respectivamente (Figura 5-C).

Otros estudios en Nicaragua utilizando el método varillas, en suelos volcánicos de la finca El Plantel en Tipitapa, reportan para maíz en pendiente de 15% una tasa de erosión de 135.70 t ha⁻¹ a⁻¹ y en cultivo sin cobertura con una pendiente de 10%, 160.95 t ha⁻¹ a⁻¹ (Somarriba, 1998). Por otro lado en Matagalpa, en 2005, entre los meses de Julio a diciembre en la comunidad de los Alpes municipio de San Ramón, con el mismo método de clavos, en cultivos variados y distintas grados de pendientes, se obtuvieron tasa de erosión promedio de 102.34, 28.84, 46.48, 42.0 y 16.8 t ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente, (Corrales, R. 2001).

La tasa erosión neta positiva (ganancia) fue clasificada de moderada (10 a 50 t ha⁻¹ a⁻¹) en los sistemas de BS y Pm, y de alta (50 a 200 t ha⁻¹ a⁻¹) en los sistemas SAQ y SSP. La tasa de erosión neta negativa (pérdida) fue clasificada de moderado únicamente en el sistema de quema agrícola (28.3 t ha⁻¹ a⁻¹) (FAO, 1980) (Cuadro 2).

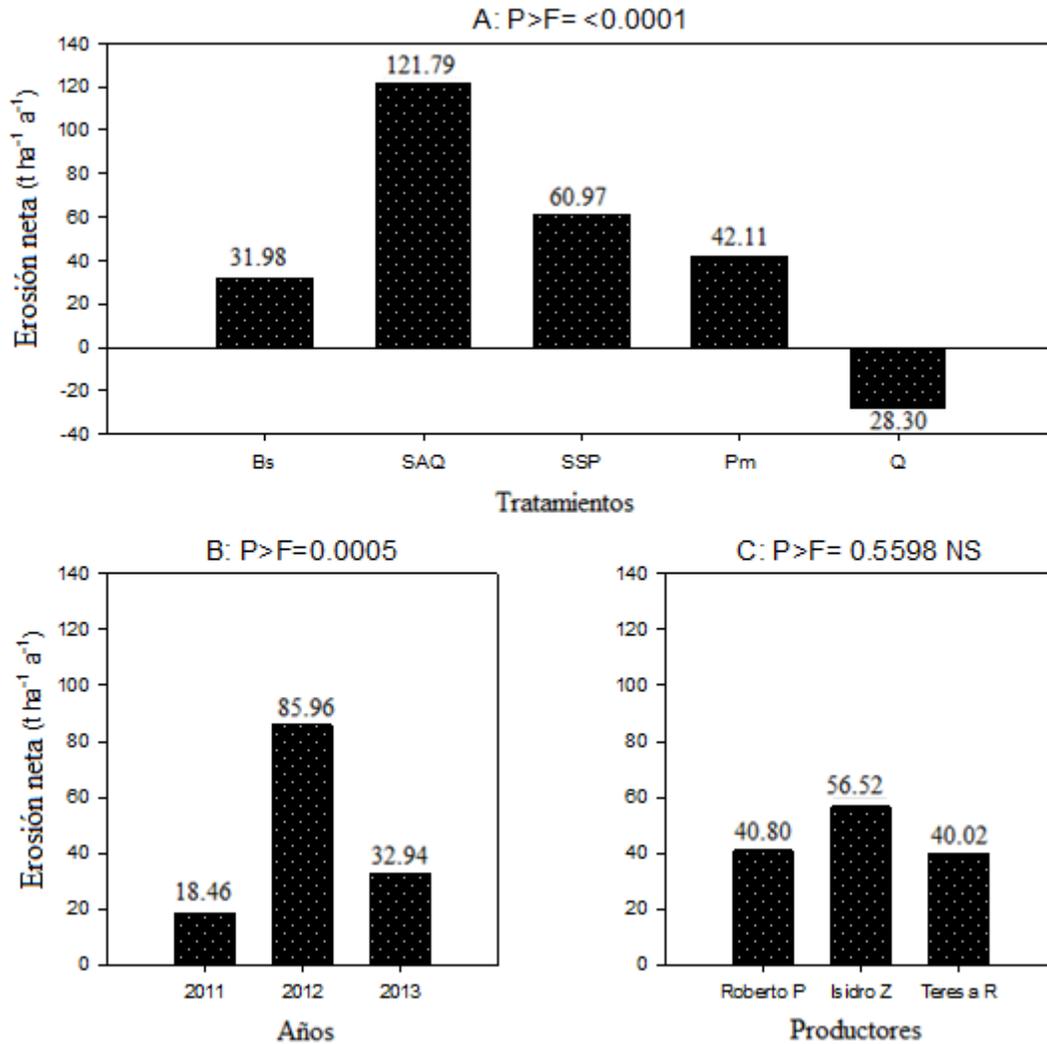


Figura 5. Análisis de la tasa de erosión neta laminar en las parcela (t ha⁻¹ a⁻¹) a nivel de sistema (A), anualmente (B) y productores (C), micro cuenca Tecomapa.

4.2.1 Análisis de la erosión laminar fraccionada

Este estudio permitió medir la erosión que entra y sale de cada parcela de monitoreo, o erosión fraccionada. Los resultados (Figura 6), muestran diferencias altamente significativos a nivel de tratamientos ($P>F=0.0021/<0.0001$). Con valores de 129.68, 239.59, 195.09 y 169.60 (t ha⁻¹ a⁻¹) en calidad de ganancia (depósito) y -60.81, -57.13, -72.36 y -69.19 (t ha⁻¹ a⁻¹) expresadas como pérdidas (Figura 6-A), en los tratamientos Bs, SAQ, SSP y Pm respectivamente. No así en la parcela con tratamiento de quema, donde la tasas de erosión (pérdida) fue mayor -238.24 a la tasa de sedimentos 203.61 (t ha⁻¹ a⁻¹) respectivamente.

La tasa de erosión fraccionada en el tiempo (Figura 6-B), muestra que el año 2012 reporta mayores tasas de erosión con diferencias significativas ($P > F = 0.05661$) en la fracción de suelo erosionado dentro de la parcela (ganancia). La misma figura muestra tasas de erosión fuera de la parcela (pérdidas) menores comparadas con las tasas de erosión que entraron a las parcelas y con promedios similares estadísticamente entre fincas. Por ejemplo, tasas de suelo en forma ganancia fueron de ($206.53 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), y en forma de pérdida ($-120.57 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Fenómeno, que se explica, por las constantes y sostenidas precipitaciones ocurridas en el año 2012, y la poca cobertura del suelo por las labores agrícolas de la siembra de primera y postrera en ese año.

A nivel de fincas, la tasa de erosión muestra que la finca ubicada en la posición media de la micro cuenca (Isidro Zúñiga) fue la que mayor tasa de suelo erosionado presenta ($-107.08 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), de igual manera es la que recibe mayor tasa de suelo depositado en la parcela ($163.60 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), como consecuencias de suelo erosionado en la parcelas de los bosques secundarios que se localizan en la parte alta del relieve (Figura 6-C), convirtiéndose en donantes de sedimentos para la mayoría de las parcelas ubicadas en las partes bajas de la toposecuencia (Figura 11). Las parcelas del Proyecto Quesungual Forrajes, fueron establecidas con un rango de pendiente entre 15 y 50 por ciento de inclinación.

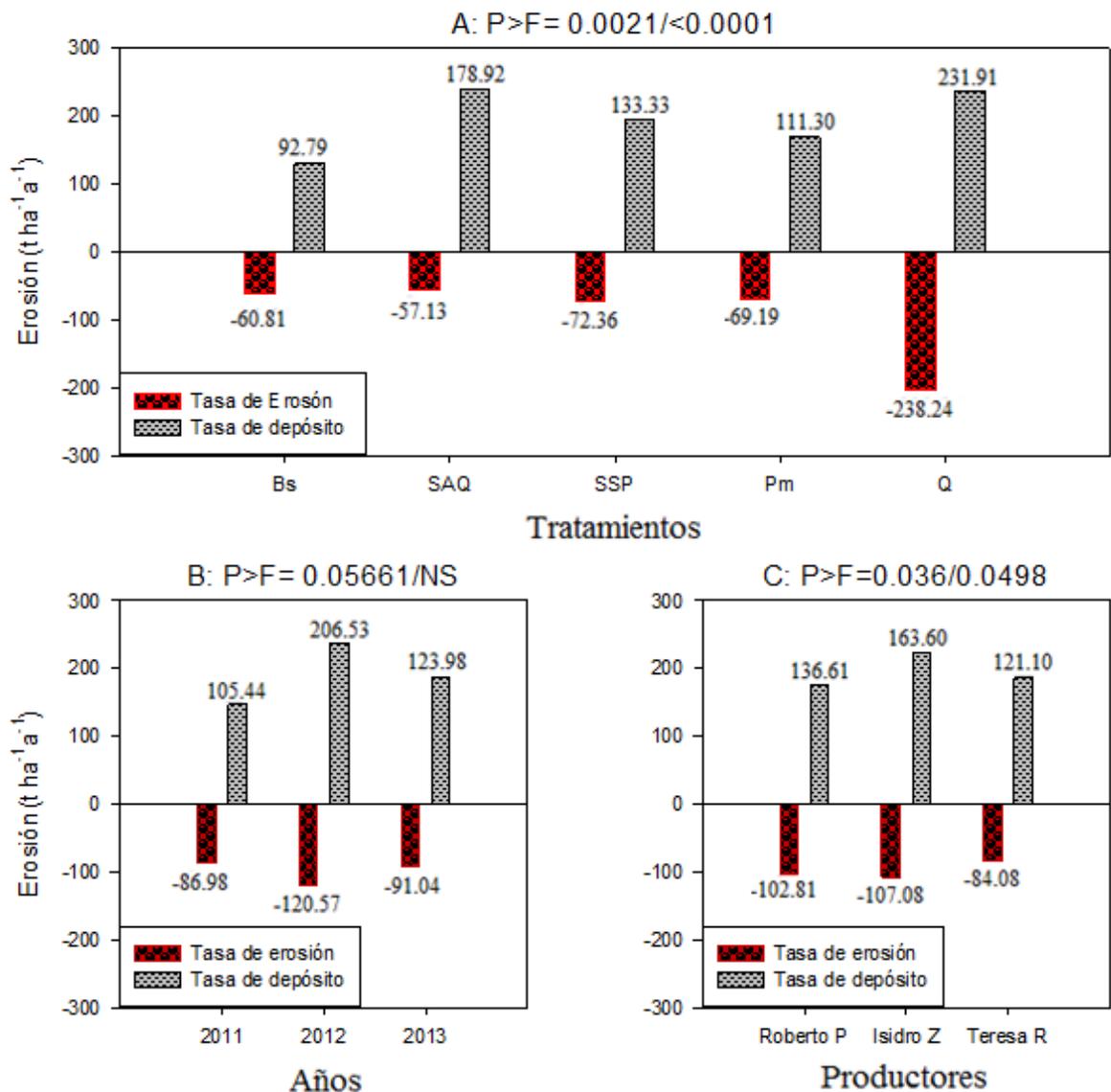


Figura 6. Análisis de la dinámica de la erosión fraccionada, expresando en tasa de suelo depositadas o transporte de sedimento fuera de las parcelas ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) a nivel de sistemas (A), anualmente (B) y por productores (C), micro cuenca Tecomapa.

4.3 Comportamiento espacial de la erosión

El factor gradiente de la pendiente ha sido reportado por numerosos autores (Jenny, 1941), como un factor asociado lineal y positivamente al incremento del riesgo de los escurrimientos superficiales en un terreno determinado. En este estudio las parcelas experimentales se localizaron en lugares donde predominan pendientes desde 15% hasta 59%. El análisis

estadístico muestra diferencias altamente significativas ($P > F = < 0.0001$), al comparar la tasa de erosión fuera de la parcela (pérdida) en las distintas pendientes que oscilan entre 26 y 57% (Figura 7). Por otro lado, al observar las tasas de erosión dentro de la parcela (ganancia), esta ocurre en una variabilidad de pendiente entre 15 y 52%, pero con posible influencia de la variabilidad o forma del micro relieve por ocurrir en muchos altibajos. La tasa de erosión fuera de la parcela (pérdidas), ocurrió en pendiente de 26 y 57%, la cual es menor a la tasa de erosión dentro de la parcela (ganancia), por el hecho de presentarse en parcelas con menos picos o altibajos. Esto sugiere estudiar a futuro a mayor detalle, el efecto del micro relieve. Según Schmidt (1982), cuando la inclinación de la ladera supera pendiente de 26 y 57 % la pérdida de suelos es extremas, fenómeno que aplica para entenderla erosión que entra a los sitios (ganancia).

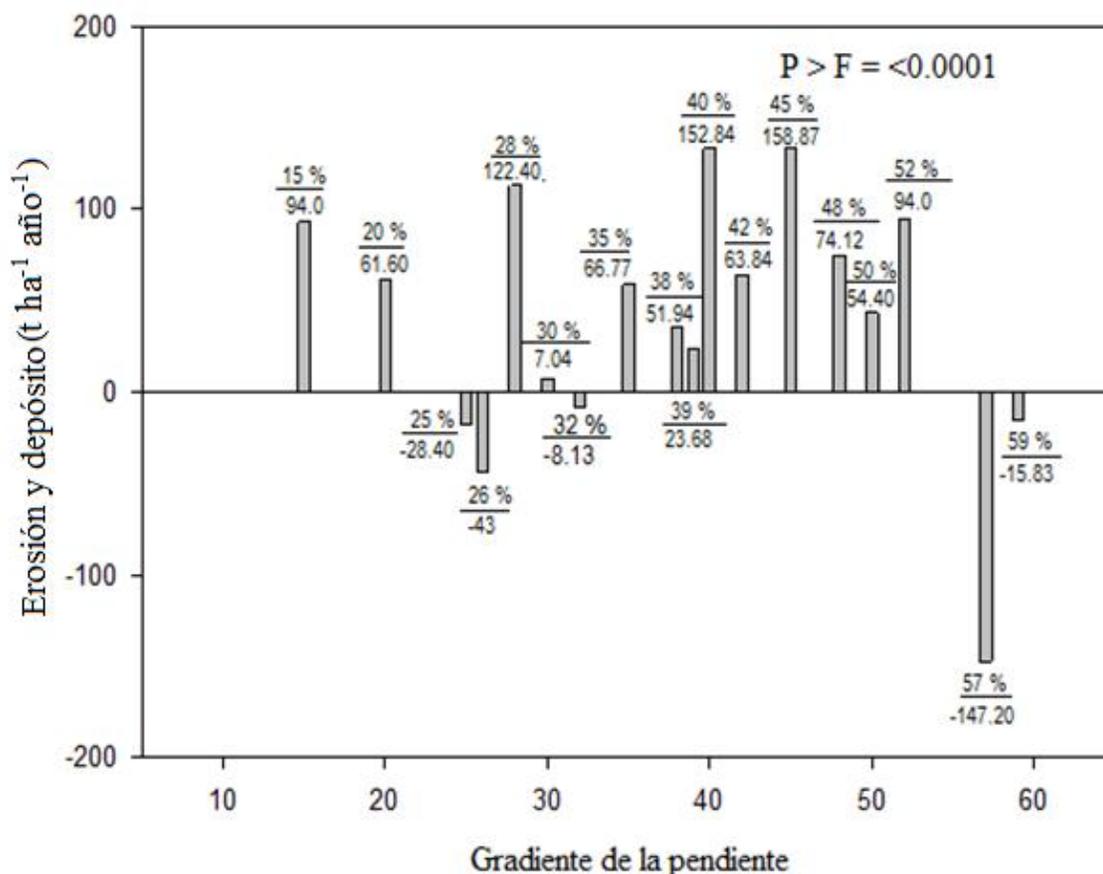


Figura 7. Análisis de la erosión total (t ha⁻¹ año⁻¹) en relación a la pendiente, bajo cinco manejo de suelo, durante los años 2011, 2012 y 2013.

La posición de un suelo en el relieve es un criterio que ha sido relacionado a la formación de suelo y expresado en la ecuación de Hans Jenny 1941. También es reportado como un principio de la geología y su vínculo al desarrollo de suelo en el paisaje: “El suelo es un fenómeno asociado con la parte estable del ciclo de la erosión” (Zanner, 2005). El análisis muestra una tendencia de mayor tasa erosión en la posición alta del relieve ($102.98 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), contra $92.10 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ reportadas en la posición baja de las parcelas. Sin embargo, se observa mayor depósito de sedimentos en las parte baja del relieve, con $197.50 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ contra $192.41 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ reportadas en la parte alta del mismo relieve, lo cual puede estar asociado a la forma y longitud del relieve y al uso de la tierra presente en la parte alta de las laderas. Según, Afyuni *et al.*, (1993), la dinámica de la erosión varía entre las posiciones altas y bajas dentro de un paisaje, siendo las posiciones altas de menor profundidad efectiva, debido a las mayores pérdidas de suelo (erosión), las que se hace más evidente en suelos de mayor pendiente ($>35\%$).

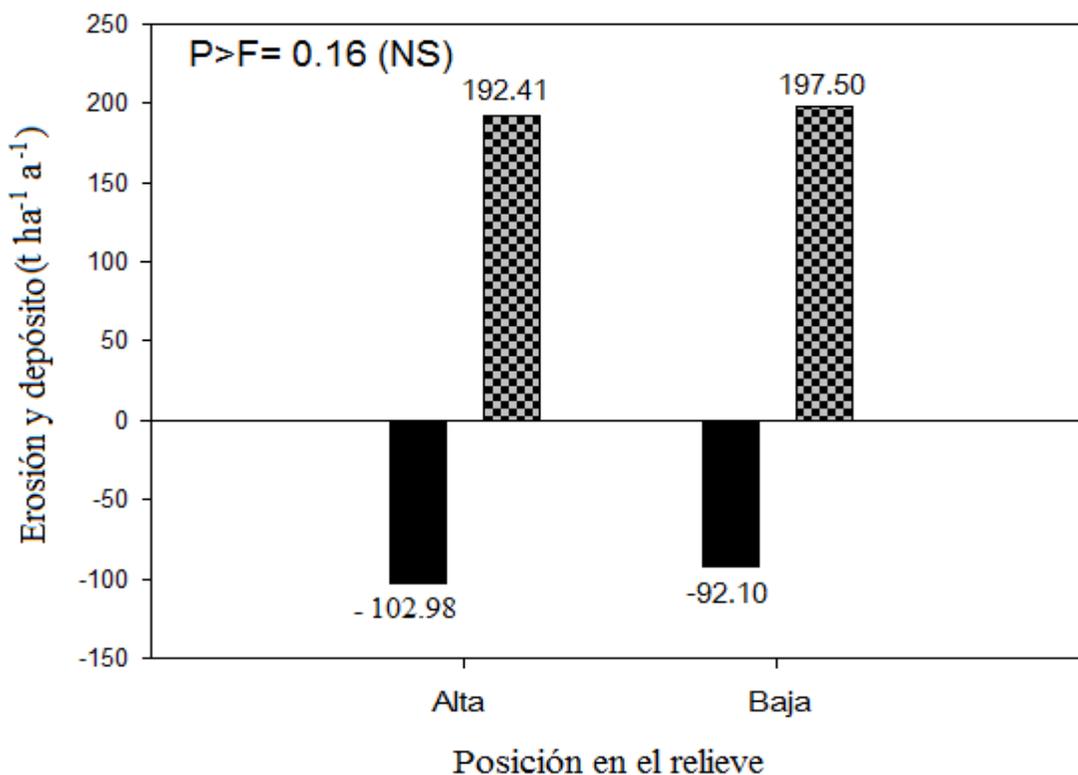


Figura 8. Análisis de la erosión fraccionada espacialmente ($\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) en relación a la posición alta y baja dentro de una parcela, bajo cinco manejo de suelo, 2011, 2012 y 2013.

4.4 Análisis de indicadores de calidad de suelo

4.4.1 Dinámica de los indicadores de calidad de suelos, Tecomapa 2011, 2012 y 2013.

Un indicador de calidad de suelo, es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante. (Doran *et al.* 1996).

El monitoreo de los indicadores relacionados a la fertilidad química de suelos (Figura 9), estadísticamente muestran mayores y significativos contenidos de fósforo ($P > F = 0.0025$) en las parcelas de uso agrícola ($Q = 5.06$ y $SAQ = 6.26$), el cual se relaciona a las adiciones de fósforo vía fertilizantes por recomendaciones técnicas (Figura 9-A). Los contenidos de MOS fueron similares entre tratamiento (NS), pero significativamente diferentes entre fincas y años. Los valores promedios fueron: 48090.2, 47814.4, 46212.7, 41345.3, 38310.7 t ha⁻¹ año⁻¹ en los tratamientos (usos de la tierra) Pasto mejorado, Bosque, SAQ, quema y SSP respectivamente. , Los altos valores en las parcelas con quema, puede estar relacionado al uso previo de la parcela. Por otro lado los espesores de suelo son similares entre el sistema de bosque y SAQ, y menores en los sistemas de uso (Figura 9- B). Trabajos realizados en La Danta-Somotillo por Pavón (2008), reportan datos por debajo a los datos encontrados en 2011. Estos contenidos de MOS fueron en Quema 2.93, en SAQ 3.21 y en sistema de Bosque secundario (Bs) 3.67 % respectivamente.

Finalmente se observa un comportamiento similar de acidez significativamente diferente entre tratamientos ($P > F = 0.0052$), acidez clasificada de moderadamente ácida según (Quintana *et al.*, 1983), con valores de pH mayores en los sistemas de SAQ y Bosque secundario (Figura 9-D). (Pavón, 2008), reporta valores de acidez un poco menores a los encontrados 4 años después en 2011, estos valores de pH fueron en Quema 5.75, SAQ 5.62, y Bosque secundario 5.82. Estos datos provienen de la comunidad La Danta.

Por otro lado los indicadores relacionados a la dinámica del agua en el suelo, muestran que la retención de humedad corresponde con el incremento del contenido de arcilla en el suelo (Figura

10- A y B), y la infiltración muestra ser significativamente diferente entre tratamientos ($P>F=0.0007$). Tasas de infiltración lentas fueron observadas en aquellos sistemas que presentan probablemente mayor computación por el pisoteo del ganado y mayores contenidos de arcilla por erosión de los horizontes superficiales, tal como se observa en los sistemas de pastos con tasas de 21.94 y 17.72 min/pul de agua en los sistemas SSP y pastos mejorados respectivamente. (Figura 10- B).

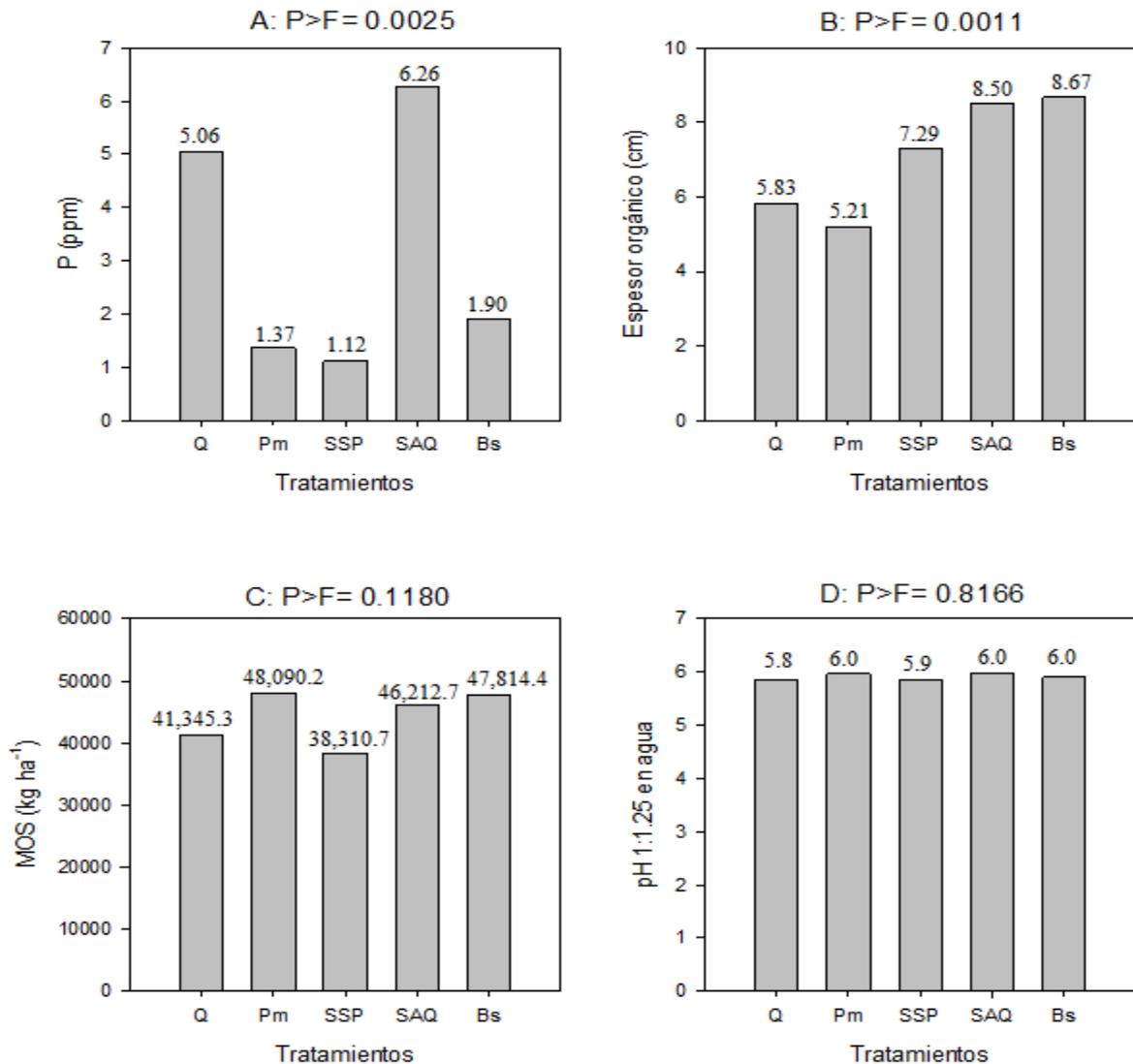


Figura 9. Análisis estadísticos evaluados a nivel de tratamientos, de indicadores relacionados a la fertilidad química de los suelos: (A) contenido de fósforo, (B) Espesor orgánico, (C) Materia orgánicas y (D) Acidez o pH del suelo. Monitoreo en la Micro cuenca Tecomapa 2012 y 2013.

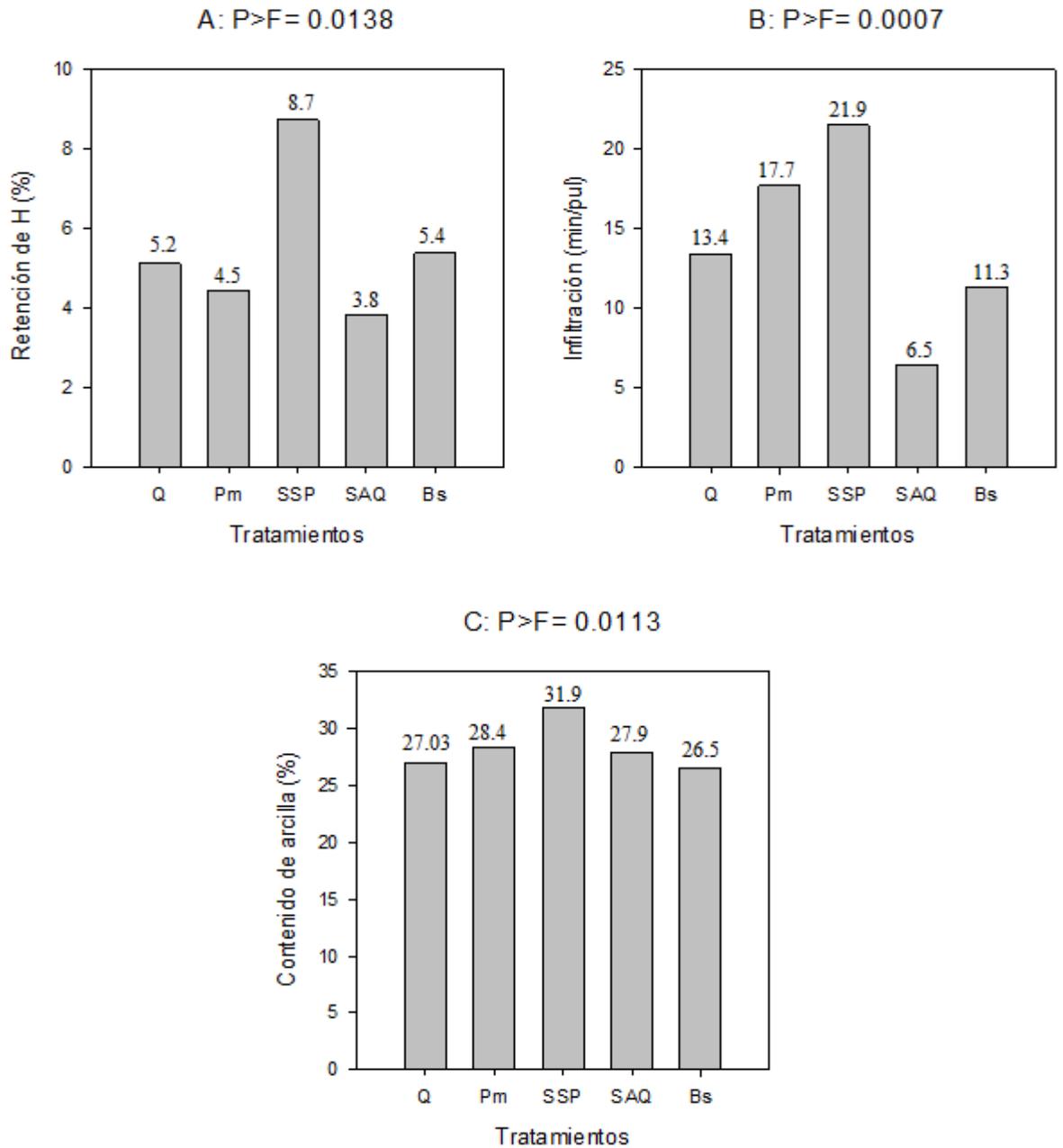


Figura 10. Análisis estadísticos evaluados a nivel de tratamientos, de indicadores relacionados a la dinámica del agua en el suelo: (A) retención de humedad, (B) infiltración de agua en el suelo, (C) contenido de arcilla (%). Monitoreo en la Micro cuenca Tecomapa 2011, 2012 y 2013.

La mayoría de los ensayos en la microcuenca Tecomapa, fueron establecidos en la parte media-alta de las laderas como se demuestra en la Figura 11, y por debajo de los bosques secundarios ubicados en los picos de las laderas.

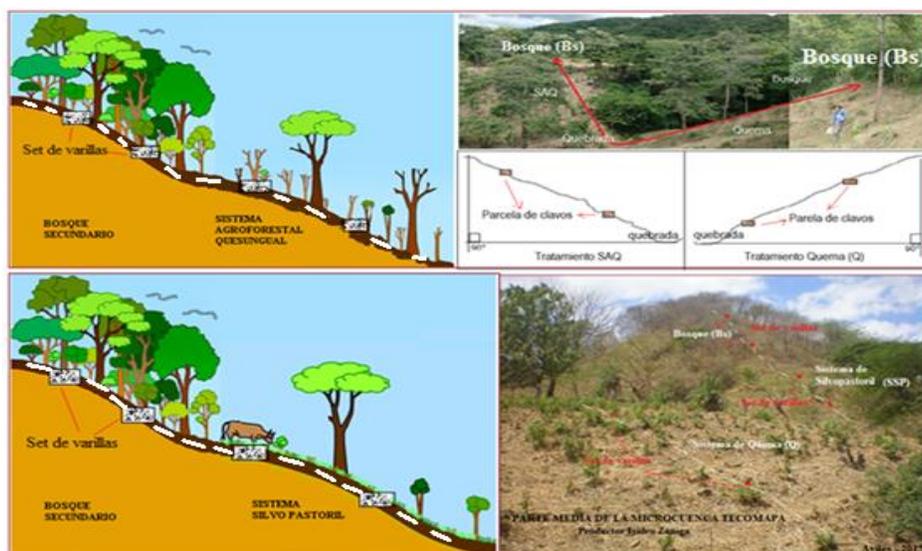


Figura 11. Por la posición de las parcelas con tratamientos en el relieve, se vuelven donante de sedimentos a las parcelas ubicadas agua abajo. Somotillo, 2011, 2012 y 2013.

4.4.2 Análisis multivariados

Un análisis de componentes principales (ACP), fue aplicado para interpretar y sintetizar las interrelaciones entre los indicadores de calidad de suelos (P disponibles, pH, MOS, Espesor orgánico, arcilla %, Retención de humedad, infiltración de agua en el suelo, erosión dentro y erosión fuera de la parcela, y pendiente) en cada uno de los uso de la tierra o tratamientos de estudio.

4.4.2.1 Indicadores de calidad de suelo y uso de la tierra

Los sistemas de uso de la tierra en condiciones de laderas manejados inadecuadamente, conduce a un aumento acelerado de la erosión en el paisaje, y su degradación en los suelos iniciando por el fenómeno de escorrentía superficial (OEA, 1994). En este estudio fueron incluidos ocho indicadores de calidad de suelo más los indicadores erosión y depósito de sedimentos en $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$, con el propósito de identificar la mejora de la calidad de suelo en los sistemas de uso de la

tierra con mayor cobertura arbórea y vegetal. Los cinco usos de la tierra incluyen el sistema agroforestal Quesungual con maíz y frijol, y un sistema silvopastoril con pastura mejorada, un sistema de quema tradicional con frijol y maíz, un potrero sin árboles y pasto mejorado, y un bosque secundario como elemento comparativo de mayor equilibrio ambiental. Basado en los noventa datos a lo largo de tres años de monitoreo y en función de los diferentes usos de la tierra, el estudio identificó que la erosión de suelo afecta la calidad de los mismos, al ser removido el horizonte orgánico de la superficie en las partes altas del relieve por la escorrentía superficial, y dar lugar al afloramiento del horizonte B cargado de más contenido de arcilla. Este efecto produce una relación inversa (Anexo 13) y moderada entre los contenidos de materia orgánica en los suelos y arcilla ($P > F = 0.0000000029$; $r^2 = 0.58$). Por otro lado se logró identificar que el depósito de sedimento en las parcelas favorece moderada y significativamente la acumulación de los contenidos de MOS y fósforo disponible ($P > F = 0.00036$ con $r = 0.03$; $P > F = 0.00032$ con $r = 0.31$) Estos resultados confirman la importancia de aumentar y conservar los contenidos de MOS en los suelos de laderas. Acción que es posible únicamente aumentando la cobertura vegetal y arbórea en los sistemas productivos. (Cuadro 7).

El análisis estadístico que reduce la dimensión y determina el grado de asociación entre los indicadores, fueron representados en el análisis de componente principal (Figura 12). Para el mismo se tomó en cuenta una variabilidad de 37.6%, 26.5% y 24.7% para los componentes principales (CP) 1, 2 y 3. Estos tres CP alcanzaron un 87.2 % de la varianza para explicar las interrelaciones.

Según el análisis de componentes principales, en el CP1, los indicadores de calidad de suelo que muestra mayor correlación positiva son la infiltración de agua en el suelo, la retención de humedad, el contenido de arcilla y el pH. Estos correlacionados negativamente al contenido de fósforo en los suelos. Por tanto, esta variabilidad la podríamos asociar con aquellos sistemas de uso de la tierra de pasturas (SSP y Pm) donde el horizonte orgánico se encuentra más erosionado.

En el CP2, el indicador que presenta mayor correlación positiva es el contenido de materia orgánica en el suelo (MOS), correlacionado negativamente con los contenidos de arcilla, retención de humedad y el gradiente de la pendiente. Esta varianza la podemos asociar con

aquellos usos de la tierra que presentan mayor cobertura arbórea y altos contenidos de materia orgánica en el suelo como son los sistemas Agroforestales quesungual y bosque secundario.

En el CP3, el indicador que presenta mayor correlación positiva es la erosión fuera de la parcela (-E o pérdida), correlacionado negativamente con el espesor orgánico y el pH en el suelo (Figura 13). Esta varianza la podemos asociar con aquel uso de la tierra más degradante o que expone el suelo a mayor riesgo de erosión, tal y como es el sistema de quemas agrícolas.

Cuadro 7. Correlación múltiple entre sistemas de uso de la tierra y 10 indicadores de calidad de suelo. Datos muestreados en 2011, 2012 y 2013 en 3 fincas de la micro cuenca Tecomapa. La fila en el numerador representa el coeficiente de correlación y por debajo la probabilidad.

Indicadores	P (ppm)	pH (H ₂ O)	MOS (kg/t/ha)	Espesor (cm)	Arcilla (%)	Ret.hum (%)	Infiltra (min/pul)	D (+) (t/ha/año)	E (-) (t/ha/año)	Pend (%)
P (%)	1									
pH (H ₂ O)	0.08 NS	1								
MOS (kg/t/ha)	0.25 0.0168	-0.05 NS	1							
Espesor (cm)	-0.01 NS	0.05 NS	-0.06 NS	1						
Arcilla (%)	-0.27 0.0113	0.32 0.0023	-0.58 0.0001	-0.06 NS	1					
Ret.hum (%)	0.06 NS	0.03 NS	-0.03 NS	0.04 NS	0.03 NS	1				
Infiltra (min/pul)	0.02 NS	-0.01 NS	-0.08 NS	-0.20 NS	0.02 NS	0.09 NS	1			
D (+) (t/ha/año)	0.31 0.0032	0.22* 0.0367**	0.30 0.0036	0.12 NS	-0.10 NS	0.06 NS	-0.17 NS	1		
E (-) (t/ha/año)	0.32 0.0021	-0.09 NS	-0.06 NS	-0.20 NS	0.06 NS	-0.07 NS	-0.09 NS	0.16 NS	1	
Pend (%)	0.13 NS	0.03 NS	-0.14 NS	0.27 0.0113	0.17 NS	-0.04 NS	-0.13 NS	0.09 NS	-0.10 NS	1

* Coeficiente de correlación - "r"

** El valor de la probabilidad - P

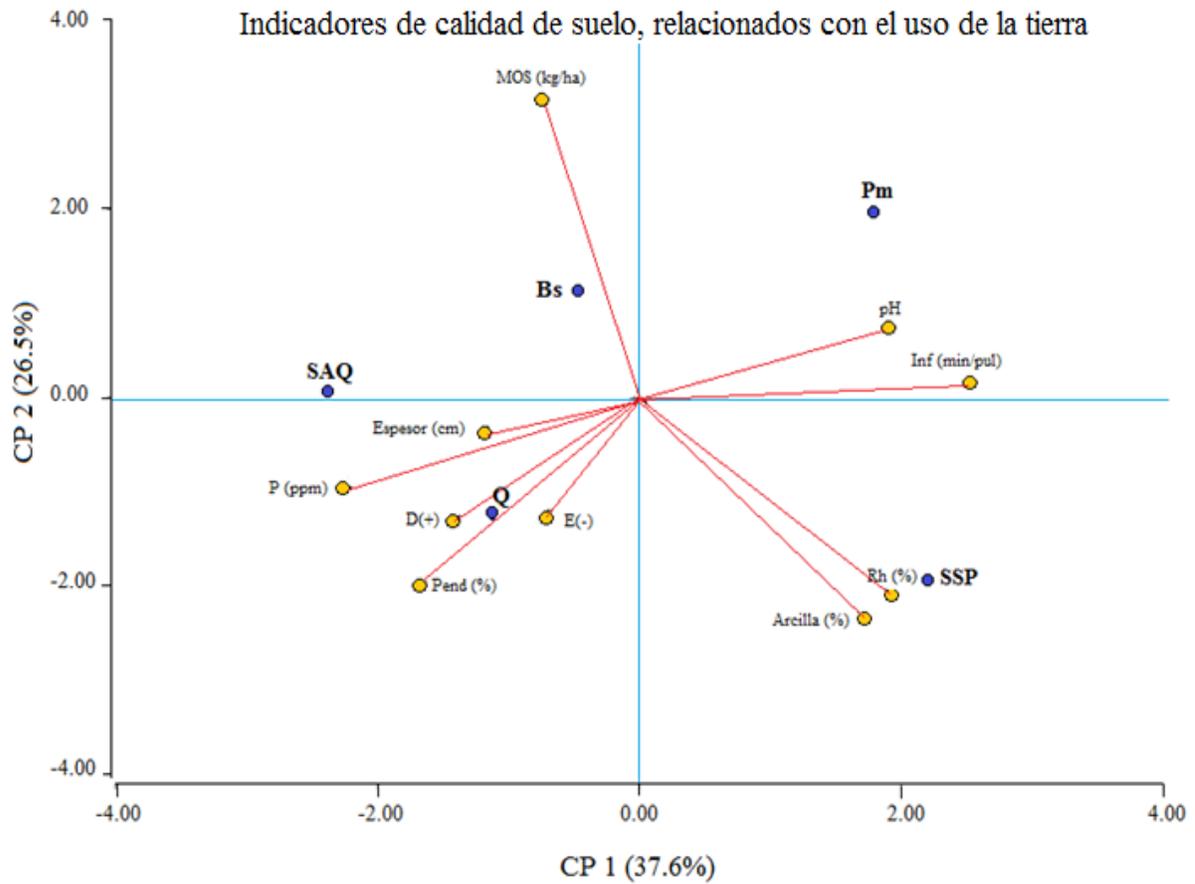


Figura 12. Análisis de los componentes principales (CP1 y CP2), presentación en el primer plano principal del primer y segundo componente de las propiedades físicas químicas de los suelos de la microcuenca Tecomapa, bajo cinco sistemas de manejo de suelo (Bs, SAQ, SSP, Pm y Q). Análisis basado en 90 datos de muestreo.

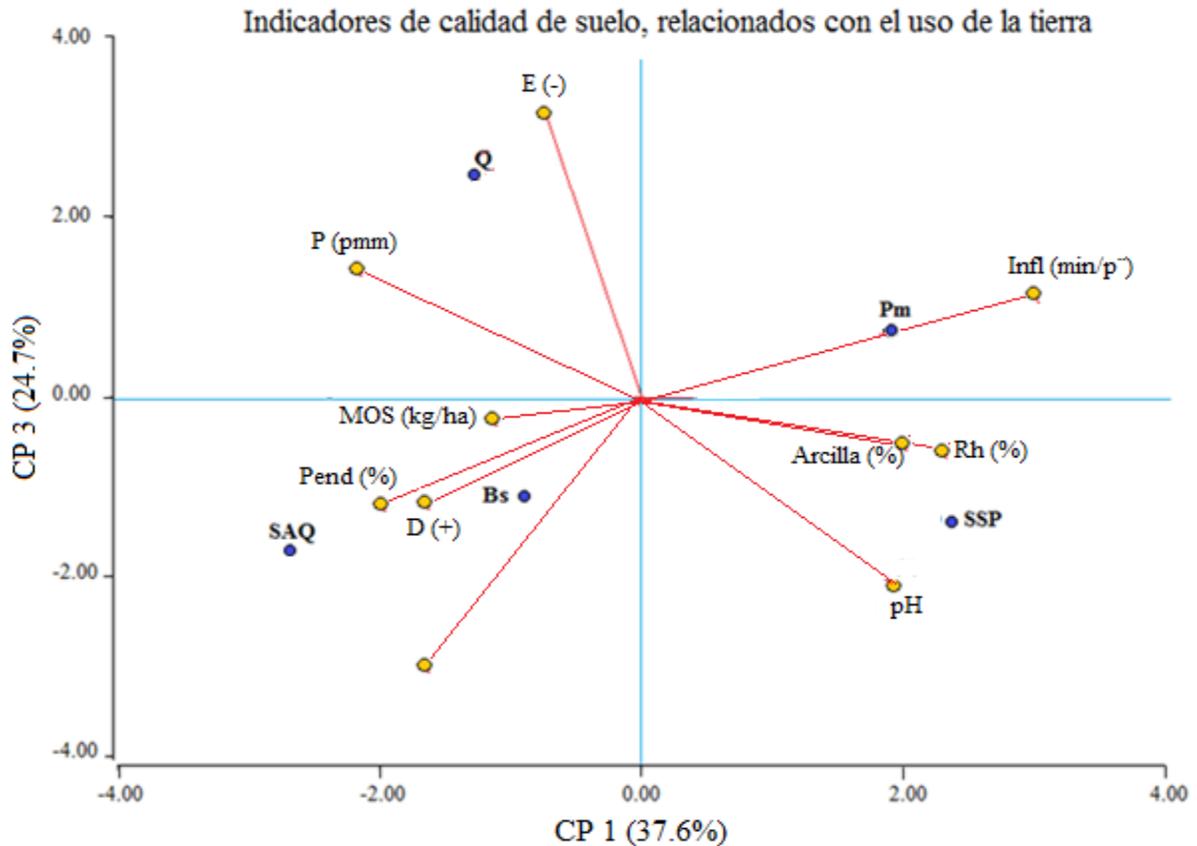


Figura 13. Análisis de los componentes principales (CP 1 y CP3), presentación en el primer plano principal del primer y segundo componente de las propiedades físicas química de los suelos de la microcuenca Tecomapa, bajo cinco sistemas de manejo de suelo (Bs, SAQ, SSP, Pm y Q). Análisis basado en 90 datos de muestreo.

4.4.2.2 Asociación entre indicadores de calidad de suelo y el rendimiento de maíz frijol.

El rendimiento de los cultivos de maíz y frijol depende de la interacción de múltiples factores en los suelos de laderas de Somotillo. Estos factores incluyen la calidad de suelos, la disponibilidad de agua o calidad del invierno, el manejo y la calidad de semilla según los agricultores de la zona. Este estudio trata de identificar el grado de relación o influencia de los indicadores de calidad de suelo, y la erosión en el rendimiento de maíz y frijol (Cuadro 8). Dicho análisis se basa en treinta y seis datos a lo largo de los tres años de monitoreo del estudio, en los sistemas de uso con quema agrícola y sistema agroforestal Quesungual. Basado en estos datos (Anexo 16), el rendimiento de maíz y frijol fueron ambos correlacionados negativamente y

significativamente a la tasa de infiltración de agua en el suelo ($P > F = 0.0051, 0.0059$ y valores de $r = -0.55$ para maíz y frijol), esto confirma que ambos cultivos prefieren suelos con buen drenaje o rápida velocidad de infiltración. Por otro lado, el cultivo de maíz prefiere suelos con pendientes de bajas a moderadas ($P > F = 0.0251$, y un $r = -0.46$), mientras que el cultivo de frijol no tienen preferencia alguna según el análisis. Adicionalmente, el rendimiento del cultivo de maíz se ve favorecido con el incremento de los contenidos de MOS ($P > F = 0.0925$, y $r = 0.35$). Finalmente el cultivo de frijol se ve incrementado en áreas donde ocurre depósito de sedimentos, seguramente ricos en contenidos de arena fina, limo y MOS ($P > F = 0.0058$, y $r = 0.44$).

El análisis de componentes principales (ACP), aplicado entre indicadores de calidad de suelo y el grado de asociación con el rendimiento de maíz y frijol es representado en la Figura 14. Para el mismo se tomó en cuenta una varianza de 41.8% en el CP1 y 23.6% en el CP 2. Ambos alcanzaron un 65.4% de la varianza que explica la relación entre indicadores y los rendimientos de maíz y frijol.

En el CP1, los rendimientos de maíz se correlacionan positivamente con la tasa de erosión de suelo sale de la parcela (pérdida), y los contenidos de MOS. Estas a la vez son correlacionadas negativamente con tasas lentas de infiltración de agua en el suelo. Lo cual explica que el cultivo de maíz demanda suelos bien drenados y altos contenidos de MOS, pero también en estas parcelas ocurre del proceso de erosión laminar en periodos de poca cobertura, cuando se establece el maíz.

Por otro lado, en el CP2, el rendimiento de cultivo de frijol se ve correlacionado positivamente con suelos de mayores pendientes y con las tasas de erosión que entran a la parcela (ganancia). Lo cual sugiere que este cultivo prefiere suelos con altas pendientes y más elevadas, y presencia de sedimentos finos en las mismas.

Cuadro 8. Correlación múltiple entre el rendimiento de maíz y frijol y 9 indicadores de calidad de suelo. Datos muestreados en 2011, 2012 y 2013 en 3 fincas de la micro cuenca Tecomapa. La fila en el valor superior representa el coeficiente de correlación y el valor en la parte baja representa la probabilidad.

Indicadores	MOS (kg/t/ha)	Infiltra (min/pul)	D (+) (t/ha/año)	E (-) (t/ha/año)	Pend (%)	Maíz (kg/ha)	Frijol (kg/ha)
MOS (kg/t/ha)	1						
Infiltra (min/pul)	-0.26 NS	1					
D (+) (t/ha/año)	0.26 NS	-0.25 NS	1				
E (-) (t/ha/año)	0.11 NS	-0.31 NS	0.27 NS	1			
Pend (%)	-0.20 NS	0.24 NS	0.12 NS	-0.24 NS	1		
Maíz (kg/ha)	0.35 0.0925	-0.55 0.0051	0.44 0.0318	0.49 0.0161	-0.46 0.0251	1	
Frijol (kg/ha)	0.08 NS	-0.55 0059	0.55 0.0508	0.40 0.0508	0.13 NS	0.24 NS	1

* Coeficiente de correlación - “r”

** El valor de la probabilidad – “P”

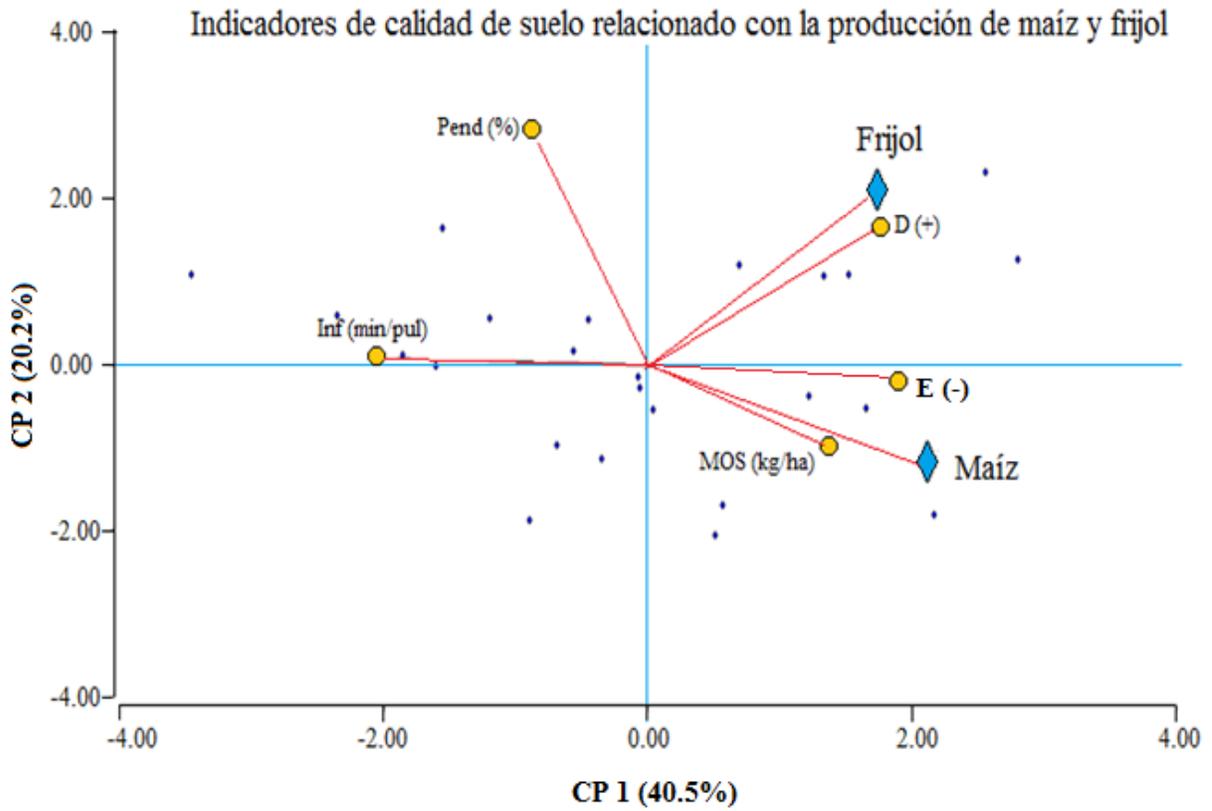


Figura 14. Análisis de indicadores de calidad relacionado a la producción de maíz y frijol en uso de la tierra de la microcuenca Tecomapa, bajo dos sistemas de manejo de suelo (SAQ y Q). Análisis basado en 90 datos de muestreo.

V. CONCLUSIONES

La tasa de erosión neta fue clasificada de moderada en los sistemas de BS y Pm, y de alta en los sistemas SAQ y SSP, entendida esta erosión neta como una ganancia de sedimentos dentro del balance. La misma erosión neta fue clasificada de moderado en los sistemas de Quema agrícola, con una tasa de erosión que si sale el sedimento fuera de la parcela. La erosión fuera de la parcela ocurre con mayor frecuencia en pendiente entre 26 y 57%, y la erosión dentro de las parcelas entre pendientes de 15 a 52%, acumuladas en las partes bajas de cada parcela. Por tanto, la erosión laminar medida en campos abiertos con el método de varillas mostro ser afectada por el tipo de cobertura vegetal, la pendiente del terreno y el uso de la tierras. Esto explica porque la erosión dentro de las parcelas fue mayor que la erosión que sale de las mismas, excepto en el sistema de quema agrícola por su poca cobertura y quema de la biomasa superficial.

Los mayores contenidos de MOS y fósforo se encontraron en los sistemas de Bosque secundario, Quema y Quesungual, y en menores contenidos en áreas de pastos. Mayores tasas de retención de humedad, contenidos de arcilla y tasas lentas de infiltración fueron reportadas de los sistemas con pasturas, dado que en ellos afloran mayores contenidos de arcilla por la pérdida del horizonte agrícola, en previos usos. Consecuentemente, los contenidos de MOS son correlacionados negativamente con los contenidos de arcilla, por la pérdida del horizonte orgánico superficial de los suelos utilizados en pasturas.

Los indicadores de calidad de suelo que incrementan el rendimiento del cultivo de maíz son los altos contenidos de MOS, e infiltraciones rápidas o suelos bien drenados. En este cultivo, ocurre erosión fuera de la parcela (pérdida), por la poca cobertura en los primeros estadios del maíz. El rendimiento en frijol se ve influenciado por la ubicación en terrenos con mayores pendientes y donde ocurre erosión dentro de la parcela (ganancia). Dado que esos sedimentos también transportan materia orgánica.

VI. RECOMENDACIONES

Desarrollar estudios a mayor detalle sobre el efecto de la tasa de erosión en la posición en el relieve, uso de la tierra, tiempo y finca.

Modificar métodos de medición de erosión en sistemas con carga animal, por el pisoteo del ganado que afecta el estado original de la varilla.

Profundizar estudios sobre la influencia de los contenidos de MOS, para determinar las fracciones que más aportan los sistemas agroforestales y la de mayor influye en los rendimientos de los cultivos.

VII.- LITERATURA CITADA

- Amezquita, E. T. (2004).** Use of deep rooted tropical pastures to build up and arable layer through improved soil properties of an Oxisol in the Eastern Plains. *Agriculture Ecosystems & Environment* , 130,269 -277.
- Arreola, M.A., 2004.** Marginación y cambio de uso de suelo en la Reserva de la Biófera El Triunfo, Chiapas en Pérez - Farrera M.A., N. Martínez-Melendez, A. Hernández-Yáñez y Arreola-Muñoz (eds). *La Reserva de la Biófera El Triunfo, tras una década de Conservación.* UNICACH, pp.265 - 295.
- Ayarza, M. A., & Spain, J. M. (1991).** Manejo del ambiente físico y químico en establecimiento de pasturas mejoramiento. En establecimiento y renovación de pastura: *Concepts, experiencias y enfoque de la investigación en Lascano, C.E. y Spain J.M. Tropicales (RIETT), CIAT , Veracruz, Veracruz.*
- Bates. (1983).** Standardization of pH Measurements. *NBS spec*, 20-53.
- Baver, L. D. (1972).** Física de suelo. Centro Regional de ayuda técnica, Managua.
- Buol, S. (1995).** Sustainability of soil use. *Review of Ecology and Systematic* .
- Cairo, P. (1995).** La fertilidad física de suelo orgánica en el trópico. Managua, Nicaragua: UNA.
- CIAT, C. I. (2014).** Diversidad de agricultura en Somotillo y sus alrededores. 30. Managua, Nicaragua: No asido publicado.
- Corrales, P. (2001).** Evaluación de especies de barreras vivas sobre el control de erosión, ingresos económico y la producción de maíz (*Zmays L.*) y frijol (*P. vulgaris*). UNA, Managua. Managua: UNA.
- Doran, J. &. (1994).** Defining and assessing soil quality. Wisconsin : DF Bezdicek & BA Stewart.
- Doran, J. A. (1997).** Defining and assessing Soil Quality and Sustainable Productivity. In. "Biological Indicator of Soil Health". En C. D. Pankhurst. Wisconsin, USA.
- FAO. (1980).** Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO,PNUMA,UNESCO. Francia: FAO.
- FAO. (1983).** Metodología provisional para la evaluación de la degradación. Managua: FAO.

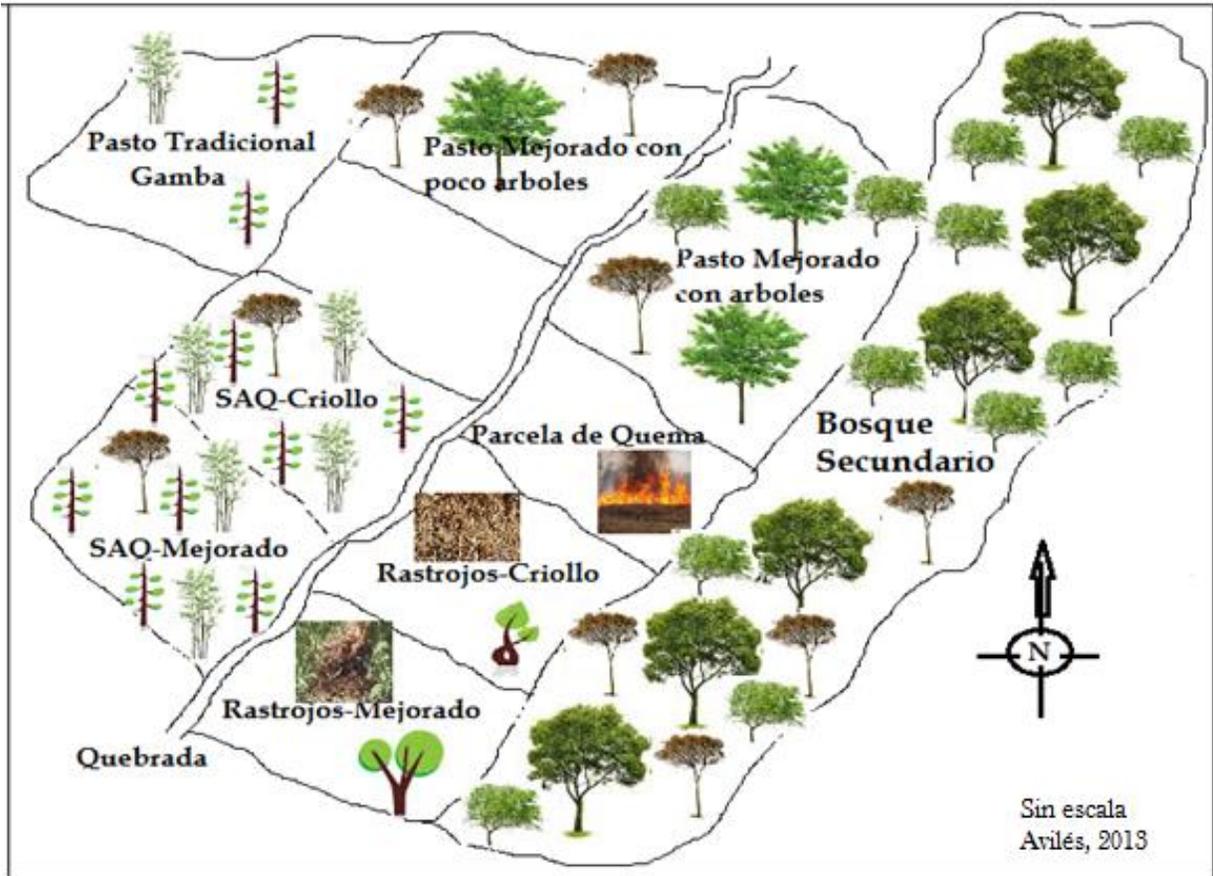
- FAO. (1984).** Land evaluation for forestry forestry paper. Rome: FAO.
- FAO. (1989).** Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelo. FAO, PNUMA, UNESCO, Managua. Managua: FAO.
- FAO. (2002).** GCP/HON/021/NET. Desarrollo Rural del sur de Lempira, fase II. Lempira.
- FAO. (2005).** Informe final. El sistema Agroforestal Quesungual. Lempira: FAO.
- Forsythe, W. (1950).** Física de suelo. San Jose: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- IICA. (1987).** Ecología basada en zonas de vida. San Jose: Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura.
- INETER. (2014).** Resumen Meteorológico anual 1958 al 2014. Managua: INETER.
- InfoStat. (02 de 06 de 2009).** Cengicana.org. Recuperado el 2015 de 07 de 2015, de Cengicana.org: <http://www.cengicana.org.descargas>
- INIDE. (2007).** Desafíos y oportunidades para la reducción de la pobreza. I, 96. Recuperado el 18 de 06 de 2014, de <http://www.inide.gob.ni/bibliovirtual/publicación/repobreza.pdf>
- INTA. (2005).** Diagnostico sub cuenca Tecomapa. Oficial de extensión Somotillo, INTA, Chinandega.
- Jenny, H. (22 de 05 de 1941).** Factors of Soil Formation. Recuperado el 6 de 11 de 2015, de Factors of Soil Formation: <http://www.revistaseug.urr.es>
- Karlen, D. M. (1997).** Soil quality. 61, 4-10.
- Karlen, D. M. (1997).** Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America , 61, 61.
- Kiernan, D. (2010).** Introductory Statistics for Environmental Sciences. Soil Science society.
- Kuehl. (2000).** Diseño de experimentos: Principios estadísticos de diseño y análisis de la investigación. Pacific Grove, CA: Duxbury, 29-32.
- Larson, W. &. (1991).** Conservation and Enhancement of Soil Quality. En proc. of the Int. Work - Shop on Evaluation for Sustainable Land Management un thr Developing Wold, Bangkok. Recuperado el 15 - 21 de 11 de 1991

- MARENA, P. (2000).** Informe Nacional de la Republica de Nicaragua sobre la Implementación de la Conservación de lucha Contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD). Managua: MARENA-DGBRN-PNUD.
- Mármol, I. (2006).** Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas y. En I. Mármol, Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas (pág. 50). Salta, Argentina: Universidad Nacional de Salta.
- Mármol, I. (2006).** (Cátedra de Manejo de Cuenca Hidrográficas). Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas y. En I. Mármol, Cá (pág. 55). Argentina: Universidad Nacional de Salta.
- Mendoza, R. (2014).** Guía para el uso de indicadores de calidad de suelo. UNA, Managua. Managua: UNA.
- Mendoza, R. (2002).** Hedgerows and their effects on Crop Productivity and Soil Loss Induced by Water and Tillage Erosión on small Runoff plots in the Pital Watershed. 37.
- Mendoza, R. & Tinoco. (1994).** Evaluación de terraza de bordo y cultivos en curvas nivel por el método clavo y rondanas. IRENA, SUWaR, PASOLAC, Managua. Managua: IRENA, SUWaR, PASOLAC.
- Miranda, Z. H. (25 de Abril de 2009).** Repositorio.una.edu.ni. Obtenido de Repositorio.una.edu.ni: <http://repositorio.una.edu.ni/2084/1/tnf30m672a.pdf>
- Montgomery, D. (12 de 10 de 2015).** Experimentos montgomery. Obtenido de <http://www.files.wordpress.com>
- Narro, E. (1994).** Física de suelos con enfoque agrícola. Puebla, Mexico: Mexico Trillas UAAAN.
- OECD. (1991).** Environmental indicators for agriculture, Methods and Results. Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris.
- Olse, S. A. (1982).** Chemical and Microbiological properties. En R. M. Keeney, Methods of Soil Analysis (Vol. 2, págs. 595 -624). Keeney.
- PAA-NIC. (1994).** Plan de Acción Ambiental de Nicaragua. MEDE, MARENA, Managua, Managua.
- Parr, J. P. (1992).** Soil quality. Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture.

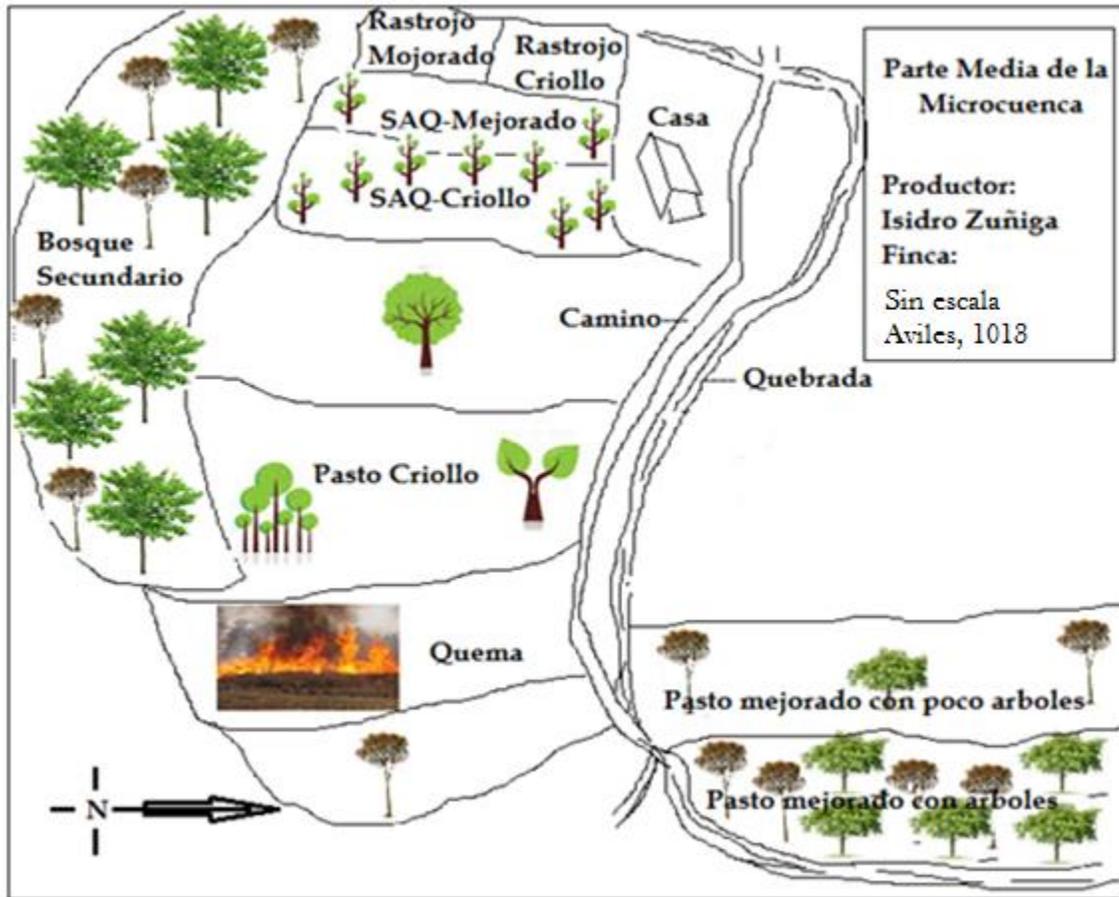
- PASOLAC. (2005).** Manual de Metodos sencillos para estimar erosión hídrica. PASOLAC, Managua. Managua: PASOLAC.
- Pavón, T. J. (2008).** Aplicación de los principios del sistema agroforestal Quesungual en Nicaragua, caracterización de la calidad física y química del suelo y susceptibilidad a la erosión en la Danta, So,otillo.
- Pla, I. (1983).** Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservaciones tropical. Facultad de Agronoma, UCV - Maracay, Venezuela, Maracay, Maracay.
- Quesada, R. (31 de 10 de 2009).** SIREFOR.org. Recuperado el 18 de 06 de 2014, de SIREFOR.Org: <http://www.sirefor.go.cr>
- Rodríguez, I. Calero, A. (2008).** Estudio detallado de suelos en áreas de laderas por toposecuencia de la microcuenta la Danta, Somotillo - Chinandega. Managua: UNA.
- Schmidt, B. A. (1982).** Determinants of soil loss tolerance. American Society of Agronomy - Soil Society of America.
- Somarriba, M. (1989).** Planificación conservacionista de la finca el plantel. UNA, Managua. Managua: UNA.
- Tafur, H. (2006).** Conceptos básico para el riego de los cultivos. Palmira , Colombia: Universidad Nacional Nacional de Colombia Facultad de Agronomías .
- Tally, L. L. (2006).** Estudio florístico de especies forestales y su uso potencial para el establecimiento de Sistema Quesungual en la Microcuenca hidrográfica la Danta Somotillo Chinandega. Managua: UNA.
- USDA. (2006).** Claves para la Taxonomía de Suelo. Departamento de Agricultura de los Estado Unidos.
- Vieira, S. R. (1983).** Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties (Vol. 51). Hilgardia, Berkeley.
- Walkley, A. & Blanck. (1946).** A examination of the Degjtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the cromic acid titration method. Col Sci, 37(2), 29-38.
- Welchez, A. (2002).** LEISA. Agroecologica, 18(3). Recuperado el 22 de 01 de 2015, de <http://www.funprover.org/manualTomate/Propiedades física del suelo.pdf>
- Willarh, H. H. (1974).** Intrumentalnmethods of analysis. Soil Sci, 19.

ANEXOS

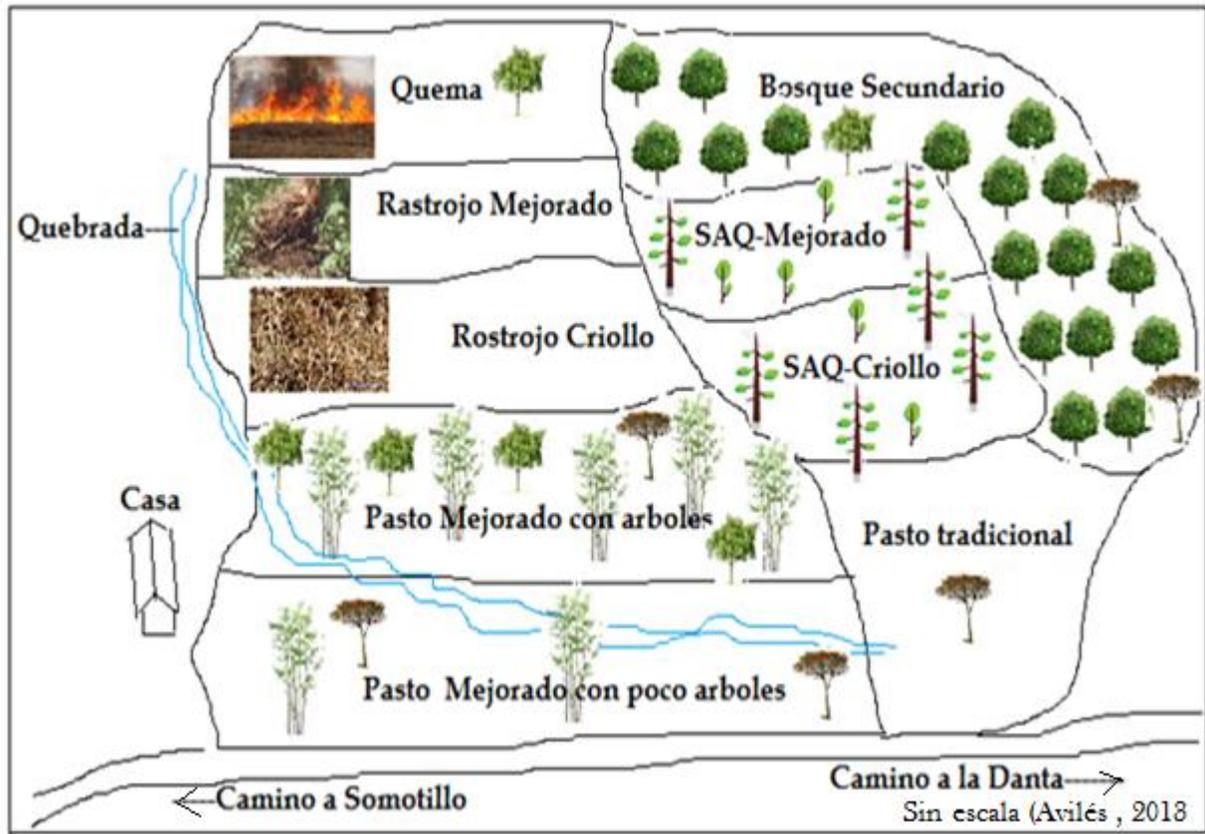
Anexo 1. Croquis de la finca de Roberto Pineda, ubicada en la parte alta de la microcuenca Tecomapa, 2011.



Anexo 2. Croquis de la finca de Isidro Zúñiga, ubicada en la parte alta de la microcuenca Tecomapa, 2011.



Anexo 3. Croquis de la finca de Teresa Rodríguez, ubicada en la parte baja de la microcuenca Tecomapa, 2011.



Anexo 4. Georeferenciación y localización de fincas y parcelas de los productores del proyecto Quesungual – forraje, Municipio Somitillo – 2011.

No	Nombres	Comunidad	Punto	Elevación (msnm)	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)
1	Teresa Ordoñez	La Flor	Casa	136	13°8.158	86°52.313
			Parcelas	-	-	-
2	Juana Hernández	La Flor	Casa	140	13°8.200	86°52.130
			Parcelas	-	-	-
3	Alberto Zúñiga	La Danta	Casa	-	-	-
			Parcelas	235	13°8.864	86°51.463
4	Isidro Zúñiga	La Danta	Casa	174	13°9.032	86°51.493
			Parcelas	187	13°9.351	86°51.083
5	Gerónimo Aguilera	La Danta	Casa	-	-	-
			Parcelas	189	13°9.407	86°51.064
6	Fredy Aguilera	La Danta	Casa	169	13°9.199	86°50.905
			Parcelas	236	13°9.205	86°50.897
7	Roberto Pineda	La Danta	Casa	-	-	-
			Parcelas	318	13°9.674	86°50.761
8	Ernesto Pineda	La Danta	Casa	-	-	-
			Parcelas	224	13°9.366	86°50.899

Anexo 5. Lista de especies encontradas en los bosques secundario de la micro cuenca Tecompa, Somotillo, 2005

No.	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
1	<i>Spondias mombin</i> .L	Jobo	Anacardeaceae
2	<i>Sapranthus nicaraguaensis</i> Seen	Palanca	Annonaceae
3	<i>Annona glabra</i>	Anona	Annonaceae
4	<i>Stemmadenia donnell Smithii</i>	Cojón de burro	Apocynaceae
5	<i>Thebita ovata</i> (Cav)	Chilca	Apocynaceae
6	<i>Lasianthaea fruticosa</i> . L	Flor maría	Asteraceae
7	<i>Tabebuia crysanta</i> (Jacq)	Cortez	Bignonaceae
8	<i>Tabebuia rosea</i> (Jacq)	Macuelizo	Bignonaceae
9	<i>Crescentia kujete</i> L.	Jícaro	Bignonaceae
10	<i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq)	Pochote	Bombacaceae
11	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	Bombacaceae
12	<i>Cordia alliodora</i> . Oken	Laurel	Boraginaceae
13	<i>Cordia bicolor</i> A.	Muñeco	Boraginaceae
14	<i>Cordia dentata</i> Poir.	Tigüilote	Boraginaceae
15	<i>Bursera simarouba</i> (L)	Jiñocuabo	Burceraceae
16	<i>Hymenae courbaril</i> L.	Guapinol	Caesalpinaceae
17	<i>Schizolobium parahybum</i> (Vell).	Gavilán	Caesalpinaceae
18	<i>Caesalpinia eriostachys</i> Benth.	Pintadillo	Caesalpinaceae
19	<i>Senna skinneri</i> (Benth).	Ronrón	Caesalpinaceae
20	<i>Curatella americana</i> L.	Chaparro	Dilleniaceae
21	<i>Muntigia calabura</i> L.	Capulín	Elaeocarpaceae
22	<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	Guachipilín	Fabaceae
23	<i>Platymiscium pleiostachium</i> J.D.Smith.	Coyote	Fabaceae
24	<i>Andira inermis</i> (W.Wright)	Almendra de río	Fabaceae
25	<i>Lonchocarpus phlebofolius</i> Standl	Cincho	Fabaceae
26	<i>Gyrocarpus americanus</i> Jacq	Talalate	Hernandiaceae
27	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L).	Nancite	Malpighiaceae
28	<i>Switenia humilis</i> Zucc.	Caoba	Meliaceae
29	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	Meliaceae
30	<i>Albizia adinocephala</i> (J;D:Smith)	Chaperno	Mimosaceae
31	<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq).	Quebracho	Mimosaceae
32	<i>Enterolobium ciclocarpum</i> (Jacq).	Guanacaste negro	Mimosaceae
33	<i>Albizia caribea</i> (Urb).	Guanacaste blanco	Mimosaceae
34	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb).	Espino de playa	Mimosaceae
35	<i>Acacia collinsii</i> Safford	Cornizuelo	Mimosaceae
36	<i>Ficus obtusifolia</i> H:B:K:	Matapalo	Moraceae
37	<i>Ficus insipida</i> Willd	Chilamate	Moraceae
38	<i>Chlorophora tinctoria</i> L.	Mora	Moraceae
39	<i>Eugenia salamensis</i> J:D:Smith.	Guacuco	Myrthaceae
40	<i>Coccoloba caracasana</i> Meissn	papalón	Poligonaceae
41	<i>Karwinskia calderonii</i> Standley.	Guiligiuste	Rhamnaceae
42	<i>Calycophyllum cadidissium</i>	Madroño	Rubiaceae
43	<i>Genipa caruto</i> H. B. K	Jagua	Rubiaceae
44	<i>Simarouba glauca</i> D:C:	Acetuno	Simaroubaceae
45	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo de ternero	Sterculiaceae
46	<i>Luehea candida</i> Zucc	Guácimo de molenillo	Teliaceae
47	<i>Trema micrantha</i> (L).	Capulín negro	Ulmaceae

Fuente: Tally & Gutiérrez, 2006.

Anexo 6. Datos de lluvias de las distintas estaciones situadas en las diferentes fincas de la toposecuencia de la microcuenca Tecomapa, 2011, 2012 y 2013.

MESES	AÑO		
	2011	2012	2013
Enero	0	0	0
Febrero	14	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	77	93	0
Mayo	270	198	158
Junio	255	337	203
Julio	175	103	103
Agosto	139	234	150
Septiembre	338	454	469
Octubre	544	242	292
Noviembre	71	0	94
Diciembre	0	3	0
TOTAL	1,883	1,664	1,469

Anexo 7. Rendimiento estimado de la producción maíz en un área de 70 m², la Flor y la Danta, Somotillo, 2011, 2012 y 2013.

Año	Productor	Código	Posición (alta y baja)	Pendiente (%)	Maíz (Kg ha ⁻¹)
2011	Roberto Pineda	SAQ	a	48	1318.2
2011	Roberto Pineda	SAQ	b	38	1295.5
2011	Roberto Pineda	Q	a	38	1113.6
2011	Roberto Pineda	Q	b	50	1204.5
2011	Isidro Zúñiga	SAQ	a	45	1431.8
2011	Isidro Zúñiga	SAQ	b	40	1613.6
2011	Isidro Zúñiga	Q	a	57	954.5
2011	Isidro Zúñiga	Q	b	39	1363.6
2011	Teresa Rodríguez	SAQ	a	42	1545.5
2011	Teresa Rodríguez	SAQ	b	35	1340.9
2011	Teresa Rodríguez	Q	a	25	1318.2
2011	Teresa Rodríguez	Q	b	25	1636.4
2012	Roberto Pineda	SAQ	a	48	2159.1
2012	Roberto Pineda	SAQ	b	38	1590.9
2012	Roberto Pineda	Q	a	38	1704.5
2012	Roberto Pineda	Q	b	50	1818.2
2012	Isidro Zúñiga	SAQ	a	45	1886.4
2012	Isidro Zúñiga	SAQ	b	40	2068.2
2012	Isidro Zúñiga	Q	a	57	1340.9
2012	Isidro Zúñiga	Q	b	39	1818.2
2012	Teresa Rodríguez	SAQ	a	42	2000
2012	Teresa Rodríguez	SAQ	b	35	1795.5
2012	Teresa Rodríguez	Q	a	25	1795.5
2012	Teresa Rodríguez	Q	b	25	2090.9
2013	Roberto Pineda	SAQ	a	48	1772.7
2013	Roberto Pineda	SAQ	b	38	1750
2013	Roberto Pineda	Q	a	38	1568.2
2013	Roberto Pineda	Q	b	50	1500
2013	Isidro Zúñiga	SAQ	a	45	1886.4
2013	Isidro Zúñiga	SAQ	b	40	2068.2
2013	Isidro Zúñiga	Q	a	57	1340.9
2013	Isidro Zúñiga	Q	b	39	1818.2
2013	Teresa Rodríguez	SAQ	a	42	2000
2013	Teresa Rodríguez	SAQ	b	35	1795.5
2013	Teresa Rodríguez	Q	a	25	1795.5
2013	Teresa Rodríguez	Q	b	25	2090.9

Anexo 8. Rendimiento estimado de la producción de frijol en un área de 70 m², la Flor y la Danta, Somotillo, 2011, 2012 y 2013.

Año	Productor	Código	Posición (alta y baja)	Pendiente (%)	Frijol (kg ha⁻¹)
2011	Roberto P	SAQ	a	48	704.5
2011	Roberto P	SAQ	b	38	681.8
2011	Roberto P	Q	a	38	772.7
2011	Roberto P	Q	b	50	477.3
2011	Isidro Z	SAQ	a	45	977.3
2011	Isidro Z	SAQ	b	40	931.8
2011	Isidro Z	Q	a	57	704.5
2011	Isidro Z	Q	b	39	386.4
2011	Teresa R	SAQ	a	42	750
2011	Teresa R	SAQ	b	35	500
2011	Teresa R	Q	a	25	636.4
2011	Teresa R	Q	b	25	477.3
2012	Roberto P	SAQ	a	48	2954.5
2012	Roberto P	SAQ	b	38	2954.5
2012	Roberto P	Q	a	38	1818.2
2012	Roberto P	Q	b	50	1590.9
2012	Isidro Z	SAQ	a	45	4261.4
2012	Isidro Z	SAQ	b	40	4715.9
2012	Isidro Z	Q	a	57	2159.1
2012	Isidro Z	Q	b	39	2954.5
2012	Teresa R	SAQ	a	42	2159.1
2012	Teresa R	SAQ	b	35	1590.9
2012	Teresa R	Q	a	25	1772.7
2012	Teresa R	Q	b	25	1704.5
2013	Roberto P	SAQ	a	48	1159.1
2013	Roberto P	SAQ	b	38	1136.4
2013	Roberto P	Q	a	38	940.9
2013	Roberto P	Q	b	50	477.3
2013	Isidro Z	SAQ	a	45	1163.6
2013	Isidro Z	SAQ	b	40	1227.3
2013	Isidro Z	Q	a	57	954.5
2013	Isidro Z	Q	b	39	613.6
2013	Teresa R	SAQ	a	42	938.6
2013	Teresa R	SAQ	b	35	715.9
2013	Teresa R	Q	a	25	840.9
2013	Teresa R	Q	b	25	636.4

Anexo 9. Datos de erosión y sedimentación en los suelos de la Flor y la Danta, Somotillo de los 2011, 2012 y 2013.

Año	Productor	Código	Posición (alta y baja)	Pendiente (%)	profundidad (cm)	E(-) (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	D(+) (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
2011	Roberto P	Bs	a	30	10	-19.3	3.8
2011	Roberto P	Bs	b	38	10	-2.1	59.7
2011	Roberto P	SAQ	a	48	10	-26.52	30.6
2011	Roberto P	SAQ	b	38	10	-35	132.3
2011	Roberto P	SSP	a	35	10	-17.3	34
2011	Roberto P	SSP	b	35	10	-116.2	96.8
2011	Roberto P	Pm	a	25	10	-38.8	28
2011	Roberto P	Pm	b	15	10	-2.28	160.7
2011	Roberto P	Q	a	38	10	-89.6	38.1
2011	Roberto P	Q	b	50	10	-63.5	1.3
2011	Isidro Z	Bs	a	52	10	-7.5	111.9
2011	Isidro Z	Bs	b	50	10	-37.7	36.7
2011	Isidro Z	SAQ	a	45	10	-15.7	274.4
2011	Isidro Z	SAQ	b	40	10	0	249
2011	Isidro Z	SSP	a	35	10	-93.7	34.6
2011	Isidro Z	SSP	b	59	10	-9	3.8
2011	Isidro Z	Pm	a	4	10	-146.3	45.4
2011	Isidro Z	Pm	b	15	10	-106	4.24
2011	Isidro Z	Q	a	57	10	-121	5.8
2011	Isidro Z	Q	b	39	10	-71	28.9
2011	Teresa R	Bs	a	45	10	-31.3	0
2011	Teresa R	Bs	b	26	10	-64.8	1.3
2011	Teresa R	SAQ	a	42	10	-2.1	20.5
2011	Teresa R	SAQ	b	35	10	-32.7	11.9
2011	Teresa R	SSP	a	35	10	-15.3	70.9
2011	Teresa R	SSP	b	28	10	-32.4	43.2
2011	Teresa R	Pm	a	15	10	-8	9.1
2011	Teresa R	Pm	b	20	10	-14	123.2
2011	Teresa R	Q	a	25	10	-45.1	123.3
2011	Teresa R	Q	b	25	10	-86.4	15.4
2012	Roberto P	Bs	a	30	10	-86.4	15.4
2012	Roberto P	Bs	b	38	10	-17	15.4
2012	Roberto P	SAQ	a	48	10	0	189.7

2012	Roberto P	SAQ	b	38	10	-5	36.4
2012	Roberto P	SSP	a	35	10	0	25.3
2012	Roberto P	SSP	b	35	10	0	242
2012	Roberto P	Pm	a	25	10	-45.4	70.7
2012	Roberto P	Pm	b	15	10	-2.3	71.9
2012	Roberto P	Q	a	38	10	-151.2	91.3
2012	Roberto P	Q	b	50	10	-243	309.9
2012	Isidro Z	Bs	a	52	10	-28.2	119.4
2012	Isidro Z	Bs	b	50	10	-12.2	176.5
2012	Isidro Z	SAQ	a	45	10	48.2	431.2
2012	Isidro Z	SAQ	b	40	10	-19.4	268.3
2012	Isidro Z	SSP	a	35	10	-6.4	202.9
2012	Isidro Z	SSP	b	59	10	-19	93.1
2012	Isidro Z	Pm	a	4	10	-31.2	11.4
2012	Isidro Z	Pm	b	15	10	-6.4	54.1
2012	Isidro Z	Q	a	57	10	-180.5	1.9
2012	Isidro Z	Q	b	39	10	-74	327.5
2012	Teresa R	Bs	a	45	10	-31.3	156.4
2012	Teresa R	Bs	b	26	10	-93.6	7.2
2012	Teresa R	SAQ	a	42	10	-41	93.5
2012	Teresa R	SAQ	b	35	10	-58	75.2
2012	Teresa R	SSP	a	35	10	-20.9	171
2012	Teresa R	SSP	b	28	10	-16.2	297
2012	Teresa R	Pm	a	15	10	-13.4	250.5
2012	Teresa R	Pm	b	20	10	-23.8	86.8
2012	Teresa R	Q	a	25	10	-17.2	22.8
2012	Teresa R	Q	b	25	10	-13.3	177.1
2013	Roberto P	Bs	a	30	10	-21.1	71.7
2013	Roberto P	Bs	b	38	10	-21.1	91.6
2013	Roberto P	SAQ	a	48	10	-83.6	112.2
2013	Roberto P	SAQ	b	38	10	0	105.2
2013	Roberto P	SSP	a	35	10	-17.3	44.9
2013	Roberto P	SSP	b	35	10	-42.4	81
2013	Roberto P	Pm	a	25	10	-24.9	4.7
2013	Roberto P	Pm	b	15	10	-49.4	63.3
2013	Roberto P	Q	a	38	10	-128.8	175.8
2013	Roberto P	Q	b	50	10	-94	137.7
2013	Isidro Z	Bs	a	52	10	-43.2	104.3
2013	Isidro Z	Bs	b	50	10	0	0
2013	Isidro Z	SAQ	a	45	10	-17.9	95.2

2013	Isidro Z	SAQ	b	40	10	0	260.6
2013	Isidro Z	SSP	a	35	10	-9.1	77.4
2013	Isidro Z	SSP	b	59	10	-46.6	16.2
2013	Isidro Z	Pm	a	4	10	-42.6	203.1
2013	Isidro Z	Pm	b	15	10	-5.3	35
2013	Isidro Z	Q	a	57	10	-147.8	0
2013	Isidro Z	Q	b	39	10	-188.7	41.1
2013	Teresa R	Bs	a	45	10	-69.4	59.8
2013	Teresa R	Bs	b	26	10	-3.6	25.3
2013	Teresa R	SAQ	a	42	10	-25.1	155
2013	Teresa R	SAQ	b	35	10	-23.8	52.5
2013	Teresa R	SSP	a	35	10	-40.3	125.1
2013	Teresa R	SSP	b	28	10	-27	102.6
2013	Teresa R	Pm	a	15	10	-41.7	22.9
2013	Teresa R	Pm	b	20	10	-22.4	35
2013	Teresa R	Q	a	25	10	-157.2	26
2013	Teresa R	Q	b	25	10	-96.8	102.3

Anexo 10. Indicadores de calidad de suelos de la Danta y la Flor de la micro cuenca Tecomapa Somotillo, 2011, 2012 y 2013.

Año	Código	Posición (alta y baja)	Pend (%)	Prof (cm)	Da (g/c ³)	E(-) (t ha ⁻¹ a ⁻¹)	D(+) (t ha ⁻¹ a ⁻¹)	Infiltrac (min/pul)	Rent hume (%)	Arcilla (%)	Espesor (cm)	Tipo Suelo
2011	Bs	a	30	10	1.20	-19.3	3.8	11.55	4.74	29.8	6.5	Mol
2011	Bs	b	38	10	1.29	-2.1	59.7	4.92	2.31	31.8	8	Mol
2011	SAQ	a	48	10	1.21	-26.52	30.6	2.4	3.17	33.8	9	Mol
2011	SAQ	b	38	10	1.15	-35	132.3	0.25	3.43	31.8	11	Mol
2011	SSP	a	35	10	1.21	-17.3	34	9.95	6.66	27.8	9.5	Mol
2011	SSP	b	35	10	1.22	-116.2	96.8	4.12	7	33.8	9.5	Mol
2011	Pm	a	25	10	0.94	-38.8	28	0.98	3.01	31.8	4.5	Mol
2011	Pm	b	15	10	1.28	-2.28	160.7	24	4.31	29.8	5	Mol
2011	Q	a	38	10	1.34	-89.6	38.1	3.4	2.93	33.8	4	Mol
2011	Q	b	50	10	1.41	-63.5	1.3	34.7	7.88	29.6	6	Mol
2011	Bs	a	52	10	1.02	-7.5	111.9	1	1.49	27.8	9	Alf
2011	Bs	b	50	10	0.91	-37.7	36.7	0.16	2.86	25.8	8.5	Alf
2011	SAQ	a	45	10	1.22	-15.7	274.4	0.55	4.96	25.8	7	Alf
2011	SAQ	b	40	10	1.11	0	249	1.39	7.03	21.8	9	Alf
2011	SSP	a	35	10	1.05	-93.7	34.6	23.9	4.08	35.8	7.5	Alf
2011	SSP	b	59	10	1.26	-9	3.8	4	5.71	37.8	6.5	Alf
2011	Pm	a	4	10	1.39	-146.3	45.4	4.95	9.88	23.8	5	Alf
2011	Pm	b	15	10	1.31	-106	4.24	15.2	6.16	29.8	5.5	Alf
2011	Q	a	57	10	1.29	-121	5.8	1	3.08	33.8	5	Alf
2011	Q	b	39	10	1.18	-71	28.9	0.16	13.24	33.8	6.5	Alf
2011	Bs	a	45	10	1.27	-31.3	0	7.9	12.09	23.8	8	Ver
2011	Bs	b	26	10	0.99	-64.8	1.3	0.05	6.66	23.8	9.5	Ver
2011	SAQ	a	42	10	0.98	-2.1	20.5	0.1	1.88	27.8	7	Ver
2011	SAQ	b	35	10	1.17	-32.7	11.9	0.15	4.31	27.8	7	Ver
2011	SSP	a	35	10	1.12	-15.3	70.9	9.72	1.63	27.8	6.75	Ver
2011	SSP	b	28	10	1.04	-32.4	43.2	0.05	5.74	27.8	6.5	Ver
2011	Pm	a	15	10	1.10	-8	9.1	0.1	6.87	27.8	3.5	Ver
2011	Pm	b	20	10	1.28	-14	123.2	0.73	2.08	27.8	4	Ver
2011	Q	a	25	10	1.39	-45.1	123.3	2	2.42	28.9	4.6	Ver
2011	Q	b	25	10	1.15	-86.4	15.4	5.2	4.16	29.8	5	Ver
2012	Bs	a	30	10	0.96	-86.4	15.4	14.54	4.74	29.8	5	Mol
2012	Bs	b	38	10	1.06	-17	15.4	3.18	2.31	31.8	9	Mol
2012	SAQ	a	48	10	1.02	0	189.7	1.34	3.17	33.8	9	Mol
2012	SAQ	b	38	10	1.13	-5	36.4	2.89	3.43	31.8	10	Mol
2012	SSP	a	35	10	1.15	0	25.3	0.76	6.66	27.8	12	Mol
2012	SSP	b	35	10	1.21	0	242	0.69	7	33.8	12	Mol
2012	Pm	a	25	10	1.14	-45.4	70.7	1.23	3.01	31.8	4	Mol

2012	Pm	b	15	10	1.14	-2.3	71.9	1.48	4.31	29.8	6	Mol
2012	Q	a	38	10	1.12	-151.2	91.3	4.4	2.93	27.8	3	Mol
2012	Q	b	50	10	1.35	-243	309.9	4.96	7.88	27.8	7	Mol
2012	Bs	a	52	10	0.94	-28.2	119.4	1.7	1.49	27.8	12	Alf
2012	Bs	b	50	10	1.02	-12.2	176.5	1.85	2.86	25.8	12	Alf
2012	SAQ	a	45	10	1.12	48.2	431.2	1.38	4.96	25.8	9	Alf
2012	SAQ	b	40	10	1.29	-19.4	268.3	0.35	7.03	21.8	10	Alf
2012	SSP	a	35	10	0.91	-6.4	202.9	0.26	4.08	35.8	6	Alf
2012	SSP	b	59	10	0.95	-19	93.1	1.47	5.71	37.8	9	Alf
2012	Pm	a	4	10	1.42	-31.2	11.4	20.28	9.88	23.8	6	Alf
2012	Pm	b	15	10	1.06	-6.4	54.1	4.74	6.16	29.8	6	Alf
2012	Q	a	57	10	0.96	-180.5	1.9	0.53	3.08	33.8	3	Alf
2012	Q	b	39	10	1.11	-74	327.5	3	13.24	33.8	5	Alf
2012	Bs	a	45	10	1.36	-31.3	156.4	0.58	12.09	23.8	11	Ver
2012	Bs	b	26	10	1.2	-93.6	7.2	0.65	6.66	23.8	12	Ver
2012	SAQ	a	42	10	1.14	-41	93.5	0.49	1.88	27.8	8	Ver
2012	SAQ	b	35	10	0.99	-58	75.2	0.41	4.31	27.8	9	Ver
2012	SSP	a	35	10	1.39	-20.9	171	7.34	1.63	27.8	6.5	Ver
2012	SSP	b	28	10	1.08	-16.2	297	8.37	5.74	27.8	3	Ver
2012	Pm	a	15	10	1.34	-13.4	250.5	3.83	6.87	27.8	3.5	Ver
2012	Pm	b	20	10	1.4	-23.8	86.8	13.56	2.08	27.8	4	Ver
2012	Q	a	25	10	1.2	-17.2	22.8	0.49	2.42	29.8	5	Ver
2012	Q	b	25	10	1.1	-13.3	177.1	0.41	4.16	25.8	5	Ver
2013	Bs	a	30	10	0.96	-21.1	71.7	12.3	7	25.6	8	Mol
2013	Bs	b	38	10	1.06	-21.1	91.6	16.8	3.8	31.6	7	Mol
2013	SAQ	a	48	10	1.02	-83.6	112.2	16.7	4.55	31.6	9	Mol
2013	SAQ	b	38	10	1.13	0	105.2	26.4	3.3	31.6	12	Mol
2013	SSP	a	35	10	1.15	-17.3	44.9	39.8	6.45	25.6	7	Mol
2013	SSP	b	35	10	1.21	-42.4	81	25.4	9.62	27.6	7	Mol
2013	Pm	a	25	10	1.14	-24.9	4.7	29.5	3.3	33.6	5	Mol
2013	Pm	b	15	10	1.14	-49.4	63.3	39.7	2.04	27.6	4	Mol
2013	Q	a	38	10	1.12	-128.8	175.8	32.89	2.42	21.6	9	Mol
2013	Q	b	50	10	1.35	-94	137.7	34.5	3.55	25.6	7	Mol
2013	Bs	a	52	10	0.94	-43.2	104.3	23.15	3.12	23.6	5	Alf
2013	Bs	b	50	10	1.02	0	0	25.55	4.65	25.6	5	Alf
2013	SAQ	a	45	10	1.12	-17.9	95.2	9.6	1.53	25.6	6	Alf
2013	SAQ	b	40	10	1.29	0	260.6	5.2	3.92	21.6	5	Alf
2013	SSP	a	35	10	0.91	-9.1	77.4	57	7.14	39.6	5	Alf
2013	SSP	b	59	10	0.95	-46.6	16.2	36.7	10.9	37.6	8	Alf
2013	Pm	a	4	10	1.42	-42.6	203.1	46.5	3.63	35.6	9	Alf

2013	Pm	b	15	10	1.06	-5.3	35	39.8	6.66	27.6	4	Alf
2013	Q	a	57	10	0.96	-147.8	0	39.17	6.49	23.6	4	Alf
2013	Q	b	39	10	1.11	-188.7	41.1	11.32	7.59	25.6	5	Alf
2013	Bs	a	45	10	1.36	-69.4	59.8	22.46	6.31	25.6	6	Ver
2013	Bs	b	26	10	1.2	-3.6	25.3	13.19	9.47	23.6	12	Ver
2013	SAQ	a	42	10	1.14	-25.1	155	8.13	6.25	29.6	7	Ver
2013	SAQ	b	35	10	0.99	-23.8	52.5	4.83	1.47	25.6	8	Ver
2013	SSP	a	35	10	1.39	-40.3	125.1	26.55	18.64	29.6	5	Ver
2013	SSP	b	28	10	1.08	-27	102.6	8.34	21.18	31.6	7	Ver
2013	Pm	a	15	10	1.34	-41.7	22.9	39.7	4.08	23.6	6	Ver
2013	Pm	b	20	10	1.4	-22.4	35	22.9	1.38	21.6	5	Ver
2013	Q	a	25	10	1.2	-157.2	26	21.55	2.08	25.6	7	Ver
2013	Q	b	25	10	1.1	-96.8	102.3	7.69	5.55	23.6	10	Ver

Anexo 11. Indicadores relacionados a la fertilidad química de los suelos de la Danta y la Flor de la micro cuenca Tecomapa Somotillo, 2011, 2012 y 2013.

Año	Código	Posición (alta y baja)	Pendiente %	MOS (kg ha⁻¹ año⁻¹)	pH (H₂O)	P (ppm)
2011	Bs	a	30	9217.4	6.16	1.3
2011	Bs	b	38	10578.0	5.66	0.3
2011	SAQ	a	48	26023.9	5.92	1.6
2011	SAQ	b	38	35420.0	5.89	0.6
2011	SSP	a	35	36557.3	5.73	1.3
2011	SSP	b	35	33735.8	5.65	0.1
2011	Pm	a	25	13477.9	6.16	1.7
2011	Pm	b	15	17042.0	6.06	0.8
2011	Q	a	38	10292.8	6.36	1.6
2011	Q	b	50	2166.1	5.67	0.8
2011	Bs	a	52	43352.6	5.52	0.0
2011	Bs	b	50	35490.0	5.40	0.0
2011	SAQ	a	45	60599.5	5.25	5.2
2011	SAQ	b	40	51725.1	5.36	1.8
2011	SSP	a	35	27959.5	6.02	0.6
2011	SSP	b	59	32261.0	5.95	1.1
2011	Pm	a	4	41995.6	5.90	1.0
2011	Pm	b	15	39038.0	5.74	0.2
2011	Q	a	57	19156.9	5.29	0.7
2011	Q	b	39	13897.8	6.48	0.1
2011	Bs	a	45	57230.0	5.42	0.9
2011	Bs	b	26	40556.7	5.40	0.4
2011	SAQ	a	42	42140.0	5.39	1.0
2011	SAQ	b	35	52650.0	5.40	0.0
2011	SSP	a	35	39000.0	5.44	1.3
2011	SSP	b	28	34320.0	5.50	0.8
2011	Pm	a	15	45063.0	5.45	1.8
2011	Pm	b	20	48640.0	5.54	1.2
2011	Q	a	25	51248.9	5.10	1.4
2011	Q	b	25	34155.0	5.17	0.9
2012	Bs	a	30	27712.3	5.88	0.1
2012	Bs	b	38	25499.2	5.87	0.1
2012	SAQ	a	48	36314.7	6.10	6.1
2012	SAQ	b	38	32076.0	6.11	4.2

2012	SSP	a	35	13832.1	6.06	0.6
2012	SSP	b	35	25614.6	5.68	0.4
2012	Pm	a	25	49911.0	6.04	2.6
2012	Pm	b	15	53201.8	6.30	3.8
2012	Q	a	38	27481.4	6.10	4.1
2012	Q	b	50	53909.1	6.21	15.4
2012	Bs	a	52	51584.0	6.30	1.4
2012	Bs	b	50	64395.0	6.33	0.4
2012	SAQ	a	45	54934.9	5.87	7.3
2012	SAQ	b	40	60140.9	6.09	12.0
2012	SSP	a	35	45076.5	6.40	3.1
2012	SSP	b	59	30910.6	6.30	1.0
2012	Pm	a	4	63443.2	6.20	1.7
2012	Pm	b	15	43755.6	6.18	2.3
2012	Q	a	57	42425.0	5.92	1.2
2012	Q	b	39	50616.0	5.99	4.0
2012	Bs	a	45	60762.5	5.88	1.8
2012	Bs	b	26	89162.4	5.88	1.0
2012	SAQ	a	42	69922.5	6.25	2.9
2012	SAQ	b	35	41827.6	6.09	9.2
2012	SSP	a	35	83906.4	6.19	0.4
2012	SSP	b	28	64511.6	6.20	0.9
2012	Pm	a	15	79391.4	5.75	0.7
2012	Pm	b	20	80906.6	5.91	0.1
2012	Q	a	25	61772.6	5.79	2.2
2012	Q	b	25	79221.4	5.73	9.5
2013	Bs	a	30	33923.2	6.4	2.8
2013	Bs	b	38	42224.1	6	2.4
2013	SAQ	a	48	32766.7	5.83	5.4
2013	SAQ	b	38	13794.1	5.7	2.7
2013	SSP	a	35	43592.6	5.31	1.3
2013	SSP	b	35	29541.4	5.82	1.8
2013	Pm	a	25	27832.4	5.33	2.2
2013	Pm	b	15	32959.5	5.61	1.9
2013	Q	a	38	48212.0	5.86	6.9
2013	Q	b	50	51173.9	5.59	0.0
2013	Bs	a	52	75666.1	5.88	0.5
2013	Bs	b	50	69104.0	6.13	0.6
2013	SAQ	a	45	59461.1	5.47	12.0
2013	SAQ	b	40	76708.1	6.61	16.6

2013	SSP	a	35	29172.9	6.32	3.0
2013	SSP	b	59	27427.9	6.45	1.1
2013	Pm	a	4	44617.5	6.56	5.6
2013	Pm	b	15	36008.3	5.9	1.6
2013	Q	a	57	48519.3	5.46	16.3
2013	Q	b	39	53270.6	5.51	20.0
2013	Bs	a	45	46199.4	5.19	2.2
2013	Bs	b	26	78002.6	5.59	10.7
2013	SAQ	a	42	34366.6	6.69	1.4
2013	SAQ	b	35	50956.7	4.99	0.7
2013	SSP	a	35	53419.8	5.61	0.3
2013	SSP	b	28	38752.7	5.53	5.0
2013	Pm	a	15	71337.4	5.4	0.3
2013	Pm	b	20	77003.2	5.85	0.2
2013	Q	a	25	49352.9	5.48	5.9
2013	Q	b	25	47343.4	5.45	4.0

Anexo 12. Análisis de Varianzas de depósitos y erosión de suelos en los usos de tierra agrícola, 2011, 2012 y 2013.

Anexo 12.1. ANOVA – Erosión y sedimentación ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) con relación a tratamientos, año y finca.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ton/ha	900	0.12	0.10	462.09

Datos desbalanceados en celdas.
Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5549839.10	26	213455.35	4.77	<0.0001
Año	757830.14	2	378915.07	8.47	0.0002
Productor	51975.53	2	25987.77	0.58	0.5598
trt	2103235.96	4	525808.99	11.75	<0.0001
Posición	97959.07	1	97959.07	2.19	0.1394
% Pend	2538838.39	17	149343.43	3.34	<0.0001
Error	39077678.17	873	44762.52		
Total	44627517.27	899			

Anexo 12.2. ANOVA – Erosión y sedimentación ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) con relación a la posición en el tratamiento.

G:\TESIS-Avilés-2015\Anton\Anton-Erosión-Suelo\Respaldo 1\Erosión en Ton.IDB2: 03/11/2015 - 03:07:15 p.m.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ton/ha	900	2.2E-03	1.1E-03	486.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	98061.98	1	98061.98	1.98	0.1600
Posición	98061.98	1	98061.98	1.98	0.1600
Error	44529455.30	898	49587.37		
Total	44627517.27	899			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=29.13591

Error: 49587.3667 gl: 898

Posición Medias n

b	-56.25	449	A
a	-35.37	451	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Anexo 12.3. ANOVA – Erosión y sedimentación ($t \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) con relación a la pendiente.

G:\TESIS-Avilés-2015\Anton\Anton-Erosión-Suelo\Respaldo
1\Erosión en Ton.IDB2: 03/11/2015 - 03:15:22 p.m.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ton/ha	900	0.08	0.06	472.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3363146.78	17	197832.16	4.23	<0.0001
% Pend	3363146.78	17	197832.16	4.23	<0.0001
Error	41264370.50	882	46785.00		
Total	44627517.27	899			

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=91.34925

Error: 46785.0006 gl: 882

% Pend	Medias	n						
45.00	-133.89	60	A					
40.00	-133.05	60	A					
28.00	-122.40	30	A	B				
52.00	-94.00	30	A	B	C			
15.00	-92.93	57	A	B	C			
48.00	-74.12	30	A	B	C	D		
42.00	-63.84	30	A	B	C	D	E	
20.00	-61.60	30	A	B	C	D	E	
35.00	-58.63	150		B	C	D	E	
50.00	-43.18	60		B	C	D	E	
38.00	-35.45	90		B	C	D	E	
39.00	-23.68	30		B	C	D	E	
30.00	-7.04	30			C	D	E	
32.00	8.13	30			C	D	E	
59.00	15.83	30				D	E	
25.00	17.63	93					E	
26.00	43.60	30					E	F
57.00	147.20	30						F

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 12.4. ANOVA – Erosión y sedimentación ($t \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) en relación a los tratamientos.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ton/ha	900	0.05	0.04	476.08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2101842.86	4	525460.71	11.06	<0.0001
trt	2101842.86	4	525460.71	11.06	<0.0001
Error	42525674.42	895	47514.72		
Total	44627517.27	899			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=45.09557

Error: 47514.7200 gl: 895

trt	Medias	n	
SAQ	-121.79	180	A
SSP	-60.97	182	B
Pm	-42.11	178	B
Bs	-31.98	180	B
Q	28.13	180	C

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 12.5. ANOVA – Erosión y sedimentación con relación al tiempo, 2011, 2012 y 2013.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ton/ha	900	0.02	0.01	483.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	757830.14	2	378915.07	7.75	0.0005
Año	757830.14	2	378915.07	7.75	0.0005
Error	43869687.13	897	48907.12		
Total	44627517.27	899			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=35.43846

Error: 48907.1205 gl: 897

Año	Medias	n	
2012.00	-85.96	300	A
2013.00	-32.94	300	B
2011.00	-18.46	300	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 13. Análisis de Varianzas de los indicadores de calidad de suelos.

Anexo 13.1. ANOVA – Infiltración de agua en el suelo (min pul⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Infil (cm)	60	0.40	0.31	119.03

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9064.59	8	1133.07	15.31	<0.0001
Año	6744.99	1	6744.99	91.15	<0.0001
Productor	399.14	2	199.57	2.70	0.0770
Trt	1689.09	4	422.27	5.71	0.0007
Posicion	231.36	1	231.36	3.13	0.0830
Error	3773.99	51	74.00		
Total	12838.57	59			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=7.05039

Error: 73.9997 gl: 51

Trt Medias n

SAQ	6.48	12	A
Bs	11.33	12	A B
Q	13.41	12	A B
SSP	17.72	12	B C
Pm	21.94	12	C

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 13.2. ANOVA – Contenido de arcilla en el suelo (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arcilla %	60	0.32	0.21	13.49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	347.27	8	43.41	2.97	0.0083
Año	32.27	1	32.27	2.21	0.1433
Productor	101.73	2	50.87	3.48	0.0382
Trt	211.60	4	52.90	3.62	0.0113
Posicion	1.67	1	1.67	0.11	0.7369
Error	744.87	51	14.61		
Total	1092.13	59			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.13222

Error: 14.6052 gl: 51

Trt Medias n

Bs	26.53	12	A
Q	27.03	12	A
SAQ	27.87	12	A
Pm	28.37	12	A
SSP	31.87	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 13.3. ANOVA – Espesor orgánico de suelo (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Epesor (cm)	60	0.34	0.23	32.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	139.01	8	17.38	3.22	0.0048
Año	5.40	1	5.40	1.00	0.3216
Productor	8.40	2	4.20	0.78	0.4641
Trt	115.61	4	28.90	5.36	0.0011
Posicion	9.60	1	9.60	1.78	0.1879
Error	274.89	51	5.39		
Total	413.90	59			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.90280

Error: 5.3900 gl: 51

Trt Medias n

Pm	5.21	12	A
Q	5.83	12	A B
SSP	7.29	12	B C
SAQ	8.50	12	C
Bs	8.67	12	C

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 13.4. ANOVA – Retención de humedad (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Rh	60	0.26	0.14	64.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	225.36	8	28.17	2.25	0.0386
Año	11.53	1	11.53	0.92	0.3419
Productor	28.17	2	14.08	1.12	0.3328
Trt	174.32	4	43.58	3.48	0.0138
Posicion	11.34	1	11.34	0.90	0.3460
Error	638.88	51	12.53		
Total	864.24	59			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.90083

Error: 12.5271 gl: 51

Trt Medias n

SAQ	3.82	12	A
Pm	4.45	12	A
Q	5.12	12	A
Bs	5.38	12	A
SSP	8.73	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 13.5. ANOVA – pH del suelo (H₂O)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	60	0.28	0.16	5.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.29	8	0.29	2.44	0.0257
Productor	1.11	2	0.55	4.71	0.0133
Trt	0.18	4	0.05	0.39	0.8166
Año	1.00	1	1.00	8.54	0.0052
Posicion	6.7E-04	1	6.7E-04	0.01	0.9402
Error	5.99	51	0.12		
Total	8.28	59			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.28092

Error: 0.1175 gl: 51

Trt Medias n

Q	5.85	12	A
SSP	5.85	12	A
Bs	5.90	12	A
Pm	5.97	12	A
SAQ	5.99	12	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 14. Análisis de Varianzas de los indicadores de fertilidad química de suelos.

Anexo 14.1. ANOVA – Materia orgánica del suelo (kg ha⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MOS (kg/ha)	90	0.56	0.51	30.02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18034784791.20	9	2003864976.80	11.31	<0.0001
Trt	1349326395.67	4	337331598.92	1.90	0.1180
Año	5636117900.50	2	2818058950.25	15.90	<0.0001
Productor	11047878934.09	2	5523939467.05	31.16	<0.0001
Posicion	1461560.94	1	1461560.94	0.01	0.9279
Error	14180366633.32	80	177254582.92		
Total	32215151424.52	89			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=8831.70082

Error: 177254582.9165 gl: 80

Trt	Medias	n		
SSP	38310.70	18	A	
Q	41345.29	18	A	B
SAQ	46212.69	18	A	B
Bs	47814.41	18		B
Pm	48090.25	18		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 14.2. ANOVA – Materia orgánica del suelo (kg ha⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P-disp (ppm)	60	0.40	0.31	119.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	483.81	8	60.48	4.32	0.0005
Año	104.52	1	104.52	7.47	0.0086
Productor	108.35	2	54.17	3.87	0.0272
Trt	265.85	4	66.46	4.75	0.0025
Posicion	5.09	1	5.09	0.36	0.5493
Error	713.92	51	14.00		
Total	1197.73	59			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.06647

Error: 13.9985 gl: 51

Trt	Medias	n		
SSP	1.12	12	A	
Pm	1.37	12	A	
Bs	1.90	12	A	
Q	5.06	12		B
SAQ	6.26	12		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 15. Análisis de producción de maíz y frijol en los sistemas de uso de la tierra, 2011, 2012 y 2013.

Anexo 15.1. ANOVA – Producción de maíz (kg ha⁻¹)

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3165524.60	13	243501.89	32.98	<0.0001
Trt	257629.00	1	257629.00	34.89	<0.0001
Productor	251112.44	2	125556.22	17.00	<0.0001
Pend %	763111.03	7	109015.86	14.76	<0.0001
Año	1755928.33	2	877964.16	118.90	<0.0001
Posición	137743.80	1	137743.80	18.65	0.0003
Error	162447.49	22	7383.98		
Total	3327972.09	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=59.40267

Error: 7383.9767 gl: 22

Trt Medias n

Q 1570.71 18 A

SAQ 1739.90 18 B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 15.2. ANOVA – Producción de frijol (kg ha⁻¹)

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32345732.72	13	2488133.29	8.85	<0.0001
Trt	2562427.24	1	2562427.24	9.12	0.0063
Productor	2971758.70	2	1485879.35	5.29	0.0133
Pend %	1403449.76	7	200492.82	0.71	0.6615
Posición	31078.09	1	31078.09	0.11	0.7426
Año	25377018.93	2	12688509.46	45.15	<0.0001
Error	6182320.93	22	281014.59		
Total	38528053.65	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=366.45890

Error: 281014.5877 gl: 22

Trt Medias n

Q 1106.57 18 A

SAQ 1640.15 18 B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

Anexo 16. Análisis de componentes principales de los indicadores de calidad de suelos, en los sistemas agrícolas, 2011, 2012 y 2013.

Autovalores				Autovectores			
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum	Variables	e1	e2	e3
1	3.76	0.38	0.38	MOS (kg/ha)	-0.14	0.59	-0.05
2	2.65	0.27	0.64	Epesor (cm)	-0.21	-0.07	-0.54
3	2.47	0.25	0.89	P (ppm)	-0.42	-0.18	0.23
4	1.12	0.11	1.00	pH	0.35	0.14	-0.41
5	0.00	0.00	1.00	Arcilla %	0.32	-0.44	-0.09
6	0.00	0.00	1.00	Infil (min/P ^{''})	0.47	0.03	0.26
7	0.00	0.00	1.00	Rh (%)	0.36	-0.39	-0.09
8	0.00	0.00	1.00	D(+)	-0.27	-0.24	-0.22
9	0.00	0.00	1.00	E(-)	-0.13	-0.23	0.56
10	0.00	0.00	1.00	Pend %	-0.31	-0.37	-0.22

Anexo 17. Análisis de componentes principales de la producción de maíz y frijol, en los sistemas agrícolas, 2011, 2012 y 2013.

Autovalores				Autovectores		
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum	Variables	e1	e2
1	2.83	0.40	0.40	MOS kg/ha	0.27	-0.21
2	1.42	0.20	0.61	Infil (mm/P ^{''})	-0.45	0.01
3	0.94	0.13	0.74	D(+)	0.38	0.41
4	0.72	0.10	0.84	E(-)	0.39	-0.03
5	0.55	0.08	0.92	Pend %	-0.21	0.68
6	0.39	0.06	0.98	maiz	0.48	-0.27
7	0.15	0.02	1.00	frijol	0.39	0.50

