

EVALUACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL EN PENDIENTES UNIFORMES
PARA PREDICCIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN DIFERENTES MANEJOS DEL
SUELO CON PAPA *Solanum tuberosum*, EN EL ALTIPLANO DE PASTO,
DEPARTAMENTO DE NARIÑO¹

EVALUATION OF PLANT COVER ON UNIFORM SLOPES FOR PREDICTION OF
WATER EROSION ON DIFFERENT SOIL MANAGEMENT, WITH POTATO *Solanum
tuberosum*, IN THE HIGHLANDS OF PASTO, NARIÑO DEPARTMENT.

Carlos Narvárez Montilla²

Alex Chaves Betancourth³

Jesús Castillo Franco⁴

RESUMEN

El estudio se realizó en la Estación Experimental FEDEPAPA, municipio de Pasto, Nariño. En un terreno con pendiente de 35 a 42%, que permaneció bajo Kikuyo *Pennisetum clandestinum* por más de 15 años. En parcelas de escorrentía, se distribuyeron seis sistemas productivos (SP) con *Solanum tuberosum* y un testigo T7 (parcela desnuda). Se evaluó la cobertura vegetal, la humedad volumétrica y la pérdida de suelo por erosión hídrica y efectos antrópicos, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El porcentaje de cobertura vegetal de *Solanum tuberosum* se determinó usando dos métodos. La cobertura de mulch y arvenses (CMA) con el método visual calibrado. La humedad volumétrica (H_θ), a tres distancias de 0 a 2,3 m, de 2,3 a 4,6 m y de 4,6 a 7 m de las barreras vivas, con un medidor portátil. Los datos de suelo se expresaron en peso de suelo

¹ Artículo presentado a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño como requisito para optar por el Título de Ingeniero Agroforestal.

² Estudiante tesista, Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño, 2010; E-mail: calichenar69@gmail.com

³ Estudiante tesista, Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño, 2010; E-mail al23chaves@hotmail.com

⁴ Profesor asistente. I. A. MSc .Ph.D Suelos. Facultad Ciencias Agrícolas, Programa Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia. 2009; E-mail: castilloja@telecom.com.co

seco en t/ha. No se presentaron diferencias estadísticas entre los SP, ni entre los métodos, al evaluar cobertura de *Solanum tuberosum*. Tampoco en cobertura de mulch y arvenses. Para H₀ existen diferencias ($P \leq 0,05$) entre los SP, y entre distancias; T7 presenta el mayor promedio 29,83 %, seguido del T5 (Papa con barrera de mora, labranza mínima, fertilización química y rotación con cultivos transitorios) con 25,31%. Los SP T2 (papa con labranza tradicional, fertilización química mas orgánica y rotación con kikuyo) y T1 (papa con labranza tradicional, fertilización química y rotación con kikuyo) presentaron los valores más bajos. La H₀ es mayor cerca a las barreras. No se reportaron diferencias estadísticas para pérdida de suelo por acción hídrica. T1 presentó el mayor valor 0,32 t/ha. El T4 (papa con barrera de pasto brasilero, labranza tradicional, fertilización química y rotación con cultivos transitorios) presentó el menor dato con 0,27 t/ha. La pérdida de suelo por acción antrópica presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$), T2 y T1 presentaron los mayores valores 2,87 y 1,13 t/ha, los SP T3,T4,T5 y T6 se comportan estadísticamente igual presentado los valores más bajos que oscilan entre 0,06 y 0,08 t/ha.

Palabras claves: Parcela de escorrentía, barrera viva, humedad volumétrica, labranza.

ABSTRACT

The study was conducted at the FEDEPAPA`s Experimental Station, municipality of Pasto, Nariño. In a land with a slope of 35 and 42%, which remained under Kikuyu *Pennisetum clandestinum* for over 15 years. In runoff plots, were distributed six production systems (SP) with *Solanum tuberosum* and a control T7 (bare plot). was evaluated the vegetation cover, volumetric moisture, and soil loss by water erosion and anthropogenic effects, under a complete block design random with three replications. The percentage of plant cover of *Solanum tuberosum* was determined using two methods. Mulch and weeds cover (CMA) with calibrated visual method. The volumetric moisture (H₀), three distance ranges: near (0 to 2.3 m), medium (2.3 to 4.6 m) and far (4.6 to 7 m) of hedgerows, with a portable meter. The soil data were expressed by weight of dry soil in t/ha. Weren't statistical differences between the SP, nor among the methods to assess the percentage of coverage of *Solanum tuberosum*. Again mulch and weed coverage of mulch and weeds. For H₀ differences ($P \leq$

0.05) between the SP and between distances. T7 has the highest average 29.83%, followed by T5 (Papa barrier blackberry, minimum tillage, chemical fertilizers and rotation with annual crops) with 25.31%. The SP T2 (potato with conventional tillage, chemical and organic fertilization, and rotation with kikuyu), and T1 (potato with conventional tillage, chemical fertilizers and rotation with kikuyu grass) had the lowest values. The H₀ is greatest near the barriers. Were't reported statistical differences for soil loss by water action, the T1 had the highest value of 0,32 t/ha. The T4 (potato with Brazilian grass barrier, conventional tillage, chemical fertilizers and rotation with annual crops) the lowest figure with 0,27 t/ha. The loss of soil by human action showed highly significant differences ($P \leq 0.01$), T2 and T1, showed the highest values 2,87 and 1,13 t/ha in the SP T3, T4, T5 and T6 behave statistically the same, presented the lowest values, ranging between 0.06 and 0.08 t / ha.

Keywords: runoff plot, living barrier, volumetric moisture, tillage.

INTRODUCCIÓN

El suelo que se utiliza para la agricultura es una capa delgada, esta necesitó muchos siglos para formarse, pero puede ser destruida en pocos años si no se usa adecuadamente. Tan sólo el 12% de la superficie de la tierra es fácilmente cultivable. Martínez (2004).

La cantidad de erosión que tiene lugar en un sitio, puede estimarse midiendo la cantidad de sólido transportado. Se estima que el valor medio de pérdida de suelo a nivel mundial es de 479 t/Km²*año, y en Sur América con 701 t/Km²*año. Redaguas (2009)

En Colombia, no se tiene claro cuál es el volumen de suelo que se pierde por año debido al conjunto de actividades agropecuarias. El IDEAM informa que en el año 2000 Colombia tenía cerca del 25% de sus tierras con procesos erosivos severos o muy severos, en cambio El IGAC reportaba para esa misma época solamente alrededor de 4%. UNAL (2009).

Para el departamento de Nariño un estudio realizado por Ordoñez (2007) en Riobobo, reporta perdidas de suelo por erosión hídrica y efectos antrópicos por valor de 15,34 t/ha en pendientes longitudinales de 25 a 31 % para el cultivo de *Solanum tuberosum*. La pérdida

de suelo en el cultivo de papa es alarmante en pocos años gran parte de las áreas cultivadas con *Solanum tuberosum* podrían desaparecer si no se cambia la forma convencional de producir.

En este sentido, el objetivo general de esta investigación, fue evaluar la cobertura vegetal en pendientes uniformes para predicción de erosión hídrica, en diferentes manejos de suelo con papa, para lo cual se plantean los siguientes objetivos: medir el porcentaje de cobertura que proporciona *Solanum tuberosum*, mulch y arvenses, el contenido de humedad volumétrica en el suelo, la pérdida de suelo por acción hídrica y antrópica, y determinar las relaciones de las variables evaluada.

Este estudio se realizó en el marco del proyecto “Desarrollo y Evaluación de Prácticas de Fertilización en Unidades Productivas Integrales Sostenibles con Papa en la Zona Andina del Departamento de Nariño” con el apoyo financiero del MADR. (Ministerio de agricultura y desarrollo rural)

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de investigaciones C.I Obonuco, de FEDEPAPA; ubicado en el municipio de Pasto, departamento de Nariño, a 1° 11' 56'' latitud Norte y 77° 18'15'' longitud Oeste, altura de 2.750 msnm, una precipitación promedio de 840 mm/año., temperatura promedio de 13° C. La zona de vida según Holdridge (1982), corresponde a zona de vida Bs-pm (bosque seco-premontano). Los suelos de ésta zona corresponden a una consolidación Vitric Haplustand, (AMBa) son muy profundos y moderadamente profundos, bien a imperfectamente drenados y de fertilidad moderada, pertenecen al grupo textural franco limoso, desarrollados a partir de cenizas volcánicas, clasificados como Andisoles. IGAC (2004).

El experimento se realizó en un terreno de 3,5 has en pendientes longitudinales que oscilan entre 35 y 42%, el cual estuvo ocupado por *Solanum tuberosum*, y como antecedente presentaba una cobertura de *Pennisetum clandestinum* por un periodo de 15 años. El terreno se preparó con labranza mecánica excepto el T5 preparado con labranza mínima

(guachado). (Tabla 1). Las labores de fertilización y aporques se realizaron a 30 y 60 días después de la siembra. De acuerdo al plan de fertilización, se utilizó una mezcla de Urea (162 kg) , DAP (479,36 kg) y KCl (77,32 kg) a una dosis de 14 gr/planta, se utilizó 3 t/ha de gallinaza como material orgánico. Los SP T3 y T4 presentaban dos barreras *Phalaris spp.* Los SP T5 y T6 con barreras de *Rubus glaucus benth* separadas 19 m entre sí (Hudson, 1982), sembrada a tres bolillo a una distancia de 2 m entre surcos y 2,6 m entre plantas, que poseían un excelente desarrollo.

Los SP se hallaban establecidos en unidades de 35 m de largo por 18 m de ancho, y dentro de estas las parcelas experimentales de 25 m de largo por 6 m de ancho; con el objetivo de eliminar el efecto borde, en la parte superior se delimitaron con láminas de aluminio calibre n° 20 para evitar el paso de agua de escorrentía, los costados laterales no se delimitaron ya que los surcos del cultivo de papa cumplen esta función. En la parte inferior se había instalado una canaleta de PVC de 6 m de largo y 20 cm de ancho como canal colector de suelo erodado, la cual vierte su contenido de escorrentía en un tanque colector de 20 litros, previamente pasando por un tanque que actúa como colector-sedimentador y divide el agua de escorrentía en 20 partes iguales para optimizar la capacidad del tanque colector.

El porcentaje cobertura vegetal de *Solanum tuberosum* se determinó mediante el método tradicional (CMT) (mesa de cuadrados) y el software (CobCal V2) para validar la funcionalidad del método tradicional y generar mayor confiabilidad. El primer método es una mesa de un metro cuadrado que consta de 100 cuadrados de 10x10 cm, en sus intersecciones se suspenden 100 pesas, el número de estas que topen la parte foliar indican el porcentaje de cobertura; es un método práctico, sencillo, fácil de trabajar pero requiere de tiempo al hacer varios muestreos. El segundo método, analiza fotografías digitales del espacio muestral, sin importar el tipo de cámara o la distancia focal, determina el porcentaje de suelo cubierto por vegetación mediante diferencia de colores.

Se distribuyeron seis SP y un testigo (Tabla 1) con tres repeticiones bajo un diseño de bloques completos al azar, con arreglo factorial, de la siguiente manera: para las variables erosión hídrica, erosión por efecto antrópico; se utilizó el diseño de bloques completos al

azar. Se registro la pluviosidad mensual (Figura 1) con un pluviómetro marca (Eijkelkmp modelo 698726) se recogieron los sedimentos correspondientes a las canaletas colectoras y los sedimentos en el agua de escorrentía para cuantificar la erosión. El material trasportado por la escorrentía depositado en las canaletas colectoras fue pesado en húmedo y una submuestra de aproximadamente 0,1- 0,2 kg, fue tomada y secada para calcular el peso del suelo seco depositado. Del agua de escorrentía se tomó una muestra homogénea de un litro, la cual se dejó decantar en laboratorio, para posteriormente searla y calcular el peso del suelo presente en el agua de escorrentía, Castillo (1994). La pérdida total de suelo por erosión hídrica en (t/ha) es la suma de los sedimentos en suspensión más los sedimentos en las canaletas.

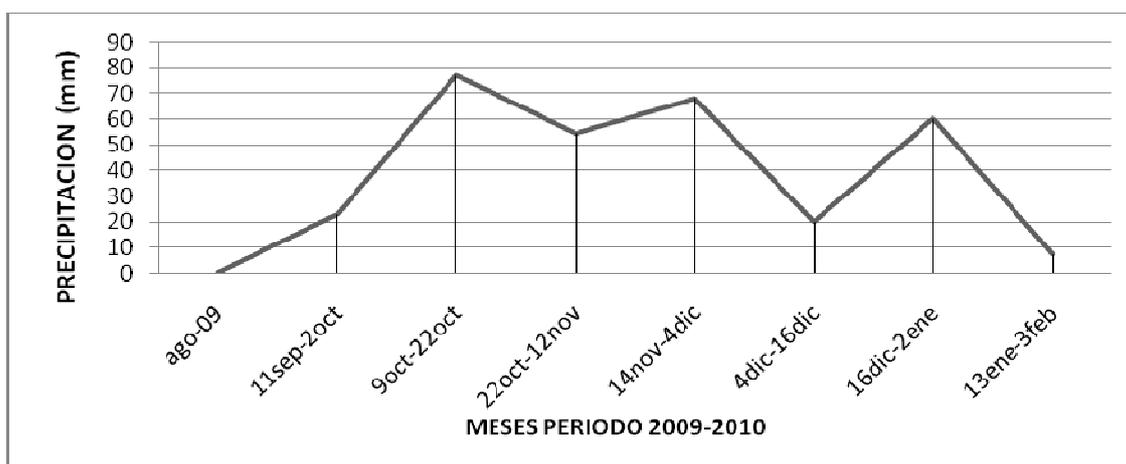


Figura 1. Registros de precipitación mensual (mm) determinados por pluviómetro digital, (Eijkelkmp modelo 698726), FEDEPAPA, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, Nariño.2009-2010.

Las pérdidas de suelo por efecto antrópico que tuvieron lugar en el aporque y al momento de la cosecha del cultivo de *Solanum tuberosum*, fueron pesadas expresando sus datos en peso seco al horno en (t/ha). Para un adecuado análisis de la variable erosión por efecto antrópico se trasformo los datos con (raíz cuadrada) debido al alto coeficiente de variación que presentaron los datos originales.

El porcentaje de cobertura vegetal en *Solanum tuberosum*, se midió en todo el ciclo del cultivo, bajo un (BCA) con arreglo factorial 6x2, El primer *factor A* corresponde a los seis

SP y el **factor B** a dos métodos de medición, el CMT (mesa de cuadrados) y Software (CobCal V2). El porcentaje de mulch y arvenses se midió mediante evaluación visual.

La H₀ se midió de manera simultánea a la cobertura vegetal, a una profundidad de 10 a 15 cm, en los seis SP y el testigo T7, se utilizó el medidor portátil de humedad en suelos (MPM 160) acompañado de la sonda de humedad (MP406) bajo el (BCA) con arreglo factorial 7x2x3, El primer **factor A** corresponde a los SP el **factor B** a dos zonas: zona 1 (humedad después de la barrera) y zona 2 (humedad antes de la barrera) en sentido de la pendiente y el **factor C** a tres distancias: de 0 a 2,3m, de 2,3 a 4,6m y de 4,6 a 7 de las barreras vivas.

En cada SP se inventariaron las diferentes plantas ocasionales que luego se identificaron en el herbario de la universidad de Nariño mediante el método comparativo y revisión secundaria. El análisis estadístico se realizó con la utilización de Statistical Analysis System (SAS). Al evaluar cobertura vegetal y la pérdida de suelo por efectos antrópicos fue necesario excluir al T7 puesto que este permaneció libre cobertura y sin labores culturales propias del cultivo de *Solanum tuberosum*.

Tabla 1: Descripción de los sistemas productivos con *Solanum tuberosum*, para evaluar cobertura vegetal en relación a la erosión y humedad volumétrica del suelo. Corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto 2009.

SP	DESCRIPCIÓN	SIGLA
T1	Cultivo de papa (P) (<i>Solanum tuberosum</i> V. <i>parda suprema</i>) con labranza tradicional (LT) (mecánica) del terreno y aplicación de fertilización química (Q). Al finalizar el ciclo del cultivo de papa este será sustituido nuevamente por pasto kikuyo (K) (<i>Pennisetum clandestinum</i>).	P LT Q K
T2	Cultivo de papa (P) (<i>Solanum tuberosum</i> V. <i>parda suprema</i>) con labranza tradicional (LT) (mecánica) y aplicación de fertilización química (Q).y fertilización orgánica (O) (2-1). Al finalizar el ciclo del cultivo de papa este será sustituido nuevamente por pasto kikuyo (K) (<i>Pennisetum clandestinum</i>).	P LT Q O K
T3	Cultivo de papa (P) (<i>Solanum tuberosum</i> V. <i>parda suprema</i>) con barreras de pasto brasilero (B) (<i>Phalaris sp</i>), con labranza tradicional (LT) (mecánica) y aplicación de fertilización química (Q).y fertilización orgánica (O) (2-1). Al finalizar el ciclo del cultivo de papa este será sustituido nuevamente por pasto kikuyo (K) (<i>Pennisetum clandestinum</i>).	P B LT Q K

T4	Cultivo de papa (P) (<i>Solanum tuberosum</i> V. <i>parva suprema</i>) con barreras de pasto brasilero (B) (<i>Phalaris sp</i>), con labranza tradicional (LT) (mecánica) y aplicación de fertilización química (Q). Al finalizar el ciclo del cultivo de papa este será sustituido por cultivos transitorios (C) (frijol, maíz, arveja, haba u otros).	P B LT Q C
T5	Cultivo de papa (P) (<i>Solanum tuberosum</i> V. <i>parva suprema</i>) con barreras de mora de castilla (M) (<i>Rubus glaucus benth</i>), con labranza mínima (LM) (guachado) y aplicación de fertilización química (Q). Al finalizar el ciclo del cultivo de papa este será sustituido por cultivos transitorios (C) (frijol, maíz, arveja, haba u otros).	P M LM Q C
T6	Cultivo de papa (P) (<i>Solanum tuberosum</i> V. <i>parva suprema</i>) con barreras de mora de castilla (M) (<i>Rubus glaucus benth</i>), labranza tradicional (LT) (mecánica) y aplicación de fertilización química (Q) y fertilización orgánica (O) (2.1), Al finalizar el ciclo del cultivo de papa este será sustituido por cultivos transitorios (C) (frijol, maíz, arveja, haba u otros).	P M LT Q O C
T7	Parcela libre de vegetación: esta parcela permaneció libre de vegetación durante toda la investigación.(LV)	LV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cobertura vegetal: El análisis de varianza (Tabla 2) para porcentaje de cobertura vegetal de *Solanum tuberosum*, no mostró diferencias estadísticas entre los SP evaluados, tampoco se presentaron diferencias entre los métodos utilizados (Figura 2) ni en la interacción SP*método. El análisis de varianza para mulch y arvenses tampoco indicó diferencias.

Tabla 2. Análisis de la Varianza para porcentaje de cobertura vegetal en seis SP con *Solanum tuberosum*. C.I. Obonuco FEDEPAPA, Pasto, Nariño. 2009.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	36,66	13	2,82	1,12	0,3935 ^{ns}
Bloque	0,55	2	0,28	0,11	0,8962 ^{ns}
SP	32,32	5	6,46	2,57	0,0563 ^{ns}
Método	2,64	1	2,64	1,05	0,3168 ^{ns}
SP*Método	1,14	5	0,23	0,09	0,9929 ^{ns}
Error	55,37	22	2,52		
Total	92,03	35			

**.: Diferencias altamente significativas. ($p \leq 0,01$). *: Diferencia significativa ($p \leq 0,05$). ns: no significativo.

Lo anterior indica que el porcentaje cobertura vegetal de *Solanum tuberosum*, no se ve afectada por los diferentes SP evaluados, esto puede atribuirse al corto tiempo de

establecidos los SP, a que en el cultivo se utilizó la misma variedad (parda suprema), se realizaron las mismas labores a un mismo tiempo, la fertilización fue similar aunque en los SP T2 y T6 se manejo una mezcla de fertilización química más material orgánica. Además, no se incorporo algún tipo de cobertura. Al respecto, Mamani (2001) al evaluar la cobertura foliar, y la altura de la planta en diferentes tipos de labranza en *Solanum tuberosum*, tampoco encontraron diferencias estadísticas. En cuanto a los métodos utilizados Ferrari et al (2009). Al comparar su método (CobCal V2) con el tradicional, al evaluar la cobertura en un cultivo de colza (*Brassica napus*) no encontraron diferencias estadísticas.

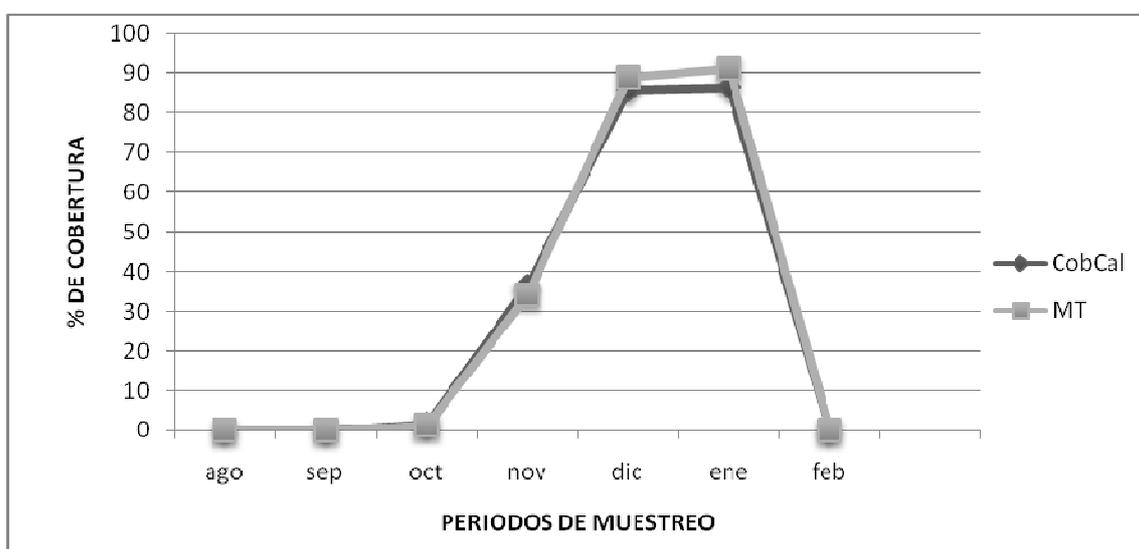


Figura 2. Porcentaje de cobertura vegetal de *Solanum tuberosum*, determinada por el método tradicional (MT) y CobCal V2, durante el ciclo del cultivo, FEDEPAPA, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, Nariño.2009.

Se reportó que el porcentaje promedio general de cobertura vegetal para todo el ciclo del cultivo fue de 36,24 %. En los 2 primeros meses la cobertura no ha superado el 4%. El valor más alto logrado fue de 84,16 %. (Figura 3).

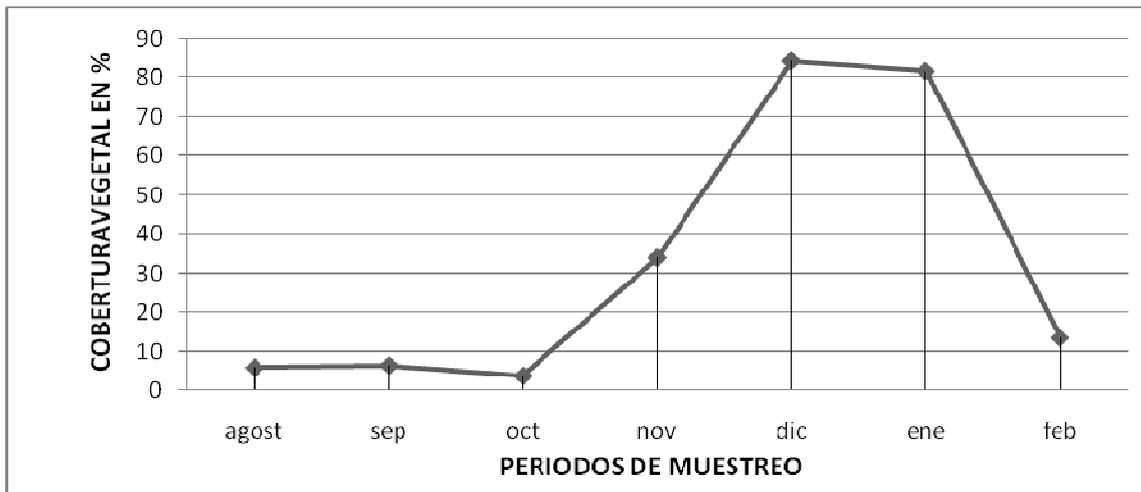


Figura 3. Porcentaje general de cobertura vegetal en un ciclo del cultivo de *Solanum tuberosum*, FEDEPAPA, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, Nariño.2009.

El porcentaje medio de cobertura es moderadamente bajo. A los 2 primeros meses es muy bajo en comparación a los rangos establecidos por Fernández (2006) (Tabla 3), y a lo reportado por Ordoñez (2007) con 60 y 96% de cobertura en la mayor parte del ciclo del cultivo, esta diferencia se atribuye al "fenómeno del niño" que se caracteriza por presentar largos periodos de sequia, desde el inicio de la siembra en el mes de agosto hasta octubre (Figura 1) periodo en el cual se registran los valores mas bajos de cobertura vegetal incrementándose hacia al mes de noviembre del 2009. En postcosecha la cobertura fue de 13,47% mayor al 5% que reporta Ordoñez (2007) y baja a lo propuesto por Fernández (2006).

Tabla 3: Rangos de cobertura vegetal: evaluación de procesos erosivos. Chile. 2009.

COBERTURA VEGETAL	%
Muy baja	0 -10
Baja	10 -25
Moderadamente baja	25-50
Moderadamente alta	50 -75
Alta	75 - 90
Muy alta	90 -100

Fuente: Fernández, 2006.

Hudson (1982) señala que a nivel de cultivo, una cobertura al 100% solo se puede lograr con la utilización de herbáceas o cultivos forrajeros. En cultivos lineales como en *Solanum*

tuberosum, manejados de manera tradicional no es posible lograr una cobertura al 100% al no ser que se implemente algún tipo de cobertura.

Con el fin de determinar que especies de arvenses y mulch protegen al suelo con su cobertura, se lograron identificar 16 especies en el cultivo de *Solanum tuberosum*. (Tabla 4), siendo *Pennisetum clandestinum* la especie que se presenta con más frecuencia, según Estrada (2004) esta especie se considera una gramínea de buena adaptabilidad y cobertura caracterizada por su denso y rastrero crecimiento apta para pastoreo. Otra especie encontrada es *Trifolium repens* L, según Bernal (2003) se puede considerar una especie de interés debido a su aporte de nitrógeno al suelo, como fuente de alimentación y como controladora de arvense en cultivos.

Tabla 4: lista de arvenses encontradas en el sistema productivo papa en C.I Obonuco FEDEPAPA, Pasto, Nariño.

ARVENSES ENCONTRADAS CON MAYOR FRECUENCIA	
NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTÍFICO
Lengua de vaca	<i>Rumex crispus</i> L
Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i> weber.
Nabo amarillo	<i>Brassica</i> sp.
Yuyito	<i>Senecio vulgaris</i> L.
Poma (cardo blanco)	<i>Silybum marianum</i> L. Gaertn
Yerbamora	<i>Solanum nigrum</i> L
Verbena	<i>Verbena litoralis</i> H.B.K
Amapola	<i>Papaver rhoeas</i> L.
Rabano morado	<i>Raphanus raphanistrum</i> L
Llantén	<i>Plantago major</i> L
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i> L.
Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>
Pan con queso, bolsa de pastor	<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.
Anicillo	<i>Spergula arvensis</i> L
Cenizo	<i>Chenopodium panuculatum</i> HOOK

Fuente: esta investigación apoyada en: MORENO y CORDOBA. (1968), CARDENAS.et-al (1970) y el Herbario (PSO) de la Universidad de Nariño.

Humedad volumétrica (H₀) El análisis de varianza para humedad volumétrica **H₀** (Tabla 5) presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$) entre los seis sistemas productivos y el testigo, entre distancias y la interacción distancias*SP, evaluados en el ciclo del cultivo de *Solanum tuberosum*.

Tabla 5: Análisis de varianza humedad volumétrica del suelo bajo *Solanum tuberosum* CI Obonuco Pasto Nariño 2009.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	1863,60	43	43,34	8,15	<0,0001**
Bloque	13,29	2	6,65	1,25	0,2920 ^{ns}
SP	1021,88	6	170,31	32,03	<0,0001**
Lugar	0,07	1	0,07	0,01	0,9074 ^{ns}
Distancia	442,51	2	221,26	41,61	<0,0001**
SP*lugar	7,23	6	1,20	0,23	0,9670 ^{ns}
SP*distancia	372,90	12	31,07	5,84	<0,0001**
Lugar*Distancia	0,09	2	0,04	0,01	0,9916 ^{ns}
SP*lugar*distancia	5,63	12	0,47	0,09	>0,9999
Error	436,07	82	5,32		
Total	2299,66	125			

***: Altamente significativo ($p \leq 0,01$). **: Diferencia significativa ($p \leq 0,05$). ns: No significativo.**

El suelo de los SP que presentaron los más altos contenidos de humedad fueron; el T7 y el T5 con 30,08 y 25,65% respectivamente. Los SP T2 y T1 presentaron los valores más bajos con 20,94 y 21,38 % respectivamente. Los demás SP valores intermedios entre los grupos mencionados (Figura 4).

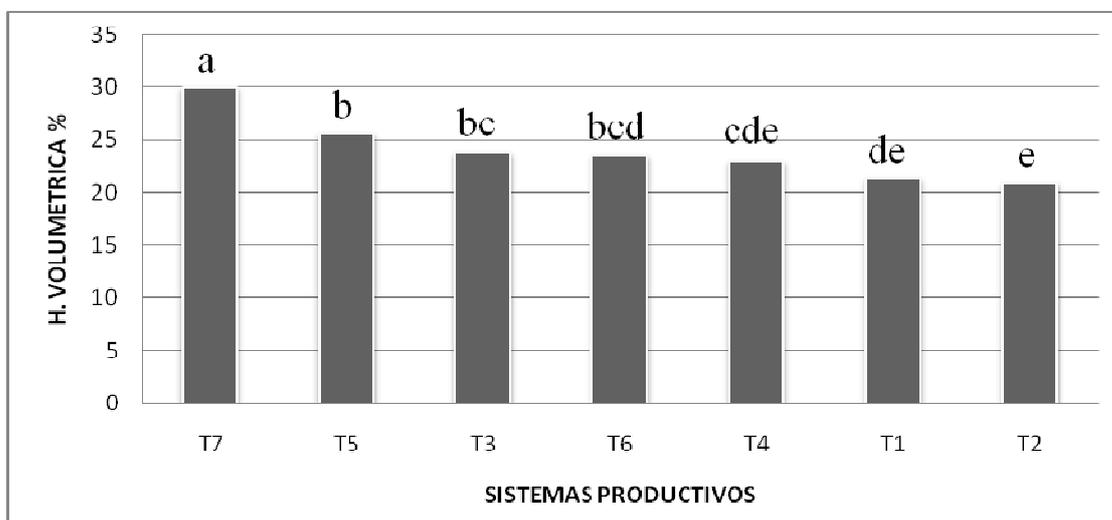


Figura 4. Evaluación de la humedad volumétrica del suelo en diferentes SP determinada con medidor portátil (MPM 160) en el ciclo del cultivo de *Solanum tuberosum*, C.I Obonuco, FEDEPAPA, Pasto, Nariño.2009. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0,05$).

El T7 se mantuvo libre de cobertura, sin embargo es el que mayor humedad presentó, esto se puede atribuir a la mínima remoción de suelo que representa una imperceptible

alteración de la estructura del mismo, conservando los micro y macro-poros, al respecto Orozco et al (1983) señala que los micro-poros del suelo cumplen la función de almacenamiento de agua para la utilización de las plantas, y los macro-poros, que contiene aire, en ocasiones cumplen la función de almacenamiento después de la precipitación.

IGAC (1986) afirma que los suelos de origen de ceniza volcánico se caracterizan por proporciona alta porosidad y permeabilidad, baja densidad aparente (menor de 1g.cc-1) y capacidad de retención de humedad variable que depende del contenido de materia orgánica y del tipo de arcillas.

El T5 se caracteriza por el tipo de labranza mínima (guachado). A lo que se atribuye el mayor valor de contenido de $H\theta$ con respecto a los demás SP. Estudios realizados por Descanse y Vallejo (2005), al evaluar la retención de humedad en tres sistemas de labranza (arado de cincel, arado de chuzo y el guachado), reporta los siguientes valores: 42.5, 37.34, y 43.65 % respectivamente, se puede notar que el guachado presentó el mayor contenido de humedad al igual que en este estudio. Según Phillips (1986), una de las ventajas de la labranza mínima en la producción de cultivos reside en la conservación de la humedad del suelo, esta provee de la menor evaporación frente al laboreo convencional. Por otra parte Sampat. (1982), afirma que en suelos profundos y bien drenados se obtiene mejor respuesta con un mínimo laboreo del suelo, indispensable para el control de arvenses, nivelación del terreno, formación de canales de irrigación y construcción de eras o camas de siembra.

La prueba de comparación de medias Tukey para $H\theta$ a tres distancias indica diferencias estadísticas al ($p \leq 0,05$) (Tabla 6). En donde los SP T5,T3,T4, y T6 presentaron los más altos porcentajes de $H\theta$ a distancia D1: de 0 a 2,3m con 30,88- 29,88- 28,77 y 28.75 % respectivamente y los SP que reportaron los menores valores de humedad volumétrica a distancias D2: de 2,3 a 4,6m, D3: de 4,6-7m, fueron el T4 y T2 con los siguientes valores 20,61 y 20,73%, respectivamente. Pero en las interacciones Lugar*Distancia, SP*Lugar y la interacción entre las tres no se presentaron diferencias estadísticas.

Tabla 6: Evaluación de humedad volumétrica del suelo en el cultivo de *Solanum tuberosum* a tres distancias de barreras vivas, CI Obonuco, FEDEPAPA, Pasto, Nariño. Tukey.

DISTANCIAS	D1	D2	D3
MEDIA (%)	26.74 a	22.97b	22.49b

D1 de 0-2,3 m D2 de 2,3-4,6 m D3 de 4,6-7m

Medias con distinta letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

La distancia en la cual se presentó el mayor contenido de H₀ a D1 con 26,74% respecto a D2 y D3 con 22,97 y 22,49% respectivamente. Se observa que a cortas distancias de las barreras el suelo puede almacenar entre 3,77 y 4,25 % más de humedad que a mayores distancias de las barreras. Un estudio realizado por Ruiz, Bravo y Loaeza, (2001), al evaluar diferentes coberturas y barreras vivas en cultivos de maíz (*Zea mays*) y maní (*Arachis hypogaea*) en zonas de ladera, encontraron que la humedad aprovechable se incrementa en un 2,3 % más que en cultivos sin coberturas o barreras y se incrementó los rendimientos hasta 480 Kg/ha, y se redujo la erosión del suelo. Por otro lado Rodríguez (1984) afirma que el mayor contenido de humedad en cultivos con labranza mínima se debe a la relación inversa con la temperatura del suelo por efecto de la cobertura.

Perdidas de suelo erosión hídrica (PSEH): El análisis de varianza para **PSEH** expresada en t/ha, no mostró diferencias significativas entre los SP. Sin embargo el SP que menos suelo perdió fue el T4 seguido de T5 y T6 con 0,27; 0,28 y 0,28 t/ha respectivamente y los que más perdieron suelo fueron T1 y T3 con 0,32 y 0,31 t/ha respectivamente. Tabla 7.

Tabla 7: Evaluación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en diferentes manejos de suelo con *Solanum tuberosum*. C.I Obonuco, FEDEPAPA, Pasto, Nariño.2009

SP	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
MEDIA (t/ha)	0.32	0.30	0.31	0.27	0.28	0.28	0.29

Alvarado y López (2009), encontraron diferencias estadísticas, en donde el SP T2 es el que mayor cantidad de suelo perdió por erosión hídrica con 0,45 t/ha, seguido de T6 y T5 con 0,42 y 0,39 t/ha respectivamente, y el SP que menos suelo perdió fue el T4 con 0,16 t/ha. Cabe resaltar que el estudio de Alvarado y López, fue realizado a comienzos del año 2009 en los SP T6 y T5, las barreras vivas de *Rubus glaucus benth* no ocasionaron efecto debido al bajo crecimiento que estas presentaron al momento de la evaluación, en cambio

el T4 que presenta barrera de *Phalaris spp*, esta si cumplió con el objetivo, debido a su buen desarrollo y crecimiento. Se debe resaltar que en esta evaluación a diferencia de lo encontrado por Alvarado y López, en los SP que menos suelo se pierde por erosión hídrica son el T6 y T5, en este caso las barreras de *Rubus glaucus benth* presentan un mayor crecimiento, además se encuentran asociadas con *Trifolium repens* L, el cual presenta un buen desarrollo. Se observa que el T7 a pesar de permanecer libre de cobertura no presenta al valor más alto de pérdidas de suelo por erosión hídrica, esto se puede atribuir a que la remoción de suelo en este sistema es imperceptible, además por acción natural se presenta cobertura de *Pennisetum clandestinum* que en bajos porcentaje ayudan al amarre del suelo reduciendo las pérdidas por erosión hídrica.

Pérdida de suelo por efectos antrópicos (PSEA): La prueba de comparación de medias Tukey (Tabla 8), mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los SP al evaluar la pérdida de suelo por efectos antrópicos.

Tabla 8: Evaluación de pérdidas de suelo por efectos antrópicos en diferentes manejos de suelo con *Solanum tuberosum*. C.I Obonuco, FEDEPAPA, Pasto, Nariño. Datos transformados con raíz cuadrada.

SP	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Medias (t/ha)	1.12b	2.87a	0.07c	0.06c	0.07c	0.11c
	(1.05b)*	(1.68a)*	(0.26c)*	(0.24c)*	(0.27c)*	(0.34c)*

Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). (n)*: Medias transformadas con raíz cuadrada.

Como lo afirma Alvarado y López (2009), las mayores pérdidas se presentan en el aporque y cosecha momento de mayor remoción de suelo. Se observa que los SP T2 y T1 presentaron los valores más alto de pérdida de suelo con 2,87 y 1,12 t/ha respectivamente, en cuanto a los SP T3, T4, T5 y T6 se comportan igual estadísticamente, presentando los valores más bajos que oscilan entre 0,06 y 0,11 t/ha. (Figura 5), los sistemas mencionados se destacan por la presencia de barreras vivas de, *Rubus glaucus benth* y *Phalaris spp*.

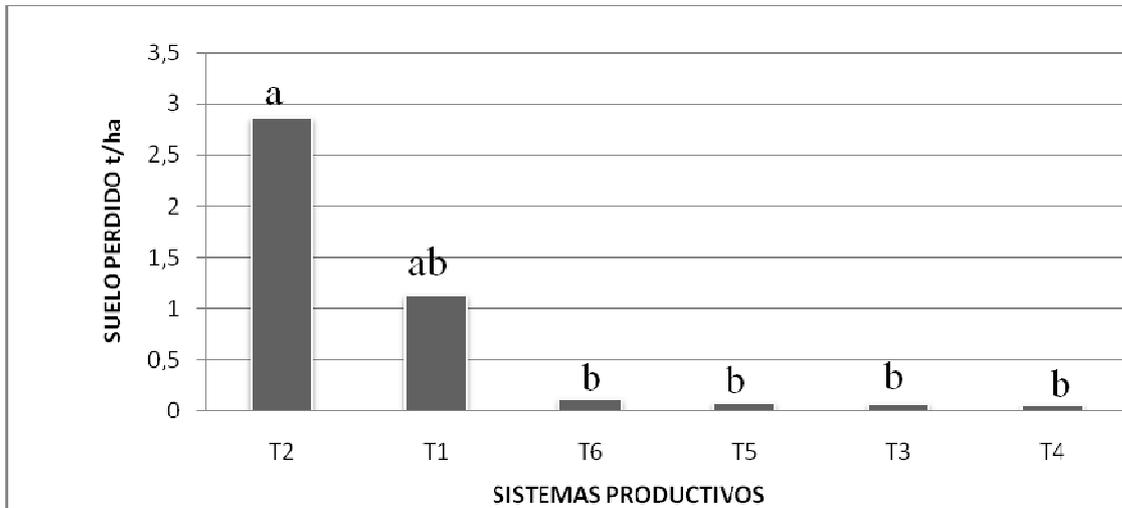


Figura 5: Evaluación de pérdidas de suelo por efectos antrópicos en diferentes sistemas productivos con papa, un ciclo de cultivo. C.I Obonuco, FEDEPAPA, Pasto, Nariño.2009 Prueba de Tukey. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

A diferencia de Alvarado y López (2009) que reporta pérdidas por valor de 12,1 t/ha en el SP T5; en esta investigación se reporta apenas 0,07 t/ha, para el mismo SP, una de las razones de tan altas diferencias, radica en que las barreras de los SP T3, T4, T5 y T6 no disminuyeron las pérdidas de suelo por presentar un bajo desarrollo cuando Alvarado y López realizaron su investigación, a comienzos de año 2009, en cambio en esta investigación a finales del año las barrera de *Rubus glaucus benth* y *Phalaris spp* presentaron un excelente desarrollo, además la barrera de *Rubus glaucus benth* se encuentra asociada a *Trifolium repens* que con su cobertura protege al suelo. Moreno (2008) reporta que *Phalaris spp* es una especie con buen potencial para ser usado como barreras vivas en sistemas agroforestales en el altiplano andino, por que se caracteriza por su capacidad de sellado, crecimiento, numero de rebrotes y producción de biomasa.

Estudios realizados por Ordoñez (2007) reportan pérdidas de suelo por acción hídrica y antrópica por valor de 15,34 t/ha en monocultivo de *Solanum tuberosum* sembrada a favor de una pendiente de 25 a 31% este dato es alto en comparación con lo reportado en esta investigación 2,87 y 1,13 t/ha de los SP T2 y T1, estas diferencias se pueden atribuir a que la precipitación es mayor en la zona donde Ordoñez realizó su investigación, además no se presentaron fuertes precipitaciones cuando se realizó esta investigación.

Correlaciones

Como se observa en la siguiente (Tabla 7), en *Solanum tuberosum* se presentan diferencias altamente significativas entre las variables (**H θ** , **CMA**, **CMT** y **CobCal V2**), para la Humedad volumétrica (**H θ**), la correlación de Pearson es negativa de 75% con el porcentaje de cobertura de mulch y arvenses (**CMA**), método tradicional (**CMT**) y el digital (**CobCal V2**), el resultado negativo puede deberse no a la ausencia de cobertura en el testigo T7 (LV) sino a la baja remoción de suelo en este, que presentó mayor humedad. Esta relación se puede acreditar a la transpiración de las plantas que compiten por el agua del suelo y a la evaporación, proceso conocido como evapotranspiración.

Para (**CMA**) la correlación de Pearson es altamente significativa con 95 y 96% con el porcentaje de cobertura de *Solanum tuberosum* determinada con (**CMT**) y (**CobCal V2**), se atribuye a que en los SP evaluados la cobertura de *Solanum tuberosum* siempre se encontraron asociada a arvenses y mulch, además se determina que la parte vegetativa de *Solanum tuberosum* se convierte en mulch al alcanzar la madurez, quedando como cobertura del suelo.

Entre los métodos (**CMT**) y (**CobCal V2**) se encontró la correlación de Pearson altamente significativa con 99% que fue la mejor relación mutua que presenta esta investigación, lo que demuestra que al evaluar la cobertura vegetal se puede utilizar cualquiera de los dos métodos.

Finalmente las variables de pérdida de suelo por erosión hídrica (PSEH) y por efectos antrópicos (PSEA) no se relacionaron con las demás variables evaluadas. Estos resultados se pueden acreditar a que el porcentaje de cobertura vegetal no presentó diferencias estadísticas, que no se relacione con la erosión del suelo.

Tabla 7: Prueba de correlación de Pearson en seis sistemas productivos con *Solanum tuberosum* y el control.

Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)						
	H0	CMA	CMT	CobCal V2	PSEH	PSEA
H0	1	0,75637**	-0,73846**	-0,74164**	-0,09423 ^{ns}	0,51361 ^{ns}
CMA		1	0,95490**	0,96052**	0,08985 ^{ns}	0,26823 ^{ns}
CMT			1	0,99853**	-0,04245 ^{ns}	0,18633 ^{ns}
CobCal V2				1	-0,03274 ^{ns}	0,20432 ^{ns}
PSEH					1	0,17798 ^{ns}
PSEA						1

H0: Humedad volumétrica, *CMA*: Cobertura mulch y arvenses, *CMT*: Cobertura método tradicional, *CobCal V2*: Cobertura método digital. *PSEH*: pérdida de suelo erosión hídrica. *PSEA*: pérdida de suelo efectos antrópicos. **: Altamente significativos ($p \leq 0,01$). *ns*: no significativos.

CONCLUSIONES

El valor medio general de cobertura vegetal en el ciclo del cultivo de *Solanum tuberosum* es moderadamente bajo, puesto que éste no supero el 36,24 %, esta variable no se vio afectada por los diferentes sistemas productivos evaluados, es así que el cultivo de papa manejado de manera tradicional proporciona una baja protección al suelo, finalmente no se relacionó con las pérdidas de suelo por erosión hídrica y efectos antrópicos.

Para medir el porcentaje de cobertura vegetal de un cultivo se puede utilizar cualquiera de los dos métodos (mesa de cuadrados y Cobcal V2) porque no se diferenciaron estadísticamente.

Los sistemas productivos que presentaron los mayores contenidos de humedad volumétrica en el suelo son el T7 (parcela desnuda) con un promedio de 29,83% y el T5 (papa con barrera de *Rubus glaucus benth*, labranza mínima, fertilización química y rotación con cultivos transitorios) con 25,31%. los sistemas productivos T3 (papa con barrera de *Phalaris spp*, labranza tradicional, fertilización química y rotación con *Pennisetum clandestinum*), T4 (papa con barrera de *Phalaris spp*, labranza tradicional, fertilización química y rotación con cultivos transitorios) y T6 (papa con barrera de *Rubus glaucus benth*, labranza tradicional fertilización química y orgánica, y rotación con cultivos transitorios) presentan valores similares siendo los sistemas T2 (papa con labranza

tradicional, fertilización química mas orgánica y rotación con kikuyo) y T1(papa con labranza tradicional, fertilización químicas y rotación con kikuyo) presentaron los valores más bajos. Siendo la labranza mínima con (guachado) la práctica más adecuada en la conservación de la humedad en Andisoles característicos de la región.

Para la evaluación de humedad volumétrica presente en el suelo a tres distancias de las barreras, se encontró que el contenido de humedad volumétrica es mayor, cerca de las barreras a distancias de 0 a 2,3m, en donde la barrera cumple la función de acumulación y retención de humedad del suelo.

Las pérdidas más altas de suelo se atribuyen a la acción del hombre, generalmente en el aporque y la cosecha, en donde los sistemas productivos manejados como monocultivo T2 (papa con labranza tradicional, fertilización química mas orgánica y rotación con kikuyo) y T1 (papa con labranza tradicional, fertilización química y rotación con kikuyo) presentan los valores más altos con 2,87 y 1,13 t/ha.

Los sistemas productivos T3 (papa con barrera de *Phalaris spp*, labranza tradicional, fertilización química y rotación con *Pennisetum clandestinum*), T4 (papa con barrera de *Phalaris spp*, labranza tradicional, fertilización química y rotación con cultivos transitorios), T5 (papa con barrera de *Rubus glaucus benth*, labranza mínima, fertilización química y rotación con cultivos transitorios) y T6 (papa con barrera de *Rubus glaucus benth*, labranza tradicional fertilización química y orgánica, y rotación con cultivos transitorios) presentaron los valores más bajos de pérdida de suelo debido a efectos antrópicos, con valores que oscilan entre 0,06 y 0,11 t/ha. Las barreras vivas cumplen el objetivo de reducir la erosión en zonas de ladera.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto “Desarrollo y Evaluación de Prácticas de Fertilización en Unidades Productivas Integrales Sostenibles con Papa en la Zona Andina del Departamento de Nariño” con el apoyo del Ministerio de Agricultura, Universidad de Nariño y la Federación Colombiana de productores de papa FEDEPAPA Regional Nariño.

Al Dr. Jesús A. Castillo Franco I. A., MSc., PhD, presidente de tesis. Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, al Programa de Ingeniería Agroforestal, sus docentes Jorge Alberto Vélez Lozano I.AF., MSc. Amanda Silva Ing. Agr. M.Sc. Y Jairo Hernán Mosquera Guerrero Ing. Agr. M. Sc.

A la familia Narváez Montilla. Gloria Montilla, Juan Narváez, a la familia Chaves Betancourth. Claudia Betancourth, Javier Chaves, Martha López. Y a todas aquellas personas que de una u otra manera favorecieron el alcance de los objetivos planteados en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, K y LOPEZ, V. 2009. Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa *Solanum tuberosum*, en el altiplano de Pasto, Colombia. Tesis de grado Ing. Agroforestal. Facultad de ciencias agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 15 p.

BERNAL, J. 2003. Pastos y Forrajes Tropicales: Producción y Manejo. Cuarta edición, IDEAGRO, Bogotá, Colombia. 700 p.

BURBANO, H. 1981. Las propiedades químicas y biológicas del suelo. p. 1 – 32. En: Curso de actualización en suelos, con énfasis en las condiciones de Nariño. Pasto, Sociedad colombiana de la ciencia del suelo.

CARDENAS, J. et-al 1970. Malezas De Clima Frio. Instituto Colombiano Agropecuario, Sociedad Colombiana De Control De Malezas Y Fisiología Vegetal. Oregon State University A.I.D. 127 p.

CASTILLO, J. 1994. Determinación del Índice de Erodabilidad (K) en Dos Suelos del Departamento del Cauca, Colombia. Palmira: Universidad Nacional De Colombia.

DESCANCE, M. y VALLEJO, D. 2005. Influencia De Dos Sistemas De Labranza Vertical Y El Sistema De Guachado Sobre Algunas Propiedades Físicas De Un Suelo De Ladera,

Bajo El Cultivo De Papa (Diacol Capiro), En El Departamento De Nariño, Colombia. Tesis de grado Ing. Agr. Facultad de ciencias agrícolas, Universidad de Nariño 97 p.

ESTRADA, J. 2004. PASTOS Y FORRAJES PARA EL TRÓPICO COLOMBIANO. Universidad de caldas. Manizales Colombia. 506 p.

FERNÁNDEZ, R. 2006. Evaluación de procesos erosivos y su influencia sobre el corredor de comercio Las Leñas. Memoria título profesional de Geógrafo. Santiago: Escuela de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Chile. 115p.

FERRARI, D. et al. 2009. DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA ESTIMACIÓN DE COBERTURA VEGETAL Estación Experimental Agropecuaria INTA. Concepción del Uruguay. <http://www.produccion-animal.com.ar>. 1p; consulta junio 2009.

GUERRERO, L. 1975. Las Propiedades Físicas De Los Suelos Colombinos Y Su Relación Con Las Labores De Labranza. En: propiedades físicas de los suelos. IGAC. 1990. P. 697-699. Estado de Portuguesa. Incidencia agronómica del suelo. P. 105-107.

HUDSON, N. 1982. conservación de suelos. REVERETE SA. Barcelona. España.

IGAC, 2004. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Nariño. Cap. 3 Descripción de los Suelos. Bogotá (Colombia).

IGAC. 1986. Estudio general de suelos del Nororiente del Departamento de Nariño. Bogotá, IGAC. 558 p.

MAMANI et al 2001. Efecto del Tipo de Labranza con Tracción Animal en las Características Físicas del Suelo, Conservación de la Humedad y en el Crecimiento y Producción del Cultivo de la Papa. Revista Latinoamericana de la Papa. 12:130-151.

MARTÍNEZ, F. 2004. EL SUELO: Curso De Ecología Y Manejo Ambiental. EIDENAR; Universidad Del Valle. Santiago de Cali. 16 p.

MORENO, M y CORDOBA, O. 1968. Control químico e identificación de las principales malezas del cultivo de papa en dos zonas del departamento de Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad De Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 80 p.

MORENO, L. 2008. Estudio del comportamiento de las especies de pastos alfalfa (*Medicago sativa* L.), king grass (*Pennisetum sp*) y brasilero (*Phalaris spp*) para ser usadas como barreras vivas en sistemas agroforestales de la Zona andina del departamento de Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, facultad de ciencias agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 13 p.

ORDÓÑEZ, E. 2007. Efecto Del Sistema Guachado (Wachay) Y Uso Del Suelo Sobre Algunas Propiedades Físicas En La Microcuenca Del Río Bobo, Departamento De Nariño. Tesis de maestría en ciencias agrarias con énfasis en suelos, universidad nacional de Colombia; universidad de Nariño. Pasto. 111 p.

OROZCO, L. et al. 1983. SUELOS Y FERTILIZACION, manuales para educación agropecuaria. TRILLAS, México. 80 p.

PHILLIPS, R Y PHILLIPS, S. 1986. AGRICULTURA SIN LABOREO, principios y aplicaciones. BALLATERRA, S.A. Barcelona. 316 p.

REDAGUAS. 2009. Red Nacional De Conservación De Suelo Y Aguas. Universidad Nacional De Colombia, Facultad De Ciencias Agropecuarias, Medellín. <http://www.redaguas.unalmed.edu.co/conservacion>. 1 p. consulta: Mayo 2009.

RODRIGUEZ, M. 1984. Influencia De La Reducción De Operaciones De Labranza Sobre Algunas propiedades físicas del suelo, erosión y escorrentía. Tesis M.Sc. Bogotá. Universidad Nacional, programa de estudios para graduandos de ciencias agrícolas.

RUIZ, V. et at. 2001. Cubiertas vegetales y barreras vivas: tecnología con potencial para reducir la erosión en Oaxaca México. TERRA Latinoamericana. 19 (1): 89-95.

SAMPAT, A. 1982. Física de suelos: principios y aplicaciones. FAO escuela nacional de agricultura, Chapingo Mexico. 351p.

STILL, R y TORRIE, J. 1985. Bioestadística principios y procedimientos. Segunda edición. McGraw-Hill, Latinoamericana S.A. Bogotá Colombia. 622 p.

UNAL. 2009. Dirección nacional de servicios académicos virtuales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://www.virtual.unal.edu.co> 1 p consulta: abril 2009.

WISCHMEIER, W. y SMITH, D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. USDA Agric. Handbook N° 537 Washinton D.C.