

**EFFECTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA PÉRDIDA DE NUTRIENTES EN
DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS CON PAPA *Solanum tuberosum* Var.
suprema EN EL ALTIPLANO DE PASTO¹**

**EFFECT OF WATER EROSION ON THE LOSS OF NUTRIENTS IN DIFFERENT
PRODUCTION SYSTEMS WITH POTATO IN *Solanum tuberosum* Var. *suprema*
THE HIGHLANDS OF PASTO.**

Natali Ortiz Bolaños.²
Mily Ortega Solarte.³
Jesús Castillo Franco.⁴

RESUMEN

Está investigación se desarrolló en la Estación Experimental FEDEPAPA ubicada en el corregimiento de Obonuco, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño localizado a 1°13'N y 77° 16'W, a 2600 msnm con una precipitación promedio anual de 700 a 800 mm y una temperatura de 12 – 18°C donde se evaluó pérdida en kg.ha⁻¹ de Ca, Mg, K, Pt, Nt y materia orgánica por erosión hídrica en siete sistemas productivos de papa *solanum tuberosum* Var. *suprema*, con tres repeticiones en un diseño de bloques completos al azar en pendientes de 32 -42%, se utilizó una área de terreno que permaneció en descanso durante 10 años donde se establecieron parcelas de escorrentía de 150m², en la parte inferior se colocó una canaleta colectora de suelo erodado la cual vierte su contenido en un tanque colector-sedimentador pasando previamente por un tanque que divide la cantidad de

¹ Documento presentado a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño como requisito parcial para la optar por el título de Ingeniero Agroforestal.

² Ingeniera Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. 2009; e-mail: nathaly343@yahoo.com.mx

³ Ingeniera Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. 2009; e-mail: asgaross@gmail.com

⁴ Ingeniero Agrónomo, Ph.D Ciencias Agropecuarias Área Agraria, Manejo de suelos y aguas. Profesor asistente. Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. 2009; e-mail: jacf1995@gmail.com.co

agua en 20 partes iguales para optimizar la capacidad del tanque, el suelo se recolectó después de cada evento de precipitación durante el ciclo de cultivo correspondiente a la fase inicial de una investigación que se llevará a largo plazo. El análisis estadístico mostró que hay diferencia altamente significativa entre los tratamientos para la pérdida de materia orgánica y nutrientes reportando mayores pérdidas en el tratamiento 2 (Papa, labranza tradicional y fertilización química más enmienda orgánica) y menores pérdidas en el tratamiento 4 (Papa, barrera de pasto brasilero. rotación de cultivos. labranza tradicional. fertilización química) sugiriendo la importancia del uso de barreras con pastos bien adaptados (*Phalaris sp*) como las mejores prácticas para disminuir la cantidad de sedimentos erosionados.

Palabras claves: manejo sostenible, erosión hídrica, sistema productivo, nutrientes, productividad, laderas andinas.

ABSTRACT

This investigation was conducted in FEDEPAPA Experimental Station located in the village of Obonuco, Municipality of Pasto, Nariño Department located at 1° 13 'N and 77° 16'W, at 2600 m with average annual rainfall of 700 to 800 mm and a temperature of 12 to 18 o C, where loss was evaluated in kg.ha⁻¹ of Ca, Mg, K, Pt, Nt and organic matter by water erosion in seven potato production systems *Solanum tuberosum* Var. *suprema*; with three replications in a complete block design randomly outstanding 32 -42%, we used an area of land remained fallow for 10 years where runoff plots were established of 150m², on the bottom was placed a eroded soil collector chute which discharges its contents into a collection tank-separator from a tank previously by the amount of water divided into 20 equal parts to optimize the capacity of the tank, the soil was collected after each rainfall event during the growing cycle for the initial phase of research that will be long term. Statistical analysis showed that there are highly significant difference between treatments for the loss of organic matter and nutrients reporting major losses in treatment 2 (pope, tillage and chemical fertilization more organic amendment) and lower losses in treatment 4 (Pope, barrier Brazilian pasture. crop rotation. tillage. chemical fertilization), suggesting the

importance of using well-adapted grass barriers (*Phalaris sp*) as best practices to reduce the amount of eroded sediment.

Keywords: sustainable management, water erosion, production system, nutrients, productivity, Andean slopes.

INTRODUCCION

El uso del suelo sujeto a monocultivos y mecanización no racional, junto con la ausencia de prácticas de conservación de suelos, conduce a una fuerte erosión y a la pérdida de productividad manifestada en la disminución de los rendimientos (Suarez, 1982).

Los suelos del mundo actualmente atraviesan un grave estado de degradación, la erosión es un proceso que afecta el mayor número de hectáreas representando el 83.6% de 1.642 millones de hectáreas; en Colombia las tierras van a un ritmo muy acelerado de pérdida de suelo, el 50% de 114'174.800 hectáreas que tiene el país presenta erosión que se puede controlar con prácticas de conservación, el 83% de la zona Andina colombiana posee algún grado de erosión (Castillo y Amézquita, 2004).

El departamento de Nariño con 18.000 productores es uno de los cuatro principales productores de papa en Colombia, esta cadena comercial constituye en el eje fundamental de la economía en el sur de Nariño su importancia económica se traduce en el aporte del producto interno bruto correspondiente al 5%, generando 3'600.000 jornales en empleos directos y 350.000 empleos indirectos, para un total 30.000 familias beneficiadas (Cámara de Comercio de Pasto, 2006)

El área del cultivo de papa en el departamento de Nariño para el primer semestre del año 2000 fue de 17.500 hectáreas sembradas, con rendimientos de 12.000 kg.ha⁻¹ en zonas marginales y más de 30.000 kg.ha⁻¹ en zonas competitivas con agricultores bien tecnificados. El promedio de producción de papa en Colombia se encuentra alrededor de las 17 ton.ha⁻¹(Cámara de Comercio de Pasto, 2006).

La pérdida de nutrientes puede ocurrir por percolación en el perfil del suelo, en solución en el agua de escorrentía y absorbidos en los sedimentos arrastrados por el agua de escorrentía, la concentración de nutrientes en el suelo degradado por erosión hídrica es el resultado del arrastre selectivo del proceso, donde las partículas más finas y reactivas (arcilla y materia orgánica) son movilizadas mientras el material más grueso y menos reactivo permanece, además el suelo movilizado por erosión suele ser la fracción más rica del perfil con relación al contenido de nutrientes (Stocking, 1984).

La pérdida de materia orgánica es un aspecto de importante consideración ya que permite la fijación de iones (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+), los cuales quedan débilmente retenidos y están en posición de cambio y evitan que se produzcan pérdidas de nutrientes en el suelo, además de ayudar a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Narro, 2004).

Las prácticas agrícolas tradicionales con movimiento de suelo promueven el aceleramiento en las tasas de erosión del suelo; la salida de partículas de las parcelas agrícolas se asocia con la salida de nutrimentos y por consiguiente, con una disminución en la productividad del suelo (Tapia, 2000).

El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la erosión hídrica en la pérdida de Ca, Mg, K, Pt, Nt y materia orgánica en diferentes sistemas productivos con papa *Solanum tuberosum* Var. *suprema*, en el altiplano de San Juan de Pasto, además determinar los costos de pérdida de nutrientes.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se desarrolló en el municipio de Pasto, corregimiento de Obonuco estación experimental FEDEPAPA, su localización, caracterización de los suelos y de la zona en general se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Características de la zona de estudio

Aspectos	Características
localización	1°13'N y 77° 16'W
Altura	2600 msnm
Pendiente	32 a 42%
clima	Frio seco
Temperatura	12 – 18°C
Precipitación	700 a 800 mm
Zona de vida	Bosque seco montano bajo
Suelos	Andisol; consociación Vitric Haplustands AMBc; originados de cenizas volcánicas, profundos, de reacciones fuertemente acidas, alta CIC, alta saturación de bases, medianos contenidos de P y fertilidad alta a moderada.

Fuente: IGAC, 2004

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos y tres repeticiones tabla 2, en las que se evaluó la variable pérdida de Ca, Mg, K, Pt, Nt y materia orgánica en kg.ha⁻¹ durante el ciclo del cultivo de papa *Solanum tuberosum* Var. *Suprema*.

Tabla 2. Descripción de tratamientos

Tratamiento	Descripción
1	Papa. Labranza tradicional y fertilización química
2	Papa. Labranza tradicional y fertilización química más enmienda orgánica.
3	Papa. Barrera de pasto brasilero. Labranza tradicional. Fertilización química.
4	Papa. Barrera de pasto brasilero. Rotación de cultivos. Labranza tradicional. Fertilización química.
5	Papa. Barrera de mora de castilla. Labranza mínima. Fertilización química.
6	Papa. Barrera de mora de castilla. Labranza tradicional. Fertilización química más Enmienda orgánica.
7	Está parcela permanecerá libre de vegetación durante toda la investigación

Labranza tradicional: mecánica, labranza mínima: azadón; pasto brasilero: *phalaris* sp; mora de castilla: *rubus glaucus Benth*; fertilización química: DAP + urea + KCl + MgSO₄ + cal dolomítica; fertilización orgánica: gallinaza.

Los tratamientos se aplicaron en unidades experimentales de 150 m² (25m x 6m), las parcelas de escorrentía fueron delimitadas por láminas de aluminio en su parte superior para evitar el paso de agua de escorrentía circundante, los costados laterales de la parcela están limitados por los surcos del cultivo de papa, en la parte inferior se instaló una canaleta de PVC que cubre su ancho y cumple la función colectora de erosión, esta canaleta está conectada a un tanque de 20 litros en el cual se almacena el agua de escorrentía que con anterioridad ha pasado por un tanque de similar volumen que divide la cantidad de agua en 20 partes iguales para optimizar la capacidad del tanque colector-sedimentador. El registro diario de lluvias se logró con la instalación de un pluviógrafo (Eijkelkamp modelo 6987 ZG).

La preparación del terreno se realizó tradicionalmente con tractor a excepción del tratamiento 5 que fue preparado con labranza mínima (guachado), conjuntamente con la siembra de papa (*Solanum tuberosum* Var. *suprema*) se realizó la primera fertilización, la segunda y tercera fertilización se hizo a los 30 y 60 días respectivamente después de la siembra acompañados del aporque. La fertilización química utilizada fue una mezcla de Urea 162 kg, DAP 479,36 kg y KCl 77,32 kg en dosis de 14g.planta⁻¹, esta aplicación responde a un previo análisis químico del suelo y a los requerimientos del cultivo de papa, la enmienda orgánica aplicada en los tratamientos 6 y 2 corresponde a gallinaza a razón de 3 t.ha⁻¹, en los tratamientos 3 y 4 se estableció barreras de pasto brasilero *phalaris* sp. a una distancia 0.1 m entre plantas y 19 m entre barreras, igualmente en los tratamientos 5 y 6 se estableció barreras con mora *Rubus glaucus Benth* a una distancia de 2.6 m entre planta (Hudson, 1982). La cosecha se realizó a los 150 días después de la siembra antecedida del corte de rama para el engrosamiento del tubérculo.

Después de cada precipitación durante el ciclo del cultivo de papa se recolectó y pesó el suelo erosionado, se tomó una submuestra de 100 gramos para análisis químico en el laboratorio. Para el análisis químico de la escorrentía se tomó una muestra de 1 litro de agua de los tanques colector-sedimentador. Con lo anterior se determinó la pérdida de Ca, Mg, K, Pt, Nt y materia orgánica en kg.ha⁻¹ causados por erosión hídrica, estos datos fueron analizados con el paquete estadístico statgraphics plus 5.0, la determinación de los costos

de nutrientes perdidos se logró relacionando las pérdidas por erosión hídrica y los contenidos de dichos nutrientes en los fertilizantes utilizados para el cultivo de papa.

RESULTADOS Y DISCUSION

Pérdida de nutrientes por erosión hídrica

Las precipitaciones registradas en el pluviógrafo corresponden a 182 mm para el ciclo del cultivo de papa constituido por veintidós eventos de lluvia (21) ocasionando pérdidas de nutrientes y materia orgánica presentando cantidades diferentes según el sistema aplicado (tabla 3).

Tabla 3. Pérdida de suelo, materia orgánica y nutrientes por erosión hídrica, Pasto, 2009.

tratamiento	Suelo perdido [Ⓜ] kg.ha ⁻¹	pérdida de elementos kg.ha ⁻¹ /ciclo					
		MO**	Pt NS	Nt **	Ca**	Mg**	K**
T1	317,25	29,08	0,34	1,20	0,74	0,08	0,16
T2	450,17	45,69	0,37	1,84	1,05	0,12	0,29
T3	276,94	28,73	0,27	1,15	0,67	0,08	0,21
T4	164,55	14,48	0,17	0,60	0,38	0,05	0,10
T5	395,65	39,68	0,34	1,60	1,05	0,14	0,33
T6	426,68	39,09	0,34	1,61	1,05	0,12	0,27
T7	190,85	22,14	0,16	0,87	0,47	0,06	0,11

MO: materia orgánica; Pt: fósforo total; Nt: nitrógeno total; Ca: calcio; Mg: magnesio; K: potasio.

** Altamente significativo; * significativo; NS no significativo.

Ⓜ López y Alvarado, 2009.

Las cantidades de suelo perdido fueron tomadas de la investigación “Pérdida de suelo por erosión hídrica en los diferentes sistemas de papa *Solanum tuberosum* en el altiplano de pasto, Colombia”. Desarrollada paralelamente a este proyecto; en la tabla 3 se observa que el tratamiento 7 (suelo desnudo) presenta una de las menores pérdidas de suelo, esto parece sugerir que el resultado de un periodo de descanso (10 años bajo pasto kikuyo) concedió al suelo diferentes características físicas químicas y biológicas generando en él una estructura

capaz de resistir perturbaciones ocasionadas por fenómenos erosivos. Las practicas culturales tales como localización adecuada de cultivos barreras vivas, labranza conservacionista, incorporación de materia orgánica, periodos de descanso sirven para aumentar la producción y tienen el propósito secundario de reducir la erosión y la escorrentía contribuyendo directamente a mejorar propiedades como la porosidad la aireación y otras propiedades inherentes al suelo (Cobo, 2003). La agricultura de conservación con sus tres principios primordiales, perturbación mínima del suelo, rotación racional de los cultivos y conservación de una cubierta permanente del suelo, que contribuye a mantener la materia orgánica y disminuye la erosión producida por el viento o el agua (FAO, 2002).

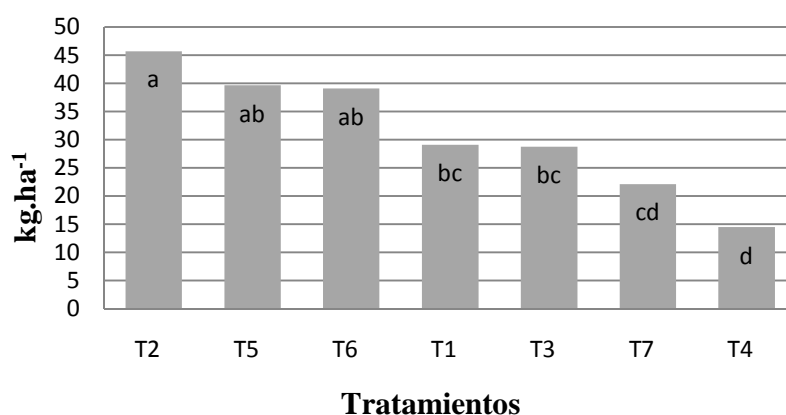
En un estudio realizado en laderas Andinas, se muestra que la pérdidas de materia orgánica y nutrientes siguieron el mismo patrón conforme se produjo la pérdida de suelo, también es una función en gran medida de la composición original del suelo y esta básicamente determinada por su manejo. (Castillo, Amézquita, Müller-Sämman, 2004).

El análisis de varianza para los datos (tabla 3) muestra que existen diferencias entre los tratamientos para la pérdida de materia orgánica y nutrientes a excepción del fósforo total.

La degradación del suelo es una consecuencia de la erosión que disminuye la fertilidad y finalmente la producción de los cultivos, la erosión es un proceso selectivo en el que la materia orgánica y el contenido de nutrientes presentes en los sedimentos erosionados son frecuentemente mas altos que en el suelo original (Young, 1986).

En Andisoles la concentración de fósforo disponible es baja y su alta capacidad de fijación hace que su contenido en el suelo erosionado sea igualmente bajo; además en el agua de escorrentía la concentración de fósforo disuelto es muy pequeña debido a su poca solubilidad. En Nariño los contenidos de fósforo disponible son en general, bajos debido principalmente a la pobreza del material parental y la presencia de altos contenidos de material alofánico fijador de fosfatos (IGAC, 2004), la alófana proveniente de la meteorización de material piroclástico producto de recientes deposiciones volcánicas

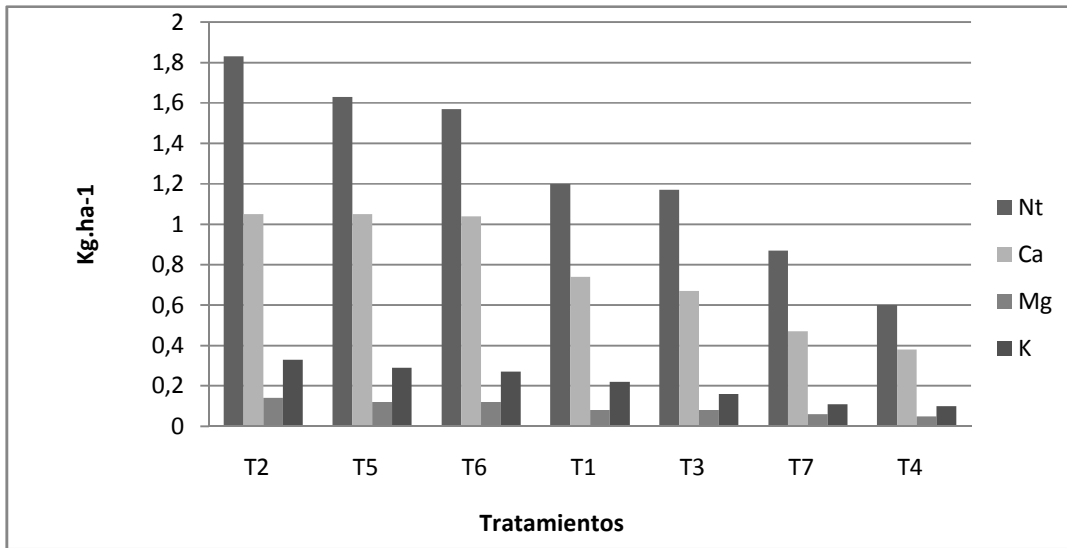
(Espinosa, 1998) presenta gran acumulación de aluminio, hierro y carbono orgánico disueltos que forma el complejo aluminio-humus, lo que le da una alta capacidad para inmovilizar fósforo (Espinosa, 1991).



Grafica 1. Promedios de pérdida de materia orgánica en kg.ha⁻¹ por erosión hídrica, Pasto, 2009.

La combinación del cultivo de papa *Solanum tuberosum* Var. *suprema* con medidas de apoyo conservacionistas *phalaris* sp., labranza tradicional, rotación de cultivos (tratamiento 4) pierde menor cantidad de materia orgánica; mientras que el sistema de papa, labranza tradicional y fertilización química más enmienda orgánica (tratamiento 2), pierde mayor cantidad de materia orgánica (gráfica 1), esto sugiere que la pérdida de materia orgánica por erosión hídrica está asociada al sistema de manejo aplicado; dichos tratamientos presentan la menor y mayor pérdidas de suelo respectivamente.

Las pérdidas de materia orgánica modifican negativamente la densidad aparente, porosidad, aireación, fertilidad natural, retención de humedad, velocidad de infiltración del agua, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de amortiguamiento del impacto de las gotas de lluvia y de cambios en el pH del suelo, entre otras propiedades químicas, físicas y actividad biológica. (Narro, 2004).



Grafica 2. Promedios de pérdida nutrientes en kg.ha⁻¹/ciclo debido a erosión hídrica, Pasto, 2009.

El sistema de cultivo, papa con barrera de pasto brasilero, labranza tradicional, rotación de cultivos (tratamiento 4) pierde menor cantidad de Nt, Ca, Mg, K; mientras que para el sistema de papa, labranza tradicional y fertilización química mas enmienda orgánica (tratamiento 2), pierde mayor cantidad de Nt, Ca, Mg, K. (grafica 1)

La pérdida de calcio, magnesio y potasio parece estar asociada a la pérdida de suelo y materia orgánica. Según el IGAC (2004); la pérdida de dichos nutrientes está influenciada por los niveles de materia orgánica debido a que esta posee alta capacidad de intercambio catiónico haciendo que los aniones de su estructura química atraigan y retengan los cationes tabla 3 y grafica 2.

El ión de amonio puede unirse a las partículas de arcilla para permanecer en el suelo, sin embargo el ión de nitrato no, y con frecuencia el agua lo lava. La mayor parte de nitrógeno en el suelo se encuentra en los horizontes superiores y como consecuencia, puede drenarse fácilmente cuando ocurre alguna perturbación. (Portland State University, 2008).

El contenido de Calcio y Magnesio de los suelos depende del material parental y del grado de meteorización; estos nutrientes son arrastrados por erosión fácilmente porque no presentan fenómeno de fijación y el movimiento vertical es lento, el potasio es un elemento que fácilmente se fija al suelo; a través de esta adsorción se protege del lavado por erosión hídrica (Fassbender, Bornemisza, 1994).

El uso de barreras con pastos bien adaptados, es la mejor práctica para disminuir la cantidad de sedimentos erosionados (Castillo, Amézquita, Müller-Sämam., 2004). La barrera viva de pasto brasilero *Phalaris sp.* cumple la función de hacer más lento el escurrimiento de agua permitiendo que gran parte de esta penetre, disminuyendo la pérdida de suelo (Banco Mundial, 1990). La barrera viva como medida de apoyo en la conservación de suelos es una estrategia para alcanzar una agricultura sostenible, amarra el suelo, provoca la sedimentación y la infiltración; con esto se disminuye la degradación del suelo y se prolonga el uso de la tierra.

El uso de barreras de mora de castilla *Rubus glaucus Benth* de los tratamientos 5 y 6 no cumplió su función como tal que es retener el suelo transportado por la escorrentía, debido a que su densidad cobertura fue muy baja por estar en la etapa inicial de su crecimiento.

Costos de la erosión hídrica

La pérdida de nutrientes por erosión hídrica debe ser repuesta a los cultivos por medio de fertilizaciones. La determinación de los costos de la erosión hídrica se logró relacionando las pérdidas por este fenómeno y los contenidos de dichos nutrientes en los fertilizantes utilizados para el cultivo de papa asociando los valores actuales de los fertilizantes en las casas comerciales; las fuentes son urea, difosfato de amonio, cloruro de potasio, sulfato de magnesio, cal dolomítica. En la tabla 4 se presentan los costos de la erosión hídrica correspondiente a cada tratamiento.

Tabla 4, cuantificación en (\$) de pérdida Pt, Nt, Ca, Mg, K por erosión hídrica, Pasto, 2009.

Sistema	valor \$ ha/año
T1	\$ 39.299
T2	\$ 58.071
T3	\$ 31.313
T4	\$ 20.844
T5	\$ 56.209
T6	\$ 53.421
T7	\$ 27.151

La pérdida de nutrientes y materia orgánica por erosión hídrica tiene costos elevados para el agricultor, con el uso de barreras de *Phalaris sp.* (tratamiento 4) dicho costo se reducen en un 64.2%, respecto al sistema de manejo representativo de la zona (tratamiento 2). Para un agricultor minifundista este ahorro es importante ya que pueden ser destinado a cubrir necesidades básicas del núcleo familiar. Además, las barreras de pasto pueden ser utilizadas en la alimentación de especies menores como cuyes y conejos considerados una fuente de ingresos importante para las madres de familia de las comunidades rurales.

La disminución de los contenidos de materia orgánica y nutrientes son factores que originan la pérdida de productividad de los suelos, en este sentido se debe tener en cuenta que en el caso de las laderas andinas, la mayoría de los agricultores no están en capacidad de ofrecer al suelo los nutrientes erodados para mantener el nivel de fertilidad, ya que dichos costos normalmente representan valores altos. (Castillo, Amézquita, Müller-Sämman, 2004).

Pimentel *et al.*,(1995), en su artículo sobre costos ambientales y económicos de la erosión manifiesta que la erosión del suelo es una amenaza ambiental a la sostenibilidad y a la capacidad productiva de la agricultura. Durante los últimos 40 años, casi la mitad de la tierra agrícola productiva ha sido perdida por erosión y continúa perdiéndose en un índice de más de 10 millones de hectáreas por año. Con la adición de un cuarto de millones de

personas cada día, la demanda de alimento de la población del mundo está aumentando en un estado en que la productividad per cápita del alimento está comenzando a declinar.

CONCLUSIONES

Los diferentes sistemas de manejo de papa *Solanum tuberosum* Var. *suprema* presentan diferencias altamente significativa en las pérdidas de materia orgánica, nitrógeno total, calcio, magnesio, potasio a excepción del fósforo total.

El sistema de manejo, que presentó menor pérdida de nutrientes y materia orgánica es el cultivo de papa *Solanum tuberosum* Var. *suprema* con la utilización de barrera de pasto brasilero *Phalaris sp.*, bajo una labranza tradicional, fertilización química y rotación de cultivos (tratamiento 4); mientras que papa *Solanum tuberosum* Var. *suprema*, bajo labranza tradicional y fertilización química más enmienda orgánica (tratamiento 2), presentó mayores pérdidas.

Con las practicas de manejo sostenible (barrera viva de pasto brasilero *phalaris sp.*, tratamiento 4) se disminuyen en un 64.2% los costos económicos causados por procesos erosivos con respecto a los sistemas de manejo tradicionales de la zona (tratamiento2).

RECONOCIMIENTOS

Expresamos nuestra gratitud a Jesús Antonio Castillo Franco I. Agr. MSc. PhD líder del proyecto “Desarrollo y Evaluación de Prácticas de Fertilización en Unidades Productivas Integrales Sostenibles con Papa en la Zona Andina del Departamento de Nariño” quien oriento la realización de esta investigación. Este trabajo fue apoyado financieramente por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR y La Universidad de Nariño.

BIBLIOGRAFIA

- BANCO MUDIAL. 1990. Vetiver. La barrera contra la erosión. Washington, D.C. pág. 78.
- CAMARA DE COMERCIO PASTO. 2006 Oferta exportable de Nariño. Comité asesor de comercio exterior.
- CASTILLO, J., AMEZQUITA, E., MÜLLER-SÄMANN, K. 2004. Los costos de la erosión hídrica en laderas andinas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Nariño. Volumen XXI. Pág. 57 -63.
- CASTILLO, J., AMEZQUITA, E. 2004. Erosión hídrica y degradación de los suelos en laderas andinas. Revista De Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Volumen XX. Número I – II. Pág. 71-75
- COBO J. 2003. El Suelo y el agua en la producción de pastos. Pág. 99.
- ESPINOSA, J. 1998. Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica y fertilización fosfórica del cultivo de la Papa. Monómeros Colombo Venezolanos S. A (E. M. A) Santafé de Bogotá. Colombia. Pág. 103 – 111.
- . 1991. Efecto residual de fósforo en Andisoles. Revista. Fac. Agron. (Maracay) 17: 39-47.
- FAO. 2002. Agricultura de conservación para detener el avance del desierto. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, en: www.fao.org/spanish/newsrom/news/2002/10502-es.html. consulta: junio 2009.
- FASSBENDER, H.; BORNEMISZA, E. 1994. Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina. Pág. 199-378.
- HUDSON, N. 1982. Conservación del suelo. Editorial Reverté, Barcelona (España). 335p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. IGAC, 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño. Cap. 3 Descripción de los suelos y Cap. 4 Propiedades de los suelos Bogotá (Colombia).

LOPEZ, H.; ALVARADO, A. 2009. Pérdida de suelo por erosión hídrica en los diferentes sistemas de papa *Solanum tuberosum* en el altiplano de pasto, Colombia. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

NARRO, E. 2004. Física de suelos con enfoque agrícola. Primera reimpresión, Editorial trillas, Mexico D.F. pág. 15 -33.

PIMENTEL, D., HARVEY, P. RESOSUDARMO,K. SINCLAIR, D. KURZ, M. MCNAIR, S. CRIST, L. SHPRITZ, L. FITTON, R. SAFFOURI, AND R. BLAIR. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefit. Science 267: pág 1117-1123.

PORTLAND STATE UNIVERSITY. 2008. El nitrógeno en el suelo. En: Ecoplexity, Teaching ecological complexity. www.ecoplexity.org/node/599?page=0%2c4

STOCKING, M. 1984. Erosion and soil productivity: a review. Consultants Working Paper No. 4. Land and Water Development Division, UN Food and Agriculture Organisation, Rome. pág 9-22.

SUAREZ, F. 1982. Informe tecnico sobre causas y control de la erosión en el área del Corregimiento de Mondomo. CVC, Cali, pág 15.

TAPIA,V. 2000. Protección de suelos de ladera y erosión hídrica en la cuenca del lago de patzcuaro, Michoacán, México pág. 18- 36.

YOUNG, R., A.E: Olness, K. Mutchler, and W. Moldenhauer. 1986. Chemical and physical enrichments of sediments from cropland. Transactions. American Society of Agricultural Engineers 29: 165- 169.