

Efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y la pérdida de suelo en la rotación papa-pastos en áreas de ladera en una región alto andina de Colombia

Effect of four tillage methods on the physical properties and loss of soil in the potato-grass rotation in hillside areas of a high Andean region in Colombia

Napoleón Bernal, Guillermo Montealegre, Sandro N. Ipaz, Oscar Chaparro, Luis M. Ramírez

Universidad Nacional de Colombia. AA 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Autor para correspondencia: nolanipa@hotmail.com; ochaparroa@palmira.unal.edu.co; lmr Ramirez@palmira.unal.edu.co

REC.: 05-09-07 ACEPT.: 19-12-07

RESUMEN

Este estudio avaluó la pérdida y los cambios en las propiedades físicas del suelo y la producción de papa amarilla *Solanum phureja*, como resultado de cuatro sistemas de labranza (Tracción humana, LTH; Tracción animal, LTA; Mecánica, LM; y Mecánica combinada, LMC) en Santa Lucía, municipio de Tuluá, región alto andina de Colombia a 2.870 msnm. Los tratamientos se evaluaron usando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La pérdida de suelo se determinó por medio de canaletas de escorrentía. La información se analizó por medio de una matriz de cambio para cada propiedad física. La tracción mecánica afectó negativamente las propiedades físicas del suelo, lo que se evidenció en el incremento de pérdidas por escorrentía. La mayor pérdida de suelo se asoció con el uso de LM y disminuyó hasta el 50% con LTH: (LM 6.12 t ha⁻¹ año⁻¹; LMC 5.0 t ha⁻¹ año⁻¹; LTA 3.7 t ha⁻¹ año⁻¹ and LTH 2.73 t ha⁻¹ año⁻¹). LTA generó la mayor retribución económica y ambiental, porque su producción (13 t/ha) fue mayor que el promedio obtenido en los tratamientos (12.4 t/ha) y la pérdida de suelo fue menor que la generada por LM y LMC.

Palabras claves: Métodos de labranza, erosión, suelos de laderas, región alto andina, rotación papa-pasto.

ABSTRACT

This study evaluated the loss and the changes in the soil physical properties, and the production of yellow potato *Solanum phureja*, as a result of four tillage systems (Human traction, THT; Animal traction, ATT; Mechanical, MT; and Mechanical combined, CMT) in Santa Lucia, Tuluá municipality, high andean region of Colombia to 2.870 masl. Treatments were evaluated using a completely randomized blocks desing with three replicates, and the data examined by means of a matrix of change for each physical property. Soil loss was determined by the ditch of runoff. Mechanical traction affected the soil physical properties negatively, that became evident in the increment of losses with the runoff. The bigger loss of soil was correlated with MT use and it diminished to the 50 % with HTT: (MT 6.12 tha⁻¹ year⁻¹; CMT 5.0 tha⁻¹ year⁻¹; ATT 3.7 tha⁻¹ year⁻¹ and HTT 2.73 tha⁻¹ year⁻¹). ATT generated the bigger cost-reducing and environmental retribution, because his production (13 tha⁻¹) was major than the average obtained in the treatments (12.4 tha⁻¹) and the lost one belonging to ground was minor than the generated for MT and CMT.

Key words: Tillage methods, erosion, grasses-yellow-potato *Solanum phureja* rotation; Hillsides soils, Soil loss, Soil physical properties, High Andean region,

INTRODUCCIÓN

En Colombia la creciente erosión y erodabilidad, el inapropiado manejo del recurso suelo y la no adopción de prácticas sostenibles son factores que contribuyen a la degradación y destrucción de los suelos de ladera (Corpoica, 1994). Barthes *et al.* (2002) indican que la

susceptibilidad del suelo a la escorrentía y la erosión está estrechamente relacionada con la estabilidad de los agregados de la superficie del suelo (0-10 cm). Otro factor que influye de forma directa es la continuidad de los poros del suelo. Pagliai *et al.* (2004) encontraron que en la capa superficial del suelo (0-10 cm), con labranza

convencional, los poros de transmisión (macroporosidad) son significativamente menores que en suelo con mínima labranza.

Según Blanco *et al.* (2004) la escorrentía en parcelas excesivamente labradas se relacionó con la conductividad hidráulica saturada (Ksat) donde la escorrentía aumentó. Así mismo, encontraron que la labranza convencional tuvo el mayor efecto sobre las propiedades del suelo al disminuir su Ksat, densidad aparente y contenido de materia orgánica que contrastan con los tratamientos de labranza cero, labranza con arado de vertedera y labranza con cincel. Con relación a la estabilidad de agregados, Tebrugge *et al.* (1999) encontraron que se incrementó partiendo desde la labranza combinada (arado vertedera y rotativo vertical) a labranza reducida a labranza cero; así mismo, la menor estabilidad de agregados se generó con labranza combinada. Además, con labranza convencional se disminuye el contenido de materia orgánica que se asocia a la disminución de la estabilidad de los agregados del suelo (Pagliai *et al.*, 2004)

En el área rural de los corregimientos de San Juan de Barragán y Santa Lucía, Tuluá, Valle, se identificó conflicto entre la aptitud y uso del suelo, manifestada en su deterioro. Sumado a ello, la renovación con kikuyo *Pennisetum clandestinum* (Hoechst), que se realiza con la rotación pasto-papa-pasto, incrementa el efecto de la erosión, genera mezcla y afloramiento del subsuelo que con la interacción de agentes naturales incide en la formación de cárcavas (Corpoica 1994).

Tal problemática generada por los diferentes sistemas de labranza se refleja en la insostenibilidad de los sistemas de producción, que además causa el desequilibrio del medio ambiente natural de la región. Con base en lo expuesto se plantearon como objetivos: Evaluar el efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y pérdida de suelo; y determinar el efecto de los métodos de labranza sobre la productividad (t/ha) de papa amarilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la finca La Siberia, situada en el corregimiento de Santa Lucía, Tuluá, Valle (Colombia), a 2.870 msnm en la zona andina de la cordillera Central, a 78 km de la cabecera municipal. El piso térmico es frío y seco, con temperaturas que oscilan de 3°C a 14°C, humedad relativa del 88% y precipitación media anual de 1.000 mm con régimen bimodal (periodos secos: enero-febrero y julio-agosto; periodos húmedos: marzo-junio, septiembre-noviembre) (Corpoica, 1994).

Fisiográficamente la zona presenta cumbres poco elevadas y cañones profundos. Aunque la topografía es abrupta, se presentan ondulaciones suaves alrededor de Santa Lucía, donde existen numerosas planicies intensamente cultivadas. Entre los 3.000 msnm y 4.000 msnm presenta apariencia de relieve glacial y de disección entre los 2.000 msnm y 3.000 msnm. Sobre los 3.800 msnm existen alturas aplanadas o páramos como el de Barragán y la Cascada, con varias lagunas que alimentan el sistema hidrológico.

Geológicamente los materiales predominantes son ígneos y metamórficos con rocas adiabasa y basalto, compuestas por plagioclasas, piroxenos, anfíboles y algunos ferromagnesianos (Fassbender, 1987). En estos suelos predominan materiales volcánicos finos y cenizas, con bajo grado de evolución, característica de los Andisoles.

En el área de estudio el epipedón es grueso, con estructura granular de moderado desarrollo, textura franco limosa, contenido de materia orgánica de 15.3% en los primeros 15 cm y de 9.1% entre los 15 y 25 cm, baja densidad aparente, altas macro y microporosidad, propiedades que determinan adecuada velocidad de infiltración. La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente son altos, condiciones atribuibles a la presencia de Alófanos y el alto contenido de materia orgánica.

El suelo presenta baja fertilidad química (CIC= 21, Al= 0.1, Mg= 0.6, Ca= 4.8, Na= 0.19, K= 0.29 en meq/100g de suelo, fósforo asimilable= 5 ppm), limitada por el pH= 5. Por el contrario el Cu (7 ppm), el Fe (128 ppm), el Mn (21 ppm) y el Zn (13 ppm) presentan valores altos; el boro es bajo.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, conformado en cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, en parcelas de 100 m² (10x10m). Una vez preparado el suelo se construyeron las canaletas de escorrentía (50 cm de ancho, 40 cm de profundidad y 10 m de largo) situadas al pie de cada parcela y se recubrieron con polietileno (calibre 8). Los tratamientos correspondieron a los patrones de mecanización existentes en el área de estudio, que se describen en el Cuadro 1.

El marco de plantación de la papa criolla o amarilla *Solanum phureja* fue de 0.9 m entre surcos y 0.5 m entre plantas. Diez días después de la siembra se determinó el porcentaje de emergencia. Un mes después de la siembra se aporcó y se aplicó fertilizante 10-30-10 (N-P-K). El control de plagas se realizó con la aplicación de Tamarón SL 600. Como preventivo para la gota (*Phytophthora infestans*) se aplicó Ridomil MZ58WP.

Cuadro 1. Características de los patrones de mecanización (tratamientos).

Tratamientos: Métodos de labranza	Herramienta	Características		Observaciones
		Profundidad y ancho de trabajo (cm)		
Manual (LTH)	Azadón	10 a 15	15 a 25	Cajuelas en surcos
Tracción animal (LTA)	Vertedera reversible	15 a 20	27	Surcos transversales a la pendiente
Mecánica (LM)	Rotovator	17	155	En dirección de la pendiente
Mecánica combinada (LMC)	Arado de discos y rotovator	20	100	

El rendimiento se determinó al cosechar aleatoriamente los tubérculos de 20 plantas por parcela, clasificarlos por tamaño en calidad gruesa y riche, y expresarlos en kg/ha.

Las propiedades físicas del suelo se determinaron a muestras tomadas antes y después de la preparación, y a profundidades de 5 a 15 y 15 a 20 cm, con dos repeticiones. Las propiedades determinadas fueron: densidad real DR (método del picnómetro), densidad aparente DA (método del núcleo), estabilidad de agregados (método de Yoder modificado), capacidad de campo CC y punto de marchitez permanente PMP (platos y ollas de presión), resistencia a la penetración por triplicado en cada nivel RP (penetrómetro de cono), microporosidad MIP (estimadas por CC y DA), macroporosidad MAP (estimada como diferencia entre la porosidad total y la microporosidad).

La textura se analizó por el método del hidrómetro de Bouyoucos; previa oxidación de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno. El contenido de materia orgánica se determinó mediante titulación con sulfato ferroso. Estas pruebas se realizaron antes de labrar el suelo. La pérdida de suelo se determinó mediante canaletas de escorrentía.

Los datos se analizaron con el programa SAS; mediante una matriz de cambio para cada propiedad física en la cual a los valores anteriores a la preparación se les restaron los valores posteriores, y después se dividían por dos; como se indica:

$$CXP = \frac{(AXPn + AXPn) - (DXPn + DXPn)}{2}$$

Donde: C: Cambio;
 X: Propiedad física; P: Profundidad
 A: Antes de preparación D: Después de preparación
 n: Número de muestra

Para el caso de la densidad aparente, el valor de cambio se dividió entre el promedio de los valores antes de la preparación, con el fin de expresar el cambio en términos porcentuales. Con los valores obtenidos se realizó el análisis de varianza y prueba de Duncan entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de cambio en la densidad aparente

La densidad aparente disminuyó en los tratamientos y profundidades analizados. LMC generó mayor disminución en ambas profundidades, mientras que la menor disminución la presentó LTA en los primeros 15 cm, y en LTH entre 15 cm y 25 cm de profundidad; sin embargo, solo en esta última se presentaron diferencias con LMC, en tanto que LTA y LM no presentaron diferencias con LMC (Tabla 1). La mayor disminución en los tratamientos LMC y LM se explica por la mayor disturbación del suelo generada por los arados de discos y rotativo; por el contrario, en LTH y LTA el fraccionamiento es menor, y así mismo el efecto sobre la porosidad.

Los cambios en la densidad aparente para LTA y LTH tienen relación con el sitio donde se efectuó el muestreo, dado que con LTH algunos sitios quedan mejor aflojados y desmenuzados que otros; al mismo tiempo el muestreo es aleatorio y no distingue sitios más o menos disturbados. Ellies y Ramírez (1993) reportan que los suelos sometidos a labranza reducida o labranza cero presentan mayor densidad aparente y resistencia a la penetración en comparación con la labranza convencional; resultados similares encontró Rodríguez, 1999, comparando la labranza convencional (LC) con la labranza mínima (LM) y la no labranza (NL).

Porcentaje de cambio en la porosidad

En la porosidad total se observó un leve aumento, con medias generales de -3.7% y -2.5% de 0 cm a 15 cm

Tabla 1. Valores de medias en la prueba de Duncan para el porcentaje de cambio en las propiedades físicas evaluadas.

	Tratamiento	Profundidad		X inicial		X final	
		0 - 15 cm	15 - 25 cm	0-15	15-25	0-15	15-25
Porcentaje de cambio en la densidad aparente	LTH	8.56 a (NS)	1.20 c (*)	0.67	0.65	0.61	0.63
	LTA	3.39 a (*)	2.50 ab (*)	0.65	0.71	0.63	0.68
	LM	17.30 a	11.50 ab	0.74	0.76	0.60	0.63
	LMC	20.50 a	19.30 a	0.76	0.76	0.60	0.62
	Promedio	12.44	8.63				
Porcentaje de cambio en la porosidad total	LTH	-2.60 a (NS)	-1.39 a (NS)	70.5	69.0	73.1	70.6
	LTA	-1.17 a (NS)	-1.52 a (NS)	70.6	71.7	71.8	73.4
	LM	-4.71 a	-1.77 a	67.9	70.4	72.6	71.8
	LMC	-6.32 a	-5.30 a	66.8	67.2	73.1	72.5
	Promedio	-3.70	-2.50				
Porcentaje de cambio en la microporosidad	LTH	-6.16 a (*)	-2.50 a (NS)	14.9	12.2	21.3	14.7
	LTA	-2.35 a (NS)	-3.01 a (NS)	19.0	20.7	22.5	23.7
	LM	-9.20 ab	-4.91 a	13.7	18.2	22.9	23.1
	LMC	-17.60 b	-7.19 a	8.5	17.0	26.0	24.2
	Promedio	-8.83	-4.40				
Porcentaje de cambio en la macroporosidad	LTH	3.58 b (*)	0.98 a (NS)	55.5	50.0	52.0	49.8
	LTA	-0.48 b (NS)	1.24 a (NS)	53.1	56.8	53.6	55.8
	LM	4.50 ab	1.89 a	54.2	52.1	49.7	48.6
	LMC	11.20 a	3.51 a	58.4	50.2	47.2	48.3
	Promedio	4.70	1.91				
Porcentaje de cambio en la CC	LTH	-2.45 a (NS)	-0.56 a (NS)	82.8	80.5	85.3	81.1
	LTA	-4.14 a (*)	-3.05 a (NS)	81.1	77.3	85.3	80.4
	LM	-8.55 a	-3.69 a	74.3	74.0	82.8	77.7
	LMC	-12.80 a	-4.15 a	65.5	76.8	78.3	81.0
	Promedio	-6.99	-2.86				
Porcentaje de cambio en el PMP	LTH	-1.59 a (NS)	-0.13 a (NS)	73.5	75.9	75.1	76.0
	LTA	-3.48 a (NS)	-2.93 a (NS)	72.3	70.6	75.8	73.6
	LM	-10.50 a	-5.80 a	67.9	67.9	77.6	73.6
	LMC	-14.90 a	-3.56 a	58.7	71.1	72.7	74.8
	Promedio	-7.62	-3.11				
Porcentaje de cambio en el agua útil	LTH	-0.85 a (NS)	-0.43 a (NS)	9.4	4.6	10.2	5.1
	LTA	-0.65 a (NS)	-0.15 a (NS)	8.8	6.6	9.4	6.8
	LM	1.97 a	2.08 a	6.4	6.2	5.2	4.1
	LMC	2.04 a	-0.55 a	6.8	5.6	5.6	6.2
	Promedio	0.63	0.24				
Porcentaje de cambio en agregados de 2 mm	LTH	16.70 c (**)	9.65 a (NS)	79.6	81.9	62.9	72.2
	LTA	32.50 b (NS)	17.30 a (NS)	87.1	82.1	54.6	64.8
	LM	43.90 ab	39.60 a	86.6	91.6	42.7	52.1
	LMC	49.00 a	42.10 a	93.4	86.4	44.4	44.3
	Promedio	35.53	27.15				
Porcentaje de cambio en agregados ≤ 1 mm	LTH	-16.70 a (*)	-9.60 a (NS)	20.3	18.1	37.1	27.7
	LTA	-32.50 b (NS)	-17.30 a (NS)	12.9	17.9	45.4	35.2
	LM	-43.90 bc	-39.60 a	13.4	8.4	57.2	47.9
	LMC	-49.00 c	-41.60 a	6.6	13.6	55.6	55.7
	Promedio	-35.53	-27.03				
Cambio en la resistencia a la penetración	LTH	15.00 a (**)	3.40 a (**)	23.1	8.1	34.3	30.9
	LTA	19.10 b (**)	17.60 b (**)	26.7	7.5	42.3	25.0
	LM	17.00 c (**)	13.50 c (**)	17.5	0.5	34.9	21.5
	LMC	22.22 d (**)	25.20 d (**)	22.2	0.0	34.5	9.2
	Promedio	18.40	14.90				

Continúa

	Tratamiento	PROFUNDIDAD		X inicial		X final	
				0-15	15-25	0-15	15-25
		0 - 15 cm	15 - 25 cm				
Pendiente del terreno (%) y emergencia	LTH	58.48 a (*)	92.85 a (*)				
	LTA	50.33 ab (NS)	86.70 b (NS)				
	LM	42.90 b	91.70 c				
	LMC	36.60 b	90.50 d				
	Promedio	47.08	90.44				
Producción (t/ha)	LTH	9.60 b (NS)	3.00 a (NS)				
	LTA	13.00 ab (NS)	3.80 a (NS)				
	LM	16.00 a	4.60 a				
	LMC	11.00 ab	4.10 a				
	Promedio	12.40	3.88				

*: Diferencias significativas (P<0.05).

N.S: Diferencia no significativa (P<0.05).

** : Diferencias altamente significativas.

X inicial, X final: Valor inicial y final de cada propiedad del suelo

y 15 cm a 25 cm de profundidad, respectivamente, y sin mostrar diferencias significativas (P<0.05). El mayor aumento se presentó en LMC (-6.32%), mientras que el menor se obtuvo en LTA (-1.17%), ambos de 0 a 15 cm. La porosidad total se incrementó con la profundidad, excepto en LTA, donde el incremento fue mayor por debajo de 15 cm (Tabla 1).

La microporosidad se incrementó con medias generales de -8.83% y -4.4% de 0 a 15 cm y de 15 a 25 cm profundidad, respectivamente. El mayor incremento de la microporosidad entre 0 cm y 15 cm de profundidad lo generó LMC (-17.6%) al mostrar diferencias con los otros tratamientos; LTA presentó el menor incremento (-2.35%). Entre 15 cm y 25 cm, los tratamientos no presentaron diferencias, y LMC fue el de mayor incremento (-7.19%).

Por el contrario, la macroporosidad disminuyó en los tratamientos y profundidades, excepto en LTA donde se incrementó levemente (-0.48%) entre los 0 cm y 15 cm. LMC presentó la mayor disminución 11.2% y 3.51% de 0 a 15 cm y de 15 a 20 cm de profundidad, respectivamente. Se presentaron diferencias entre LMC y los otros tratamientos solo en los 15 cm superficiales de suelo.

En el caso de LMC, el efecto de arado rotativo es desagregar el suelo, causando el predominio de agregados pequeños e incremento de la microporosidad, y al mismo tiempo disminuir la macroporosidad; caso contrario ocurre en LTA donde el suelo es volteado con la vertedera, sin causar fraccionamiento de los agregados resultantes. LTH presenta mayor microporosidad que LTA porque después de voltear el suelo, con el mismo azadón se rompen los agregados resultantes. En LM los agregados resultantes del primer paso del arado de discos se rompen con un segundo pase del equipo en dirección diferente de la inicial a manera de

rastra, lo que provoca desagregación e incremento en la microporosidad.

La variación de la resistencia a la penetración y la porosidad está asociada a los cambios de la densidad aparente; así, LTH y LTA que presentaron valores altos de resistencia a la penetración, también presentan los menores cambios en la porosidad total (Tablas 1 y 3). Por el contrario, los suelos donde se utilizó la tracción mecánica presentaron menores valores de resistencia a la penetración y densidad aparente, y con esto, alta porosidad total y microporosidad, con disminución de la macroporosidad (Tabla 1). Cabe anotar que los cambios fueron más notorios en los primeros 15 cm, por lo cual deben asociarse con el efecto de uso, causado probablemente por aumento de la densidad aparente Ellies (1993).

Porcentaje de cambio del punto de marchitez permanente

Los valores aumentaron en todos los tratamientos y profundidades analizados, con media de -7.26% en los primeros 15 cm, y -2.89% en la profundidad de 15 cm a 25 cm. En los primeros 15 cm el mayor incremento del PMP se observó en LMC (-14.9%), el menor en LTH (-1.59%), y para la segunda profundidad se acentuó en LM (-5.8%) y fue leve en LTH (-0.13%).

La variación del PMP puede ser una respuesta del incremento de la microporosidad en los tratamientos, conforme la labranza se mecaniza genera mayor desagregación, mayor microporosidad y con esto aumento en la retención de agua a PMP.

Porcentaje de cambio en el agua útil

El comportamiento del agua útil depende de los cambios en la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente; es así como se observa un comporta-

miento variable de esta propiedad entre los tratamientos; sin presentar diferencias significativas ($P < 0.05$) en las dos profundidades. En los primeros 15 cm, el mayor incremento lo mostró LTH (-0.85%), seguido de LTA (-0.65%); mientras que se presentó disminución de agua útil en LM (1.97%) y LMC (2.04%). Entre 15 cm y 25 cm, a excepción de LM (2.08%), el agua útil se incrementó, y LMC (-0.55%) fue el mayor, seguido de LTH (-0.43) y LTA (-0.15%). Tabla 1

En este sentido, Rodríguez, 1999, expresa que la acumulación de residuos sobre la superficie reduce la evaporación y conserva mayor humedad a mediano plazo que, a su vez, incrementa el contenido de materia orgánica, aumenta la capacidad para almacenar y retener agua aprovechable, mejora la estructura, y con esto otras propiedades físicas del suelo.

Porcentaje de cambio en agregados mayores de 2 mm

Se presentó disminución en todos los tratamientos y profundidades; para los primeros 15 cm la media de cambio fue de 35.52% y entre los 15 cm a 25 cm de 27.15%, que denotó diferencias altamente significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos en los primeros 15 cm de profundidad (Tabla 1). La mayor disminución de los agregados mayores de 2 mm ocurrió en los primeros 15 cm con LMC (49.0%), este mostró diferencia significativa ($P < 0.05$) con LTA (32.46%) y LTH (16.72%). Entre 15 cm a 25 cm no se observaron diferencias significativas, LMC presentó la mayor disminución de estos agregados (42.1%), seguido de LM (39.6%), LTA (17.32%) y LTH (9.6%).

Porcentaje de cambio en agregados de 2 mm y menores

Aumentaron en todos los tratamientos y profundidades estudiadas, con medias de -35.52% y -27.04% para los primeros 15 cm y entre 15 cm a 25 cm de profundidad respectivamente, Tabla 1. Pese a la alta estabilidad estructural producto del contenido de materia orgánica de los Andisoles (Sánchez, 1981; citado por Malagón, 1995) se demostró la fuerte influencia de los cuatro sistemas de labranza sobre esta propiedad; y se observó cómo los tratamientos de labranza mecánica (LM) y mecánica combinada (LMC) presentaron la más alta disminución en los agregados mayores o iguales a 2 mm, con el consecuente incremento en los agregados de 1 mm y menores, lo cual se correlaciona con los aumentos en la porosidad total, la microporosidad, la resistencia a la penetración y la densidad aparente (Tabla 1).

El aspecto negativo de estos cambios estructurales se evidencia en la pérdida de suelo por escorrentía, Tabla 2. En los primeros 15 cm, LMC presentó el mayor incremento (-49.0%) en agregados menores de 1 mm, y mostró diferencias ($P < 0.05$) con LTH (-16.7%) y LTA (32.5%). Entre los 15 cm y 25 cm no se apreciaron diferencias, pero prevalece la tendencia mostrada en los primeros 15 cm, donde los incrementos fueron LMC (-41.6%), LM (-39.59), LTA (-17.32) y LTH (-9.65%).

Tabla 2. Pérdida de suelo en los sistemas de LTH, LTA, LM y LMC en Barragán y Santa Lucía, del municipio de Tuluá.

Tratamiento	Pérdidas de suelo (t/ha/año)	
	Pendiente (%)	Medias**
LTH	58.5	2.73 d
LTA	50.3	3.70 c
LM	42.9	6.12 a
LMC	36.6	5.00 b

Variables de respuesta del cultivo

Emergencia

Diez días después de la siembra se alcanzó un porcentaje de emergencia del 90.41%, con diferencias ($P < 0.05$) entre LTA (86.7% menor germinación) y los demás tratamientos, y el mejor fue LTH (92.8%), seguido por LM (91.7%) y LMC (90.54%), Tabla 1.

Producción

La mejor respuesta la generó LM (15.8 t/ha), seguido por LTA (13 t/ha), LMC (11 t/ha) y LTH (9.6 t/ha), con diferencias ($P < 0.05$) entre LTH y LM, Tabla 1. La tendencia de la producción de papa de calidad riche fue similar a la de papa gruesa; así, en orden descendente se obtuvo LM (4.6 t/ha), LMC (4.1 t/ha), LTA (3.8 t/ha) y LTH (3.0 t/ha).

Los rendimientos obtenidos con los cuatro sistemas de labranza son altos con respecto a los rendimientos locales (14 t/ha), Corpoica, 1994; mientras que comparados con el promedio nacional (31.2 t/ha), es bajo, Corpoica, 1998. Los sistemas LTA, LM y LMC fragmentan los agregados de suelo, lo que generó rendimiento superior al obtenido en LTH, debido a un mayor aflojamiento de la capa superficial que facilita el desarrollo de raíces y tubérculos. Con LTH se obtuvo el rendimiento más bajo, posiblemente porque no removió

homogéneamente el suelo y no proporcionó a la semilla un espacio para su desarrollo. Resultados contrarios obtuvo Rodríguez (1999) trabajando con tres sistemas de preparación y encontrar el mayor rendimiento con labranza cero en el cultivo de la papa.

Pérdidas de suelo

Las pérdidas de suelo por escorrentía fueron bajas, con media general de 4.5 t/ha/año, y diferencias altamente significativas entre tratamientos, Tabla 2.

La menor pérdida de suelo (2.7 t/ha/año) se presentó en LTH, mientras que el mayor valor (6 t/ha/año) lo generó LM; LMC y LTA presentaron valores de 5 t/ha/año y 3.7 t/ha/año respectivamente. La pérdida de suelo por escorrentía se asoció a la interacción entre la pendiente y el efecto del sistema de labranza sobre la estabilidad de los agregados.

No obstante, LM con pendiente menor (42.9%) a la de LTH (58.4%) y LTA (50.32%), y sin presentar la mayor disminución en agregados mayores de 2 mm, arrojó las mayores pérdidas de suelo por escorrentía. El sistema LMC, con el mayor incremento de los agregados de 2 mm y menores, no ocasionó las mayores pérdidas de suelo por escorrentía, esto a consecuencia de la pendiente (36.8%) y la forma cóncava del terreno.

Resistencia a la penetración

Antes de la preparación del suelo, en los primeros 15 cm y con humedad del 10%, el valor más alto (26.7 kg/cm²) lo reportó el área donde se introdujo LTA, seguido de LTH, LMC y LM con valores de 23.1, 22.2 y 17.5 kg/cm², respectivamente; mientras que entre los 15 cm y 25 cm, el mayor valor (42.6 kg/cm²) lo presentó el área donde se realizó LTA, seguido de LM, LMC y LTH con 35.0, 34.5 y 34.3 kg/cm² (Tabla 1).

Después de preparado el suelo, con un contenido de humedad del 25%, la resistencia a la penetración disminuyó en los primeros 15 cm, dicha disminución se atribuye a los diferentes sistemas de labranza utilizados, es así como LMC presentó el menor valor de resistencia a la penetración con 0 kg/cm², seguido de LM (0.5 kg/cm²), LTA (7.6 kg/cm²) y LTH (8.13 kg/cm²). En la segunda profundidad analizada se aprecia una ligera disminución de la resistencia a la penetración, LMC presenta el menor decremento 9.3 kg/cm², continuando con LM (21.4 kg/cm²), LTA (25.0 kg/cm²) y LTH (30.9 kg/cm²).

Los valores altos de resistencia a la penetración no son propios de los suelos de la región, se explican por el uso pecuario extensivo al que han sido sometidos. Asociado con lo anterior, se produjo un incremento en

los valores de capacidad de campo y de punto de marchitez permanente, y son mayores en los tratamientos de labranza mecánica y labranza mecánica combinada, que a su vez genera la disminución en los contenidos de agua útil en dichos tratamientos. Se presume que esta disminución la causan los sistemas de preparación que fraccionan en exceso el suelo y aumentan la microporosidad (poros menores de 5 μ , que retienen fuertemente el agua), sumado a esto, las arcillas Alófanas por su alta porosidad retienen fuertemente el agua. Amézquita *et al.* (1991) al comparar sistemas de labranza cero, convencional y reducida en un Andisol, encontraron que con labranza convencional se creó un espacio aéreo excesivo que sacrificaba el espacio para el agua aprovechable.

CONCLUSIONES

1. Los métodos de labranza estudiados ocasionaron cambios significativos en la densidad aparente, microporosidad y macroporosidad; y altamente significativos sobre estabilidad de agregados.
2. Si bien se reporta que las pérdidas de suelo por escorrentía se relacionan con la interacción de diversos factores como clima, relieve, cobertura vegetal y prácticas de manejo del sistema de cultivo, en el presente estudio tales pérdidas estuvieron condicionadas, esencialmente, por los métodos de labranza.
3. La labranza manual, no obstante haber preservado las propiedades físicas, generado menor erosividad y menor pérdida de suelo, no es el tratamiento más conveniente bajo la rotación papa-pasto kikuyo, porque limita el rendimiento del cultivo.
4. Con el tratamiento de labranza mecánica (LM) se obtuvo el mayor rendimiento, no obstante, presentó cambios negativos considerables en las propiedades físicas, así como las mayores pérdidas de suelo.
5. El mejor tratamiento fue el de tracción animal (LTA), porque presentó los menores cambios en las propiedades físicas del suelo, así como menores pérdidas de suelo por escorrentía y la segunda mejor producción entre los cuatro tratamientos efectuados.
6. No es justificable el daño estructural y pérdidas de suelo que causan los sistemas de labranza mecánica (LM y LMC) en pro de una mayor producción.
7. La labranza mecánica combinada (LMC) con relación a la labranza mecánica (LM) presenta cambios más marcados en las propiedades físicas entre los 15 a 25 cm.
8. Las pérdidas de suelo registradas en este trabajo son bajas con respecto a lo encontrado por Rodríguez (1999); quien para diferentes sistemas de labranza

en la zona de ladera y con diversos cultivos encontró pérdidas de suelo que oscilaron entre 10 y 22 t/ha/año.

9. El rendimiento obtenido en la producción de papa con los cuatro tratamientos fue buena con respecto a la producción local, mientras que fue baja con respecto a la producción nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia Programa de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta. Proyecto 6D 1768071) por financiar la investigación; al agrólogo Guillermo Burgos (docente pensionado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira) por su orientación en el desarrollo de la investigación y a los agricultores de la Fundación Páramos y Frailejones por su colaboración logística y participación en el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amézquita, E.; Herrera, P.; Guerrero, L. y Restrepo, L. (1991). Efecto de la labranza en algunas propiedades físicas de un suelo ándico. *Suelos Ecuatoriales*. 21 (1): 68 – 75.
2. Barthes, B. and Roose, E. (2002). Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena*. 47: 133-149.
3. Blanco-Canqui, H.; Gantzer, C. J.; Anderson, S. H. and Alberts, E. E. (2004). Tillage and crop influences on physical properties for an Epiqualf. *Soil Sci Soc Am J*. 68: 567-576.
4. Corpoica (1998). Corpoica cinco años. Principales Avances en Investigación y Desarrollo Tecnológico por Sistemas de Producción Agrícola. Santafé de Bogotá. Noviembre. P 450.
5. ———, 1994. Caracterización de los Sistemas de Producción en los corregimientos de Barragán y Santa Lucía del municipio de Tuluá.
6. Ellies, A. y Ramirez, C. (1993). Cambios en la porosidad de un suelo por efecto de su uso. *Turrialba*. 43 (1): 72-76.
7. ——— (1993). Variación en la resistencia del suelo por efecto de su uso. *Turrialba*. 43 (1): 77-82.
8. Fassbender, H. W. (1987). Química de suelos: Con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica. IICA. P.420.
9. Malagón, C. D. (1995). Suelos de Colombia. IGAC. Santafé de Bogotá.
10. Pagliai, M.; Vignozzi, N.; Pellegrini. (2004). Soil structure and the effect of management practices. *Soil Tillage Res*. 79: 131-143.
11. Rodríguez, L.; Rizo, H. (1999). Subsolador Sp-280 en la preparación de suelos. *Revista Cañaverl*. 5 (3): 50-51.
12. Tebrugge, F.; During, R. A. (1999). Reducing tillage intensity – A Review of results from a long-term study in Germany. *Soil Tillage Res*. 53: 15-28.