

NOTA TÉCNICA

IMPACTO DEL PASTOREO CON GANADO HOLSTEIN Y JERSEY SOBRE LA DENSIDAD APARENTE DE UN ANDISOL¹

Rodolfo WingChing-Jones², Gilberto Cabalceta-Aguilar³, Alfredo Alvarado-Hernández⁴

RESUMEN

Impacto del pastoreo con ganado Holstein y Jersey sobre la densidad aparente de un andisol. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto inmediato de la fuerza ejercida por el pisoteo de las razas productoras de leche Holstein y Jersey, sobre el valor de densidad aparente en un suelo del orden Andisol (Typic Hapludands), con cobertura permanente de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Se tomaron 60 muestras de ρ_a de suelo en dos fincas dedicadas a la producción de leche desde hace más de 15 años, en los distritos de Cascajal y las Nubes de Coronado, San José, Costa Rica, en el 2008. Por medio del método de volumen conocido y con base en un patrón de muestreo de cada cinco metros con relación al perímetro del aparcamiento y al siguiente punto de muestreo, se determinó que las variables raza, momento del pastoreo (antes y después) y potrero, fueron significativas para la cuantificación del cambio en la densidad aparente. Los valores de ρ_a antes de que entrara el ganado a los apartos variaron entre 0,47 y 0,58 Mg/m³, con un promedio de 0,52 Mg/m³, mientras que después del paso del ganado variaron entre 0,52 y 0,77 Mg/m³, con un promedio de 0,64 Mg/m³. Cuando el pastoreo se realizó con ganado Jersey, la ρ_a aumentó a valores entre 0,52 y 0,72 Mg/m³, con un promedio de 0,62 Mg/m³ y con pastoreo de ganado Holstein entre 0,62 y 0,77 Mg/m³, con un valor promedio de 0,69 Mg/m³. El cambio en la densidad aparente producto del pisoteo en un suelo con cobertura permanente de pasto kikuyo, con las condiciones que prevalecieron durante este trabajo varió entre 14 y 31%.

Palabras clave: Ganado de leche, pisoteo, compactación, pasto Kikuyo, *Pennisetum clandestinum*.

ABSTRACT

Impact of Holstein and Jersey cattle grazing in Andosol soil bulk density. The objective of this work was to evaluate changes in soil bulk density (ρ_a) induced by Holstein and Jersey cattle grazing in kikuyu grass fields. We took 60 soil samples (Typic Hapludands) at two farms more than 15 years ago involved with milk production, in Cascajal and Nubes Coronado districts, San Jose, Costa Rica, 2008. The "known volume method" was used, following a sampling protocol every five meter in relation to the perimeter of the grazing zone and the next sampling point. It was determined that the variables breed, grazing time (before and after) and grazing zone, are significant for quantifying the changes in soil bulk density. Values of ρ_a before the livestock was allowed inside the paddocks ranged between 0.47 and 0.58 Mg/m³, with a mean value of 0.52 Mg/m³, while after cattle passage, it ranged between 0.52 and 0.77 Mg/m³, with a mean value of 0.64 Mg/m³. When grazing was performed with Jersey cattle, ρ_a values varied between 0.52 and 0.72 Mg/m³, with a mean of 0.62 Mg/m³, while Holstein cattle grazing induced changes between 0.62 and 0.77 Mg/m³, with a mean of 0.69 Mg/m³. Soil bulk density changes resulting from trampling cattle on kikuyu grass can fluctuate between 14 and 31 %.

Key words: Dairy cattle, trampling, compaction, kikuyo grass, *Pennisetum clandestinum*.

¹ Recibido: 17 de febrero, 2009. Aceptado: 16 de noviembre, 2009. Parte del proyecto de investigación de la Universidad de Costa Rica número 739-A7-088.

² Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. rodolfo.wingching@ucr.ac.cr;

³ Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. gilberto.cabalceta@ucr.ac.cr

⁴ Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. alfredo.alvarado@ucr.ac.cr

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, Andrade (2006) menciona que durante el año 2002, el área dedicada a la producción de forraje en sistemas de producción láctea era de 85 016 ha, lo que equivale al 1,66% del territorio nacional. El pasto estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) y el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), son las especies forrajeras de mayor preferencia por los productores de leche, con un área total por especie de 22 024 ha y de 12 718 ha, respectivamente. Con relación al pasto kikuyo, este se distribuye en los distritos de Ciudad Quesada, Zarcero, Alajuela, Cartago y Coronado, a razón de 3,93 %, 17,37 %, 22,06 %, 32,81 % y 23,82%, respectivamente.

Para optimizar la calidad y cantidad de forraje para la producción de leche o carne, se requiere para la planta un determinado fotoperíodo (Cleland *et al.* 2006), duración del día (Mannetje y Pritchard 1974), rango de temperatura diurna (Christie 1975) o nocturna (Ivory y Whiteman 1978), concentración de CO₂ en la superficie foliar (Wand *et al.* 2001), concentración de nutrimentos disponibles, textura, estructura, humedad (Christie 1975), nivel de acidez y densidad aparente (q_a) en el suelo.

La mayoría de los estudios en forrajes realizados en Costa Rica, se enfocan en su respuesta a la adición de fertilizante químico u orgánico, en términos de cantidad de biomasa producida (Araya y Boschini 2005), calidad nutricional del forraje a la edad de cosecha (Sánchez y Soto 1999a y 1999b), el contenido mineral del forraje (Vargas y Fonseca 1989), el contenido energético para la producción de leche o carne (Sánchez y Soto 1999a y 1999b) y el comportamiento de la proteína a nivel ruminal (WingChing-Jones y Rojas-Bourrillón 2006).

Dentro del sistema de producción de forrajes, la interacción ambiente-suelo-pasto-animal y/o maquinaria, importa a la hora de cuantificar la producción del mismo (Raper 2005). El efecto que ejerce el pisoteo del animal y/o el tránsito de maquinaria en el potrero sobre la reducción del tamaño del poro del suelo y la capacidad del suelo de volver a su condición original después de retirada esta presión, afecta la capacidad de crecimiento de las raíces y por ende la producción de forraje (Lipiec y Hatano 2003). En otros estudios, se relaciona la acción del pisoteo de los animales con procesos de desnitrificación (Menneer *et al.* 2005), contaminación ambiental (Simek *et al.* 2006), almacenaje

de nutrimentos, composición de la vegetación, calidad de forraje y movimiento del agua (Liebig *et al.* 2006).

El efecto directo e indirecto del pisoteo por los animales sobre las propiedades físicas del suelo, ha sido evaluado en Costa Rica por Agüero y Alvarado (1983) en Guanacaste y por Mora (1988) en Cartago. La resistencia a la penetración y la q_a , fueron las herramientas empleadas por estos autores para la determinación de la compactación del suelo por efecto del pisoteo. Además de estas herramientas, se puede implementar, para cuantificar este mismo efecto, el movimiento del agua en el suelo mediante la infiltración, la conductividad hidráulica, la resistencia al corte, la porosidad total y el espacio aéreo del suelo (Henríquez y Cabalceta 1999). La q_a del suelo, variable que relaciona la masa de sólidos del suelo con un volumen total conocido, se emplea para calcular la porosidad total, estudios de relación suelo-agua, determinación del índice de penetrabilidad de raíces, detección de la presencia y grado de desarrollo de panes endurecidos y hallazgo de capas que impidan el crecimiento radical (Alvarado y Forsythe 2005).

Según Toledo y Morales (1978) el rango de superficie de contacto de los caballos y vacunos (0,010–0,004 m²) y de los tractores de oruga con diferente potencia (2,750–5,090 hp) son muy diferentes, aunque los tractores de oruga ejercen menos presión al suelo (0,67–0,95 kg/m²) que los animales (3,50–4,00 kg/m²). Lo anterior indica que el pisoteo es una variable que se debe considerar para optimizar el desarrollo y rendimiento productivo del forraje empleado en la producción de rumiantes.

En los sistemas de producción bovina el aprovechamiento del forraje en el potrero, se da de dos formas, por medio del pastoreo continuo o del pastoreo rotacional. Bajo condiciones normales de pastoreo continuo, los suelos pueden o no presentar terrazas debido a que los animales se desplazan por todo el terreno y suben y bajan las pendientes en busca de agua o el portillo de entrada y salida del potrero. Bajo condiciones de aparato, se puede o no presentar el mismo fenómeno, pero más en función de la carga animal que se utilice, con un efecto de pisoteo más concentrado en todo el terreno. Esta última condición es la de los apartos del presente trabajo, donde el terreno ha sufrido cambios permanentes y dinámicos en su microrelieve. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto inmediato de la fuerza ejercida por el pisoteo de las

razas productoras de leche Holstein y Jersey, sobre el valor de densidad aparente en un suelo del orden Andisol (Typic Hapludands), con cobertura permanente de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y caracterización de los sistemas

El estudio de la densidad aparente en el suelo (Q_a) se realizó en las localidades de las Nubes y Cascajal de Coronado, distrito de Cascajal, cantón de Vásquez de Coronado, provincia de San José, Costa Rica, en el año 2008. Los terrenos bajo estudio se caracterizan por tener más de 15 años de dedicarse a la producción de leche en praderas de pasto kikuyo (*P. clandestinum*), tener una permanencia máxima de los animales de 12 horas por aparto, suplementación antes del ordeño, apartos de forma rectangular y dos ordeños por día. En la localidad de las Nubes el hato estaba conformado por 36 animales de la raza Jersey, con un peso promedio de 450 kg/animal, con disponibilidad de 23,33 m²/animal en una rotación de 45 días; el sistema en Cascajal, tenía 45 animales de la raza Holstein, con un peso promedio de 525 kg/animal, disponibilidad de 22,4 m²/animal y un período de descanso de 40 días.

Variables evaluadas y manejo de la muestra

Como variables determinantes al valor de Q_a en el suelo, se analizó la raza del animal, el aparto y el momento del pastoreo (antes o después). El efecto de finca se consideró inmerso dentro de la variable raza.

En cada finca se tomaron 30 muestras de Q_a distribuidas en tres apartos (repeticiones), un día antes y un día después del pastoreo. En cada aparto los puntos de muestreo se realizaron distanciados a cinco metros con relación al perímetro del aparto en sus cuatro costados y al punto de muestreo anterior más cercano. Para determinar la Q_a se utilizó el método de volumen conocido, con cilindros de 7,5 cm de diámetro por 7,5 cm de largo (Forsythe 1985). Durante el muestreo se procedió a limpiar la superficie del potrero, sin ejercer fuerza para no disturbarla, como lo indican Henríquez y Cabalceta (1999). Luego se colocó el cilindro muestreador y con golpes continuos se introdujo en el suelo

hasta una profundidad entre 0 a 10 cm. El cilindro se retiró del suelo con la ayuda de un palín, se limpió y se eliminó el sobrante de éste en los extremos con la ayuda de un cuchillo. El suelo contenido en el cilindro se depositó en una bolsa plástica, previamente identificada, se trasladó al laboratorio de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica y se colocó en estufa a 110°C por 24 horas; posterior a este periodo, la muestra se pesó, para obtener el peso seco del suelo.

El valor de Q_a se calculó por medio de la ecuación descrita por Forsythe (1985), en donde se relaciona la masa del suelo seco al horno entre el volumen del cilindro empleado ($\pi r^2 h$). Mientras que, para determinar el cambio (ΔQ_a) entre el valor determinado antes y después del pastoreo se procedió de la siguiente manera:

$$\Delta Q_a (\%) = ((Q_a \text{ después del pastoreo} - Q_a \text{ antes del pastoreo}) / Q_a \text{ antes del pastoreo}) \times 100$$

Análisis estadístico

Por medio del programa PROC GLM de SAS (2003) se realizó el análisis estadístico para los valores recolectados de Q_a antes y después del pastoreo, determinando así la significancia de los efectos principales del pisoteo de los animales sobre los cambios en la densidad aparente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Apreciación visual del pisoteo en los potreros.

El efecto directo del pisoteo del ganado sobre el terreno, puede observarse en las Figuras 1a y 1c. Se redujo la cobertura vegetal, se modificó el microrelieve del terreno y ocurrió una reducción de volumen de suelo que se refleja en la acumulación de agua en las huellas de las pisadas (después de las lluvias en terrenos recién pastoreados). En la mayoría de los casos, cuando el terreno es plano, los efectos se deben a una presión vertical causada por el peso del animal sobre una superficie reducida al área de las cuatro pezuñas del vacuno; en este caso se estima que el área de cada pisada afecta una superficie directa de 100 cm² (Figura 1a). Si la pendiente del terreno o el contenido de humedad del suelo aumentan, además de la presión vertical se presentan presiones tangenciales sobre el mismo, pro-



Figura 1. Efecto inmediato del pisoteo del ganado en la superficie del suelo con cobertura permanente de pasto kikuyo (a. huella de la pisada, b. deslizamiento de la pisada y c. acumulación de agua en área de pisoteo). Coronado, San José, Costa Rica. 2008.

ducto del deslizamiento de la pisada; en este caso, la superficie afectada puede duplicarse y la cobertura del ecosistema reducirse en cantidades relevantes (Figura 1b). Esta presión, producto del pisoteo de los animales sobre la superficie del suelo se incrementa con el

número de animales que pastorean en ese momento (Figura 2a) y con interacción entre la acción del pastoreo y la topografía del apto (Figuras 2a–2b). Por último, en las Figuras 3a y 3b se observan otros efectos producto de la acumulación de los animales en un área



Figura 2. Efecto del ganado (a) y la topografía (b) del suelo sobre la superficie del apto. Coronado, San José, Costa Rica. 2008.



Figura 3. Efectos sobre la superficie del potrero debida a que el ganado se postra (a) o caminan por los mismos sitios formando trillos (b). Coronado, San José, Costa Rica. 2008.

específica del apartado, cuando éstos se postran en el potrero, caminan por los mismos sitios formando trillos o se acumulan en un área específica para la protección de la lluvia o de los rayos del sol (sombra).

Efecto de la raza (pisoteo) sobre la q_a . Cuando el pastoreo se realizó con ganado Jersey, la densidad aparente varió en promedio entre 0,47-0,58 (antes) y 0,52-0,72 Mg/m³ (después) y con pastoreo de ganado Holstein entre 0,51-0,56 (antes) y 0,62-0,77 Mg/m³ (después), sin embargo, no en todas las mediciones se encontró un aumento de ésta, probablemente debido a que el pisoteo del ganado no es homogéneo y en algunos casos se tomaron muestras en sitios no alterados por el ganado (Cuadros 1 y 2). Las diferencias encontradas en la q_a son significativas y se pueden deber al tipo de raza, al cambio en el contenido de humedad del suelo (Cuadro 3) y a su interacción en el momento del pastoreo. Igualmente, la variación en la q_a entre apartos (potreros o repeticiones) reflejó efectos de carga animal diferenciados entre ellos en el tiempo, efectos estimados estadísticamente en las repeticiones (Cuadro 2). Esta variación debe aprovecharse en mejoras del sistema de producción, tratando de aplicar los principios de agricultura de precisión a los pastizales tal como lo describen Schellberg *et al.* (2008).

Los valores en promedio de q_a determinados en esta investigación con ambas especies de ganado, no indican problemas de compactación de suelo, ya que se encuentran en el rango natural en este suelo establecido por Alvarado y Forsythe (2005) de 0,55 a 1,12 Mg/m³ para suelos Andisoles a una profundidad entre 0 a 20 cm. Sin embargo, tal comportamiento podría explicarse debido al período de ocupación de medio día, ausencia de precipitación durante la época de estudio, que cambie el contenido de humedad del suelo (Cuadro 3) y la disponibilidad de área para cada animal.

Los valores del cambio en la densidad aparente determinados en cada raza después de la entrada y salida del ganado en los apartos variaron entre 8,63 y 23,15% para animales Jersey, mientras que, en el ganado Holstein, este cambio estuvo entre 18,60 y 37,48%. Éste efecto se relaciona con la fuerza que se le aplique al suelo durante el pastoreo, que depende del peso del animal, al contenido de humedad del suelo al momento de la toma de la muestra (Figura 4) y al área de contacto entre la pezuña y la superficie del suelo (Bilotta *et al.* 2007). En este mismo sentido, Greenwood y McKenzie (2001)

Cuadro 1. Efecto de la raza de ganado, momento del pastoreo y área de pastoreo sobre la densidad aparente del suelo con cobertura permanente de pasto kikuyo. Coronado, San José, Costa Rica. 2008.

Raza	Jersey		Holstein	
	Antes	Después	Antes	Después
Pastoreo*	Mg/m ³		Mg/m ³	
Observación*				
1	0,62	0,45	0,76	0,68
2	0,43	0,36	0,48	0,62
3	0,55	0,45	0,53	0,65
4	0,43	0,58	0,54	0,57
5	0,34	0,61	0,64	0,64
6	0,39	0,54	0,43	0,62
7	0,52	0,52	0,49	0,44
8	0,50	0,59	0,44	0,62
9	0,54	0,59	0,50	0,74
10	0,44	0,51	0,40	0,59
<i>x</i>	0,47	0,52	0,52	0,62
<i>s</i>	0,08	0,08	0,11	0,08
Δq_a (%)	9,45		18,60	
11	0,40	0,80	0,49	0,53
12	0,47	0,73	0,40	0,50
13	0,44	0,55	0,48	0,78
14	0,56	0,33	0,64	0,62
15	0,42	0,49	0,41	0,78
16	0,81	0,69	0,54	0,68
17	0,44	0,61	0,53	0,78
18	0,54	0,57	0,59	1,17
19	0,79	0,60	0,56	0,69
20	0,57	0,53	0,51	0,55
<i>x</i>	0,54	0,59	0,51	0,71
<i>s</i>	0,15	0,13	0,08	0,20
Δq_a (%)	8,63		37,48	
21	0,58	0,99	0,44	0,97
22	0,48	0,67	0,53	0,79
23	0,45	0,76	0,50	0,66
24	0,70	0,55	0,49	0,81
25	0,44	0,71	0,76	0,83
26	0,62	0,67	0,48	0,44
27	0,68	0,59	0,61	0,66
28	0,69	0,82	0,62	0,77
29	0,61	0,68	0,58	0,77
30	0,59	0,76	0,62	1,00
<i>x</i>	0,58	0,72	0,56	0,77
<i>s</i>	0,10	0,12	0,09	0,16
Δq_a (%)	23,15		36,87	
x_{total}	0,53	0,60	0,53	0,70
s_{total}	0,12	0,14	0,09	0,16
Δq_a (%)	13,74		30,98	

* *x* = promedio por apartado; *s* = desviación estándar por apartado; x_{total} = promedio con las 30 observaciones; Δq_a = Cambio de la q_a por apartado; s_{total} = desviación estándar con las 30 observaciones; Δq_a = Cambio de la q_a promedio; q_a = densidad aparente.

Cuadro 2. Significancia de los efectos principales y de sus interacciones de la raza de ganado sobre la densidad aparente y humedad gravimétrica en una área de pastoreo. Coronado, San José, Costa Rica. 2008.

Variable	Raza (A)	Pastoreo (B)	Potrero (C)	A x B	A x C	B x C	A x B x C
Densidad aparente	0,02	0,001	0,001	0,02	0,51	0,16	0,41
Humedad gravimétrica	0,0001	0,0001	0,0001	0,08	0,07	0,79	0,72

Cuadro 3. Contenido de humedad gravimétrica en el suelo según la raza de ganado, el momento del pastoreo y el área de pastoreo con cobertura permanente de pasto kikuyo. Coronado, San José, Costa Rica. 2008.

Raza		Jersey		Holsteins		Raza		Jersey		Holsteins		
Pastoreo	Antes	Después	Antes	Después	Pastoreo	Antes	Después	Antes	Después	Pastoreo	Antes	Después
Observación*	g/g		g/g		Observación*	g/g		g/g		Observación*	g/g	
1	1,06	1,51	0,68	0,68	19	0,76	1,07	0,63	0,69			
2	1,62	1,88	0,89	0,62	20	1,12	1,30	1,09	0,55			
3	1,32	1,51	0,83	0,65	X	1,36	1,30	0,80	0,71			
4	1,62	1,24	0,95	0,57	s	0,37	0,37	0,30	0,20			
5	1,91	1,19	0,77	0,64	Δ Hg	-4,46			-11,81			
6	1,93	1,33	0,93	0,62	21	1,02	0,50	0,49	0,97			
7	1,38	1,38	1,24	0,44	22	1,36	1,05	0,59	0,79			
8	1,46	1,20	0,98	0,62	23	1,35	0,74	0,80	0,66			
9	1,21	1,23	0,67	0,74	24	0,86	1,02	0,54	0,81			
10	1,58	1,38	0,96	0,59	25	1,32	0,94	0,60	0,83			
X	1,51	1,39	0,89	0,62	26	1,02	0,84	1,25	0,44			
s	0,28	0,21	0,17	0,08	27	0,95	1,13	0,81	0,66			
Δ Hg	-8,12		-30,55		28	0,80	0,61	0,62	0,77			
11	1,67	1,83	1,13	0,53	29	1,13	1,01	0,59	0,77			
12	1,58	0,92	1,19	0,50	30	1,10	0,79	0,36	1,00			
13	1,72	1,06	0,63	0,78	X	1,09	0,86	0,66	0,77			
14	1,27	1,99	0,99	0,62	s	0,20	0,20	0,24	0,16			
15	1,75	1,51	0,67	0,78	Δ Hg	-20,90			15,92			
16	0,80	1,01	0,81	0,68	X total	1,32	0,60	0,79	0,70			
17	1,63	1,02	0,66	0,78	stotal	0,33	0,35	0,25	0,16			
18	1,26	1,24	0,22	1,17	Δ Hg x	-11,16			-8,81			

* x= promedio por aparato; s= desviación estándar por aparato, xtotal= promedio con las 30 observaciones; Δ Hg= Cambio de la gravimétrica por aparato; stotal= desviación estándar con las 30 observaciones; Δ Hg x= Cambio de la Hg promedio.

mencionan que animales en pastoreo con peso mayor a los 500 kg presentan una mayor área de la pezuña que animales con un menor peso, ejerciendo una presión estática en la superficie del suelo en la pastura entre 98 a 144 y 110 a 168 (kPa) en animales con pesos menores

y mayores a 500 kg de peso vivo (PV), respectivamente. En pruebas de laboratorio, Scholefield *et al.* (1985) determinaron que una vaca lechera en producción, con un peso vivo de 530 kg ejerce una presión de 300 kPa cuando se desplaza, valor que duplica la presión estática

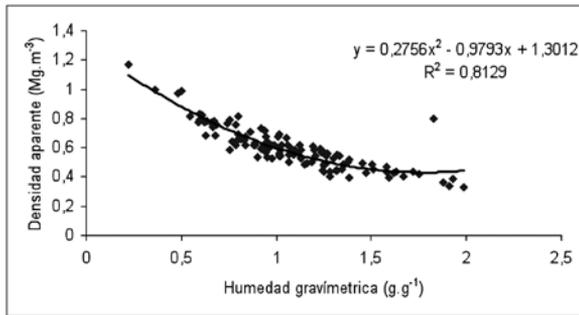


Figura 4. Relación del contenido de humedad y el valor de densidad aparente en un suelo con cobertura permanente con pasto kikuyo. Coronado, San José, Costa Rica. 2008.

informada por Greenwood y Mckenzie (2001) para un animal de similar peso.

El cambio en la densidad aparente cuando el suelo fue pastoreado con animales Jersey y Holstein estuvo entre los 0,1 y 0,2 Mg/m³ en promedio, respectivamente. Según Forsythe (2008)³ cuando a un suelo se le ejerce una presión, los valores de densidad aparente del suelo presentan una tendencia logarítmica hasta llegar a un punto máximo de densidad aparente, dependiendo de la situación del mismo. En condiciones de campo esta presión es ejercida por el transitar de la maquinaria, personas o por los animales, lo cual se refleja en la disponibilidad de biomasa en los potreros, dependiendo de la magnitud en el cambio de la densidad aparente. Al analizar el historial de estos sistemas, en donde, durante más de 15 años se presentó una dinámica de permanencia y descanso en los potreros por los animales, permite inferir que existió un proceso de recuperación de la densidad aparente durante el período de descanso del potrero, que le permitió al suelo recobrar su condición inicial.

Aparentemente, la recuperación de los valores de la densidad aparente hasta los valores antes del pastoreo, ocurre en un período de tiempo corto, por lo que no se nota un efecto acumulativo en los potreros después de 15 años de pastoreo. Por lo anterior, el aumento en la densidad aparente podría explicarse más como un desplazamiento de aire del suelo que revierte rápidamente (“efecto esponja”), el cual se facilita por el rápido crecimiento del sistema radicular del pasto kikuyo.

³ Forsythe, W. 2008. Comunicación Personal. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica.

Aunque en este trabajo se enfocó en el cambio de densidad aparente, durante la realización del mismo, se observó que el impacto del pisoteo fue afectado por la densidad de las raíces presentes, el contenido de humedad del suelo (meses de enero y febrero 2008), el tipo de forraje (rizoma contra estolón), el colchón de material senescente, la presencia de caminos dentro del aparto, la variabilidad de las propiedades físicas del suelo y el desplazamiento del animal, influenciado por la temperatura ambiental, disponibilidad de forraje, pendiente, suministro de alimento adicional en la canoa, entre otras.

Según Alvarado *et al.* (2001) el orden de suelo Andisol en el cual se realizó este trabajo, se puede clasificar como un suelo joven en donde predomina la alofana en el complejo de arcillas, tal situación se debe a que los resultados obtenidos en este trabajo se encuentran dentro del rango de 0,3 y 0,7 Mg/m³ informado por estos mismos autores, para esta clasificación.

Efecto del contenido de humedad del suelo sobre la densidad aparente. En la Figura 4 se nota la relación inversa que se obtuvo en este trabajo entre la ρ_a de un suelo y su contenido de humedad gravimétrica en el momento de la toma de la muestra. Tal comportamiento podría ser explicado a la capacidad que presentan los componentes del suelo a hincharse o contraerse con el cambio de la humedad.

CONCLUSIONES

El cambio en la densidad aparente producto del pisoteo en un suelo con cobertura permanente de pasto kikuyo, con las condiciones que prevalecieron durante este trabajo varió entre 14 y 31 %.

La heterogeneidad que se determinó en este trabajo indica que cada sistema de producción de leche en el país es una unidad independiente y que dentro de esta unidad se segregan una serie de subsistemas, los cuales varían dependiendo del número de variables que se empleen para su valoración.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Ingeniera Liliana Hidalgo Dittel propietaria de las fincas la Pradera y Limadeña, por las facilidades prestadas para el desarrollo de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Aguero, J; Alvarado, A. 1983. Compactación y compactabilidad de suelos agrícolas y ganaderos de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 7(1/2):27-33.
- Alvarado, A; Bertsh, F; Cabalceta, G; Forsythe, W; Henríquez, C; Molina, E; Salas, R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. ACCS, San José, Costa Rica. 111 p.
- Alvarado, A; Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1):85-94.
- Andrade, M. 2006. Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 226 p.
- Araya, M; Boschini, C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 16(1): 37-43.
- Bilotta, G; Brazier, R; Haygarth, P. 2007. The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface water in intensively managed grasslands. *Advances in Agronomy* 94:237-280.
- Christie, E. 1975. Physiological responses of semiarid grasses: III. Growth in relation to temperature and soil water deficit. *Aust. J. Agric. Res.* 26:447-457.
- Cleland, E; Chiariello, N; Loarie, S. Monney, H; Field, C. 2006. Diverses responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. *Proceeding of the national academy of sciences* 103(37): 13740-13744.
- Forsythe, W. 1985. Física de suelos: manual de laboratorio. IICA. San José. Costa Rica. 212 p.
- Greenwood, K; McKenzie, B. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41:1231-1250.
- Henríquez, C; Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. ACCS. San José, Costa Rica. 112 p.
- Ivory, D; Whiteman, P. 1978. Effect of temperature on growth of five subtropical grasses. II. Effect of low night temperature. *Aust. J. Plant Physiol.* 5:149-157.
- Liebig, MA; Gross, JR; Kronberg, SL; Hanson, JD; Frank, AB; Phillips, RL. 2006. Soil response to long-term grazing in the northern great plains of north America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115:270-276.
- Lipiec, J; Hatano, R. 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma* 116:107-136.
- Mannetje, L; Pritchard, A. 1974. The effect of daylength and temperature on introduced legumes and grasses for the tropics and subtropics of coastal Australia. I. Dry matter production, tillering and leaf area. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 14:173-181.
- Menneer, J; Ledgard, S; Mclay, C; Silvester, W. 2005. Animal treading stimulates denitrification in soil under pasture. *Soil, Biology & Biochemistry* 37:1625-1629.
- Mora, A. 1988. Estudio preliminar sobre el efecto de la compactación del suelo sobre el rendimiento y calidad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) durante la época de verano. Tesis de licenciatura. Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 58 p.
- Raper, RL. 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42:259-280
- Sánchez, J; Soto, H. 1999a. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. III. Energía para la producción de leche. *Nutrición Animal Tropical* 5(1):31-49.
- Sánchez, J; Soto, H 1999b. Calidad nutricional de los forrajes de una zona con niveles medios de producción de leche, en el trópico húmedo del Norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23(2):165-171.
- SAS 2003. SAS 9.1.3 for Windows. Service Pack 4. Win_Pro plataforma. Copyright (c) 2002-2003 by SAS Institute Inc. Cary NC. USA.
- Schellberg, J; Hill, M; Gerhards, R; Rothmund, M; Braun, M. 2008. Review: Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy* 29(2/3):59-71.
- Scholefield, D; Patto, PM; Hall, DM. 1985. Laboratory research on the compressibility of four topsoils from grassland. *Soil and Tillage Research* 6:1-16.
- Simek, M; Brucek, P; Hynst, J; Uhlírova, E; Petersen, S. 2006. Effects of excretal returns and soil compaction on nitrous oxide emissions from a cattle overwintering area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112: 186-191.
- Toledo, J; Morales, V. 1978. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en la Amazonía Peruana. In: Tergas, L; Sánchez, P. eds. Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Trabajos presentados durante un Seminario celebrado en el CIAT, Cali, Colombia. 524 p.

- Vargas, E; Fonseca, H.1989. Contenido mineral y proteico de forrajes para rumiantes en pastoreo en Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 217 p.
- Wand, S; Midgley, G; Stock, W. 2001. Growth responses to elevated CO₂ in NADP-Me, NAD-ME and PCK C₄ grasses and a C₃ grass from South Africa. Aust. J. Plant Physiology 28:13-25.
- WingChing-Jones, R; Rojas-Bourrillón, A. 2006. Nitrógeno orgánico y químico en sorgo negro con cobertura permanente de maní forrajero. II Fraccionamiento de la proteína. Agronomía Costarricense 30(2):61-69.

