

Sample size to estimate biomass and productivity of *Canavalia ensiformis* and *Dolichos lablab*

Tamanho da amostra para estimativa da biomassa e produtividade de *Canavalia ensiformis* e *Dolichos lablab*

Paulo E. Teodoro, Larissa P. Ribeiro, Flávia A. da Silva, Caio C. G. Corrêa, Roque A. A. da Luz Júnior and Francisco E. Torres

Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade de Aquidauana. CEP: 79200-000, Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brazil. E-mail: eduteodoro@hotmail.com, author for correspondence

Recebido/Received: 2014.01.23
Aceitação/Accepted: 2014.06.21

ABSTRACT

Green manure brings numerous benefits that promote essentially the maintenance and conservation of agro-systems, and its implementation is fundamental to Brazilian Cerrado region. In this scenario, the present research aimed to determine the sample size for the estimation of biomass and productivity expected values of *Canavalia ensiformis* and *Dolichos lablab*. The experiment was installed in the experimental area of the State University of Mato Grosso do Sul - Unit University Aquidauana (UEMS/UUA), located in the Brazilian Cerrado. Forty five plants were randomly selected in the experimental area of each crop to determine fresh mass, dry mass and yield. Measures of central tendency, variability, asymmetry and kurtosis were calculated and normality of the variables under study was checked by the Lilliefors test. In *C. ensiformis* and *D. lablab*, 259 and 362 plants, respectively, are sufficient for the estimation of evaluated variables, with confidence interval of 95% an estimation error equal to 5% of the observed average. *C. ensiformis* showed significant high mean values for the fresh mass production, dry mass and yield grain in comparison with the *Dolichos lablab*, being recommended for cultivation in Brazilian Cerrado.

Keywords: experimental design, green manure, number of plants.

RESUMO

A adubação verde traz inúmeros benefícios que promovem, essencialmente, a manutenção e a conservação de agrossistemas, sendo a sua implementação fundamental para a região do Cerrado brasileiro. Neste cenário, a presente pesquisa tem como objetivo determinar o tamanho da amostra para a estimativa da biomassa e da produtividade média de *Canavalia ensiformis* e *Dolichos lablab*. O ensaio foi conduzido na área experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Unidade Universitária de Aquidauana (UEMS/UUA), localizada no bioma Cerrado. Foram selecionadas, aleatoriamente, 45 plantas na área experimental de cada cultura para determinação da massa verde, massa seca e produtividade, sendo posteriormente calculadas as medidas de tendência central, variabilidade, assimetria e curtose, e verificada a normalidade por meio do teste de Lilliefors. Em *C. ensiformis* e *D. lablab*, 259 e 362 plantas, respectivamente, são suficientes para a estimativa dos caracteres avaliados, com intervalo de confiança de 95% e um erro de estimativa de 5% da média observada. O *C. ensiformis* apresentou médias de produção de massa verde, massa seca e produtividade de grãos significativamente superiores ao *D. lablab*, sendo esta espécie recomendada para o cultivo no Cerrado brasileiro.

Palavras-chave: adubação verde, planejamento experimental, número de plantas.

Introduction

The Cerrado occupation has occurred quickly, based on intensive production systems, which have increased the processes of soil degradation (Silva *et al.*, 1994). These processes result in impacts that often generate the inefficiency of agricultural systems, with frequent need for interventions through conservation practices to maintain the productive potential of the soil. In this context, green manure becomes fundamental to the Cerrado region, because it promotes protection, improvement and maintenance of soil quality, as well as substantial increases in soil organic matter and nutrients, benefiting agroecosystems (Carvalho *et al.*, 1999; Leite *et al.*, 2010). Among the desirable characteristics for selection of species for green manure, stands out mainly dry mass production, because it is related to the capacity to increase nutrient by symbiosis with microorganisms, soil cover and recycling of nutrients (Chaves and Calegari, 2001).

Among the various botanical families species that can be grown as green manures, stand out those of the *Fabaceae* family. The legumes, in addition to providing similar benefits to other species, have the ability to accumulate N through biological fixation (Silva *et al.*, 2009).

According to Teodoro *et al.* (2011), *Canavalia ensiformis* (L.) DC. and *Dolichos lablab* L. are, among the leguminous species, the most promising to green manure, owing to the high dry matter production, surpassing the productivity 6 to 12 t ha⁻¹ of dry mass recommended by Darolt (1998) and Alvarenga *et al.* (2001) for soil management programs in the Cerrado biome.

D. lablab, in Cerrado, adapts to cultivation during the rainy season, as it is sensitive to photoperiod and water deficit, with an approximate cycle of 156 days to flowering (Carvalho *et al.*, 1999). *C. ensiformis* is well adapted to adverse environmental conditions, from the arid and semiarid regions to the rainforest climate. In the Cerrado of Central Brazil is sown until the end of the rainy season, because of drought resistance and little sensitivity to photoperiod (Calegari *et al.*, 1993; Carvalho *et al.*, 1999). In agricultural systems in areas of Cerrado are used intercropped with maize and perennial crops, because tolerates partial shade (Carvalho and Amabile, 2006).

Although the data can produce reliable results in a given study, it is important to determine the sample size in order to estimate the average of each variable, with high confidence and a given estimation error. The sample size is directly proportional to the variability of the variables under study and to

the desired confidence degree in the estimate and inversely proportional to the estimation error allowed, initially established by the researcher (Barbetta *et al.*, 2004; Bussab and Morettin, 2004; Spiegel *et al.*, 2004).

Thus, the objective of this research was to determine the sample size to estimate biomass and productivity of *C. ensiformis* and *D. lablab* average and identify the most recommended species to cultivation in the Brazilian Cerrado.

Material and Methods

The experiment was installed in the experimental area of the State University of Mato Grosso do Sul - Unit University Aquidauana (UEMS/UUA), in the municipality of Aquidauana (MS), located in the Brazilian Cerrado (or Savanna), comprising the coordinates 20°27' S and 55°40' W, with an average elevation of 170 m.

The soil was classified as Ultisol sandy loam (Embrapa, 2006), with the following chemical characteristics in the layer 0 – 0.20 m: pH (H₂O) = 6.2; Al exchangeable (cmol_c dm⁻³) = 0.0; Ca+Mg (cmol_c dm⁻³) = 4.31; P (mg dm⁻³) = 41.3; K (cmol_c dm⁻³) = 0.2; Organic matter (g dm⁻³) = 19.7; V (%) = 45.0; m (%) = 0.0; Sum of bases (cmol_c dm⁻³) = 2.3; cation exchange capacity (or CEC) (cmol_c dm⁻³) = 5.1. The climate of the region according to the classification described by Köppen-Geiger is Aw (Savanna Tropical) with average annual rainfall of 1200 mm and maximum and minimum temperatures of 33 °C and 19 °C, respectively (Schiavo *et al.*, 2010).

C. ensiformis and *D. lablab* crops were sown manually on April 2013 in an experimental area with 50 m². The spacing used was 0.45 m between rows at a density of 15 plants per meter. No base fertilization and coverage for any culture were used.

At maturation, 45 plants were randomly selected in the experimental area of each crop to determine fresh mass, dry mass and productivity. Data were extrapolated to t ha⁻¹, and measures of central tendency, variability, asymmetry and kurtosis were calculated and normality of the variables under study was checked by Lilliefors test (Campos, 1983). To each variable, in each crop, the sample size was calculated (h), considering the 45 plants for a semi-amplitude of the confidence interval (estimation error) equal to 1%, 2%, ..., and 30% of the estimated average (a), with a confidence degree (1-a) of 0.95, by the expression $n \geq \frac{t_{\alpha/2}^2 s^2}{\epsilon^2}$ (Fonseca and Martins, 1995; Barbetta *et al.*, 2004; Bussab and Morettin,

2004; Spiegel *et al.*, 2004), where $t_{\alpha/2}$ is the critical value of Student t distribution, with (n-1) degree of freedom, and defined as $P(t > t_{\alpha/2}) = \alpha/2$ and variance estimate (s^2).

The statistical analysis was performed with assistance of the Genes computational program (Cruz, 2006) and Office Excel® software.

Results and Discussion

The calculation of central tendency, variability, asymmetry, kurtosis and Lilliefors test relatively to morphological variables fresh mass, dry mass and *C. ensiformis* and *D. lablab* yield, from 45 plants evaluated, data deviation was identified to normal distribution (Table 1).

However, according to the central limit theorem, even if the basic population is not normal, the distribution of the sample mean will be approximately normal for samples greater than 30 observations (Fonseca and Martins, 1995; Bussab and Morettin, 2004). Given these considerations in relation to normality, it can be inferred that the data from these variables provide credibility to the scaling of the sample size study.

Analyzing the variation coefficient of both green manures verifies a superior magnitude of fresh and dry masses and productivity, suggesting the need

of higher sample sizes for the estimation of the fresh and dry mass relative to average productivity.

Moreover, the statistical values revealed existence of genetic variability among *C. ensiformis* and *D. lablab* plants. Variables evaluated in *C. ensiformis* plants were statistically higher than those observed in the *D. lablab* being within the limit recommended by Darolt (1998) and Alvarenga *et al.* (2001) for cultivation in the Brazilian Cerrado region. These results showed lower magnitude than those observed by Melo (2012) that in evaluating the fresh and dry mass production in different green manures did not identify statistical difference in the *C. ensiformis* and *D. lablab*, more productive crops.

It is important to mention that given the observed results, the jack bean provides greater dry mass production and consequently greater soil cover in relation to *D. lablab*, which entails numerous benefits such as increased weed suppression, greater soil humidity, and smaller temperature oscillation, among others. Moreover, this is a crop that can be considered for family farms because of its high seed production and high prices in the market.

Sample size to estimate the average of each character in *C. ensiformis*, with semi-amplitude of the confidence interval equal to 1% of average estimate and a confidence of 95% degree, ranged between 292 and 6473 plants (Table 2), whereas for the *D. lablab* this variation was 334 to 9039 plants. These results con-

Table 1 – Statistical parameters of the fresh mass (FM), dry mass (DM) and yield (YI) of 45 *Canavalia ensiformis* and *Dolichos lablab* plants. Aquidauana, MS, Brazil, 2013.

Parameters	<i>Canavalia ensiformis</i>			<i>Dolichos lablab</i>		
	FM	DM	YI	FM	DM	YI
	----- t ha ⁻¹ -----					
Minimum	21.808	11.286	5.956	10.268	3.236	2.300
Maximum	117.586	48.380	8.620	38.684	17.992	5.068
Average ⁽¹⁾	60.105 a	20.487 a	7.044 a	20.474 b	8.359 b	4.494 b
Variance	482.881	66.888	0.357	56.906	15.550	0.166
Standard deviation	21.975	8.179	0.598	7.544	3.944	0.408
Variance coefficient (%)	36.561	39.921	8.483	36.846	15.551	9.075
Asymmetry ⁽²⁾	1.264*	1.704*	1.086 ^{ns}	0.725*	0.977*	21.989 ^{ns}
Kurtosis + 3 ⁽³⁾	4.318 ^{ns}	6.003*	3.978 ^{ns}	2.658 ^{ns}	3.214 ^{ns}	-3.442 ^{ns}
Lilliefors ⁽⁴⁾	0.313*	0.355*	0.184*	0.221*	0.246*	0.237*

(1) The averages of each character measured in jack bean and *Dolichos lablab*, followed by the same letter do not differ by bilateral t-test at a significant level of 0.05.

(2) * Asymmetry differs from zero by t-test at a significant level of 0.05. ^{ns}: not significant.

(3) * Kurtosis differs from three by t-test at 5% probability. ^{ns}: not significant.

(4) * Significant at 5% probability. ^{ns}: not significant.

Table 2 – Sample size to estimate the average of fresh mass (FM), dry mass (DM) and yield (YI) of *Canavalia ensiformis* and *Dolichos lablab* for a interval semi-amplitude with 95% confidence and errors equal to 1, 2, ..., 30% of the estimated average.

Error (%)	<i>Canavalia ensiformis</i>			<i>Dolichos lablab</i>		
	FM	DM	YI	FM	DM	YI
1	5429	6473	292	5514	9039	334
2	1357	1618	73	1378	2260	83
3	603	719	32	613	1004	37
4	339	405	18	345	565	21
5	217	259	12	221	362	13
6	151	180	8	153	251	9
7	111	132	6	113	184	7
8	85	101	5	86	141	5
9	67	80	4	68	112	4
10	54	65	3	55	90	3
11	45	53	2	46	75	3
12	38	45	2	38	63	2
13	32	38	2	33	53	2
14	28	33	1	28	46	2
15	24	29	1	25	40	1
16	21	25	1	22	35	1
17	19	22	1	19	31	1
18	17	20	1	17	28	1
19	15	18	1	15	25	1
20	14	16	1	14	23	1
21	12	15	1	13	20	1
22	11	13	1	11	19	1
23	10	12	1	10	17	1
24	9	11	1	10	16	1
25	9	10	1	9	14	1
26	8	10	1	8	13	1
27	7	9	1	8	12	1
28	7	8	1	7	12	1
29	6	8	1	7	11	1
30	6	7	1	6	10	1

firm the variability among the variables and among green manure species, corroborating the results obtained by Cargnelutti Filho *et al.* (2010), that identified sample size variability of *C. ensiformis* and gray mucuna (*Stizolobium cinereum* Piper & Tracy). From a practical standpoint, it can be inferred that it is difficult to obtain average estimates of the variables evaluated in *C. ensiformis* and *D. lablab*, with

estimation error of 1% of the sample mean, due to the large plants number to be measured. It does not fit in this study the judgment of maximum estimation error acceptable, getting the use this information to the researcher for his experimental design. If the option is to obtain estimated averages with 5% estimation error of the sample mean, taking into account the density of 15 plants m⁻¹, 0.45 m spac-

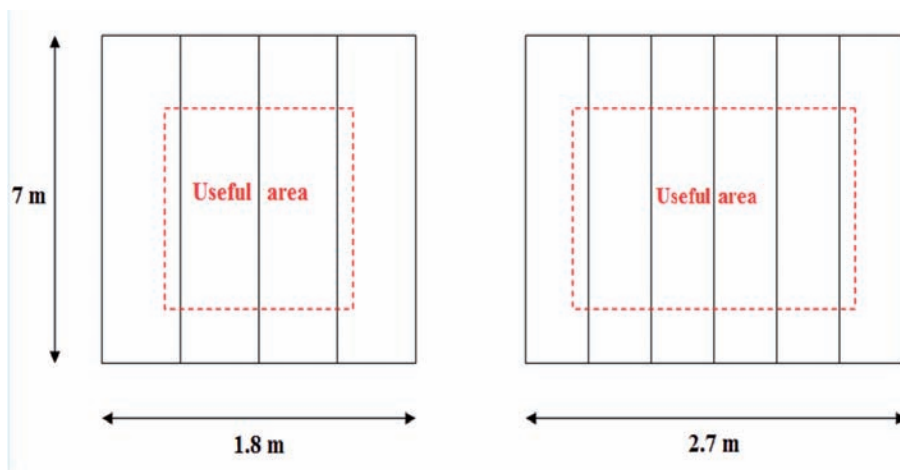


Figure 1 – Sample sized plots for average with 5% estimation error in *Canavalia ensiformis* (left side) and *Dolichos lablab* (right side).

ing and the evaluation these variables in three rows useful length of 5 m, plots with rows of 5 and 7 m length would be suitable for experiments with *C. ensiformis*, according to Figure 1. Considering these same parameters for the *D. lablab*, plots of 7 rows with 7 m long would be suitable. However, other factors must be analyzed for planning experiments with these green manures, such as seed germination, plant density, spacing to be used and type of harvesting and weeding (manual or mechanical).

Conclusions

Canavalia ensiformis showed significant higher values for the mean fresh mass production, dry mass and productivity in relation to *Dolichos lablab*, being recommended for cultivation in Brazilian Cerrado. In *Canavalia ensiformis* and *Dolichos lablab*, 259 and 362 plants, respectively, are sufficient for the estimation of evaluated characters, with confidence interval of 95% and an estimation error equal to 5% of the sample mean.

References

- Alvarenga, R.C.; Cabezas, W.A.L.; Cruz, J.C. and Santana, D.P. (2001) - Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Informação Agropecuária*, vol. 22, n. 208, p. 25-36.
- Barbetta, P.A.; Reis, M.M. and Bornia, A.C. (2004) - *Estatística para cursos de engenharia e informática*. São Paulo, Atlas, 410 p.
- Bussab, W.O. and Morettin, P.A. (2004) - *Estatística básica*. 5ª ed. São Paulo, Saraiva, 526 p.
- Calegari, A.; Alcântara, P.B.; Miyasaka, S. and Amado, T.J.C. (1993) - Características das principais espécies de adubos verdes. In: Costa, M.B.B. (Ed.) - *Adubação verde no Sul do Brasil*. Rio de Janeiro, AS-PTA, p. 206-319.
- Campos, H. (1983) - *Estatística experimental não-paramétrica*. 4ª ed. Piracicaba, Departamento de Matemática e Estatística, ESALQ, 349 p.
- Cargnelutti Filho, A.C.; Toebe, M.; Silveira, T.R.; Casarotto, G.; Haesbaert, F.M. and Lopes, S.J. (2010) - Tamanho de amostra e relações lineares de caracteres morfológicos e produtivos de crambe. *Ciência Rural*, vol. 40, n. 11, p. 2262-2267.
- Carvalho, A.M.; Burle, M.L.; Pereira, J. and Silva, M.A. (1999) - *Manejo de adubos verdes no Cerrado*. Embrapa Cerrados, 28 p.
- Carvalho, A.M. and Amabile, R.F. (2006) - *Cerrado: Adubação verde*. Brasília, Embrapa Cerrados, 369 p.
- Chaves, J.C.D. and Calegari, A. (2001) - Adubação verde e rotação de culturas. *Informação Agropecuária*, vol. 22, n. 212, p. 53-60.
- Cruz, C.D. (2006) - *Programa genes: estatística experimental e matrizes*. Viçosa, UFV, 285 p.
- Darolt, M.R. (1998) - Princípios para manutenção e implantação do sistema. In: Darolt, M.R. (Ed.) - *Plantio direto: Pequena propriedade sustentável*. Curitiba, IAPAR, Circular 101.
- Embrapa (2006) - *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 306 p.
- Fonseca, J.S. and Martins, G.A. (1995) - *Curso de estatística*. 5ª ed. São Paulo, Atlas, 317 p.
- Leite, L.F.C.; Freitas, R.C.A.; Sagrilo, E. and Galvão, S.R.S. (2010) - Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre

- Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 41, n. 1, p. 29-35.
- Melo, I.G.C. (2012). *Densidades de semeadura de leguminosas na melhoria da qualidade do solo e na produtividade do milho*. Mossoró - RN, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 60 p.
- Schiavo, J.A.; Pereira, M.G.; Miranda, L.P.M.; Dias Neto, A.H. and Fontana, A. (2010) - Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, n. 3, p. 881-889.
- Silva, J.E.; Lemainski, J. and Resk, D.V.S. (1994) - Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do oeste baiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 18, n. 3, p. 541-547.
- Silva, P.C.G.; Foloni, J.S.S.; Fabris, L.B. and Tiritan, C.S. (2009) - Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 44, n. 11, p. 1504-1512.
- Spiegel, M.R.; Schiller, J.J. and Srinivasan, R.A. (2004) - *Probabilidade e estatística*. 2ª ed. Porto Alegre, Bookman, 398 p.
- Teodoro, R.B.; Oliveira, F.L.; Silva, D.M.N.; Fávoro, C. and Quaresma, M.A.L. (2011) - Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto do Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n. 2, p. 635-643.

Basculador cilíndrico para medidas volumétricas de escorrentía superficial

Cylindrical jogger for surface measures volumetric runoff

Ignacio Llanos Triviño

IFAPA, Centro Alameda del Obispo. Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales. Apdo. 3082. 14080 Córdoba, España.
E-mail: ignacio.llanos@juntadeandalucia.es

Recibido/Received: 2014.02.05
Aceitação/Accepted: 2014.06.24

RESUMEN

La escorrentía superficial provoca la erosión y pérdida de suelo fértil. Los trabajos dirigidos a su prevención y corrección son de gran interés tanto desde el punto de vista agrícola como medioambiental. Para su estudio se utilizan equipos medidores de caudal o aforadores, siendo los de tipo basculante los de uso más generalizado por su simple diseño y comportamiento fiable. Sin embargo, en situaciones concretas como presencia de viento fuerte o altas cadencias de basculación su comportamiento es impreciso. Además, por su diseño, la instalación en campo suele presentar dificultades. En este trabajo se describe un aforador que elimina estas limitaciones mediante la sustitución del sistema basculante por uno de tipo giratorio. Está formado por un cilindro horizontal dividido axialmente en dos semicilindros que se sitúan alternativamente mediante semigiros en posición receptora de la escorrentía. La basculación se produce cuando la escorrentía recogida alternativamente en cada uno de los semicilindros alcanza un volumen determinado. Este volumen se controla mediante un sensor de nivel y el giro se produce por medio de un motorreductor. El equipo trabaja a 12V con un bajo consumo y su diseño es escalable mediante la simple sustitución del cilindro receptor.

Palabras Clave: escorrentía, medidor caudal, medio ambiente, agricultura de regadío

ABSTRACT

The assessment of soil on slopes drag due to rain or irrigation is a fundamental activity in agricultural and environmental studies. For their study teams often use tilting cups. Its design is simple, reliable operation. However, they have some limitations such as loss of accuracy in situations of high runoff or wind and the difficulty of field installation. To cancel these drawbacks, in this work, the cups were replaced by a rotary horizontal cylinder axially divided into two half cylinders. The moment for the rotation is determined alternatively with a level control and it is activated by a gear motor. The equipment works under 12VDC with low energy consumption. The design is scalable by simply replacing the receiving cylinder.

Keywords: agricultural irrigation, environment, flow meter, runoff

Introducción

La escorrentía superficial es un proceso que se produce cuando el suelo, en situaciones de pendiente, es incapaz de infiltrar el agua de lluvia o riego y esta corre sobre la superficie arrastrando material sólido y causando lo que se denomina erosión. La erosión es causante de la pérdida de suelo fértil y del lavado de fertilizantes y productos agroquímicos, colmata cuencas y produce cárcavas que causan daños a veces irreversibles.

Para su control es necesario hacer estudios de valoración con el fin de poder actuar las medidas más

apropiadas en función de los resultados obtenidos. Estos trabajos se pueden hacer sobre parcelas experimentales o directamente en las zonas de evacuación natural. Los objetivos pueden ser de tipo cuantitativo o cualitativo. Los primeros se limitan a medir la escorrentía; los segundos, además, toman muestras para conocer y valorar los componentes arrastrados.

Los aforadores de tipo basculante son los equipos más utilizados para estos trabajos por su robustez y simplicidad de diseño. Un ejemplo de ellos es el desarrollado por Khan y Ong (1997), y funcionan mediante el llenado alternativo de dos envases o

cangilones solidarios a un eje de giro. Cuando en uno de ellos se almacena un volumen determinado de escorrentía se produce la basculación y su consiguiente vaciado, quedando el envase opuesto en posición de recarga. Mediante un sistema generador de pulsos se registra el número de basculaciones y, por deducción, el volumen total de escorrentía. Si los pulsos se recogen en tiempo real, se puede determinar la variación del flujo a lo largo de tiempo de control. La Figura 1 muestra un aforador de este tipo instalado en campo (Prieto, 2003).



Figura 1 – Equipo basculador de cangilones montado en campo.

Debajo del extremo de cada cazoleta se coloca un tope ajustable en altura para fijar el ángulo de vuelco que es el que determina el volumen necesario para producir la basculación. En la Figura 1, se puede ver en uno de los laterales de volcado un colector de muestras formado por un cilindro cerrado con una serie de perforaciones en la parte superior. De la parte inferior se deriva un conducto para la recogida de muestras. El volumen desviado para el muestreo se controla con el número y diámetro de las perforaciones (Khan y Ong, 1997).

Los aforadores basculantes de este tipo presentan algunos inconvenientes: (i) su diseño voluminoso obliga a realizar una excavación en el terreno para su instalación (Fig. 1); (ii) situaciones de viento fuerte afecta a la precisión de los controles al desviar el flujo con pérdidas de caudal y alteración de la recarga de los cangilones; (iii) si la velocidad de basculación es baja, el caudal de escorrentía es pequeño y el volumen de agua por vuelco es bastante estable, no siendo así para situaciones de vuelco rápidos (Barfield y Hirschi, 1986). A pesar de ello, en un episodio de control suficientemente largo, el error cometido en la medida no es importante (Khan y Ong, 1997; Zhao *et al.*, 2001); (iv) con altas velocidades de vuelco, el equipo se vuel-

ve inestable por producirse rebotes sobre los toques de ajuste. Estos rebotes se pueden reducir parcialmente con amortiguadores de absorción (Laguna, 1989).

Material y Metodos

Descripción

El aforador que describe este trabajo elimina las limitaciones anteriores mediante la sustitución de los cangilones por un cilindro horizontal, dividido axialmente en dos compartimentos semicilíndricos mediante una placa metálica. Su diseño es compacto y muy manejable al eliminar la bandeja colectora y el componente basculador. El principio de su funcionamiento es análogo a los de tipo basculante: los semicilindros se llenan alternativamente con la escorrentía produciéndose un giro de 180° cada vez que se alcanza en cada uno de ellos un volumen determinado. La escorrentía se vierte en el cilindro a través de un embocador. Cada semicilindro tiene dos orificios, uno de carga-descarga y otro por el que se desvía una fracción de la descarga para la posible recogida de muestras, bien de forma manual o automatizada (Llanos, 2008).

La Fig. 2 muestra sus componentes fundamentales: el cilindro, la placa divisoria y el embocador.

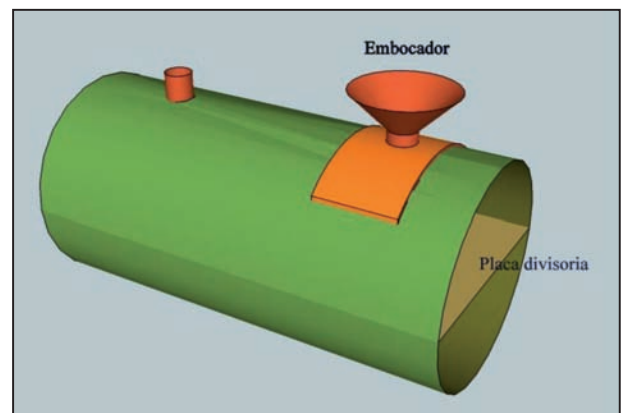


Figura 2 – Cilindro abierto con embocador y placa divisoria.

El cilindro se cierra por ambos lados con dos discos en los que se fijan los dos semiejes de giro. Un chasis soporta el conjunto embocador-cilindro y los elementos necesarios de control.

El embocador está formado por un cuerpo colector al que se conecta el conducto procedente de la zona de control y una placa antigoteo. La misión del embocador es, además de conducir la escorrentía hacia en

aforador, servir de envase transitorio de ésta durante la duración del semigiros del cilindro. Está fijado al chasis por medio de un soporte que permite el ajuste de la presión de contacto entre placa y cilindro con el fin de minimizar el rozamiento entre estos sin que se produzcan pérdidas de escorrentía (Fig. 3).

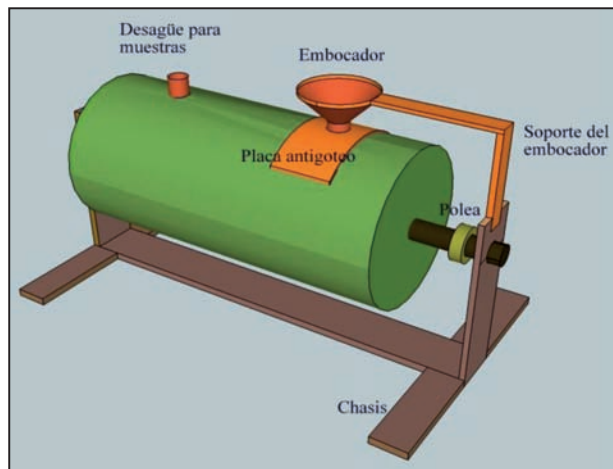


Figura 3 – Cilindro cerrado y componentes.

Componentes de activación y control

El mecanismo de giro está formado por el eje del cilindro y una polea dentada unida al eje de un motorreductor por medio de una correa de transmisión. La activación del motorreductor se produce cuando la escorrentía recogida en cada semicilindro alcanza un volumen determinado. Este volumen se fija por medio de una sonda de nivel con dos electrodos de ajuste (uno por semicilindro) y un electrodo común de masa unido a la placa divisoria. Los electrodos son varillas de acero inoxidable de 6 mm de diámetro aisladas en toda su longitud, dejando libres sus extremos para el control del nivel y la conexión de los cables de transmisión de señal. La fijación a los semicilindros permite su deslizamiento con el fin de poder ajustar el volumen de giro. Este ajuste se realiza variando la distancia entre el electrodo de nivel de cada semicilindro y la placa divisoria (Figura 4). En la Figura 4, H indica el ajuste de nivel. Variaciones de H implica variaciones del volumen necesario de escorrentía recogida para realizar el giro del cilindro.

Dos escobillas conectan la señal de los dos electrodos de nivel y masa con dos placas de cobre situadas en un disco soporte (Figura 5). Mediante este componente se permite el giro unidireccional simplificando el diseño del equipo.

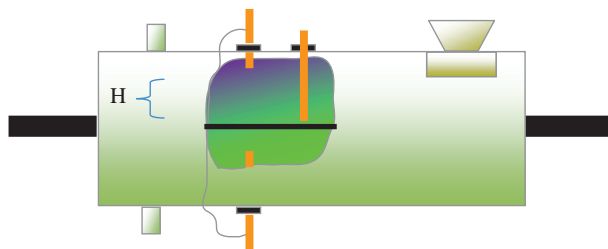


Figura 4 – Control del volumen de vuelco por nivel.

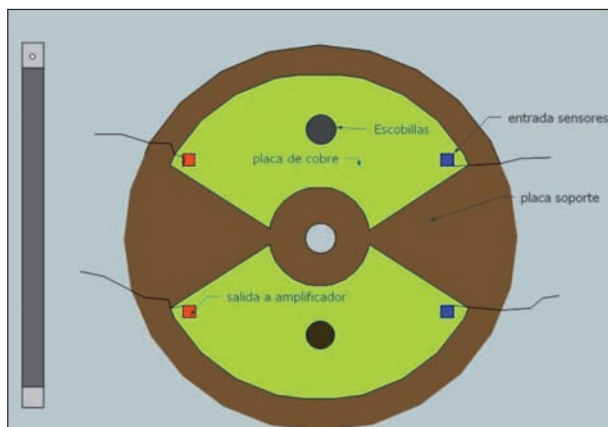


Figura 5 – Electrodo (izqda) y detalle del disco de distribución (dcha): verde, placas de cobre; marrón, disco soporte; azul, entrada de sensores; rojo, salidas al amplificador; negro, escobillas.

Funcionamiento

El cilindro realiza giros de 180° posicionando siempre al final de cada uno un semicilindro en la parte superior. El giro se inicia cuando el nivel de la escorrentía recogida en el semicilindro receptor contacta con el electrodo de nivel. La señal se transmite a un amplificador a través de las escobillas en contacto con las placas de cobre del disco de distribución (Fig. 6). Un relé auxiliar envía esta señal a la entrada correspondiente del controlador del sistema. El control del giro y por lo tanto, el posicionamiento del cilindro, se realiza mediante un doble detector de posición formado por un interruptor de proximidad fijo al chasis y dos imanes solidarios al cilindro colocados entre sí a 180°. El funcionamiento secuencial consiste en el control de dos señales de entrada (nivel y posicionamiento) y una señal de salida (activación del motorreductor). Su lógica operativa se recoge en la Tabla 1.

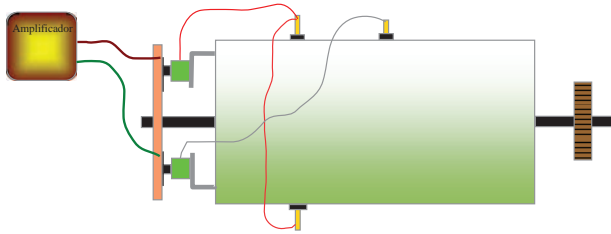


Figura 6 – Conexionado entre sensores de nivel y amplificador.

Tabla 1 – Secuencia operativa.

Interruptor de posicionamiento (I1)*	Electrodo de nivel (I2)*	Disco de distribución**	Salida al motorreductor (Q1)
1	0	1	0
1	1	1	1
0	0	indiferente	1
1	0	1	0

* I1 e I2 son las entradas del programador

** Situación 1 cuando las escobillas se posicionan sobre las dos placas de cobre

Esta lógica se hace operativa en el programador mediante la ecuación (1):

$$\begin{aligned}
 I1 \text{ AND } I2 &\text{ ----> SET Q1} \\
 I2 &\text{ ---->(DIFU 0.1s) ----> RESET Q1}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

siendo I1, la entrada de señal del amplificador del sensor de nivel; I2, la entrada del sensor de posición; Q1, la salida de activación del motorreductor. La función DIFU produce un disparo de salida de 0.1 s cuando la entrada I2 está activa. Entre la salida Q1 y el motorreductor se puede colocar un regulador de voltaje para ajustar la velocidad de giro del cilindro. La Fig. 7 muestra el conjunto de elementos y su conexionado.

Resultados y Discusión

Las Figuras 8 a 11, muestran detalles del equipo con sus componentes. Los ensayos se han realizado utilizando un cilindro de PVC de 90 mm de diámetro y 250 mm de longitud con un volumen máximo útil de almacenamiento por semicilindro de 800 mL y han tenido por objeto determinar la fiabilidad y estabilidad del funcionamiento de cada uno de los componentes y los resultados globales de comportamiento del medidor. Se han comparado los volúmenes necesarios para el volcado de forma estática y dinámica. Una vez fijados los electrodos de nivel, se midieron los volúmenes necesarios de agua para activar el giro de cada semicilindro mediante carga directa con probeta (control estático). Para los ensayos dinámicos se aportó agua de forma continua utilizando un circuito hidráulico cerrado formado por un depósito, una minibomba, un conducto de descarga y una llave de paso para el ajuste del caudal de los ensayos. Las Figuras 12 y 13 muestran el diseño del equipo de ensayo y una vista general del mismo.

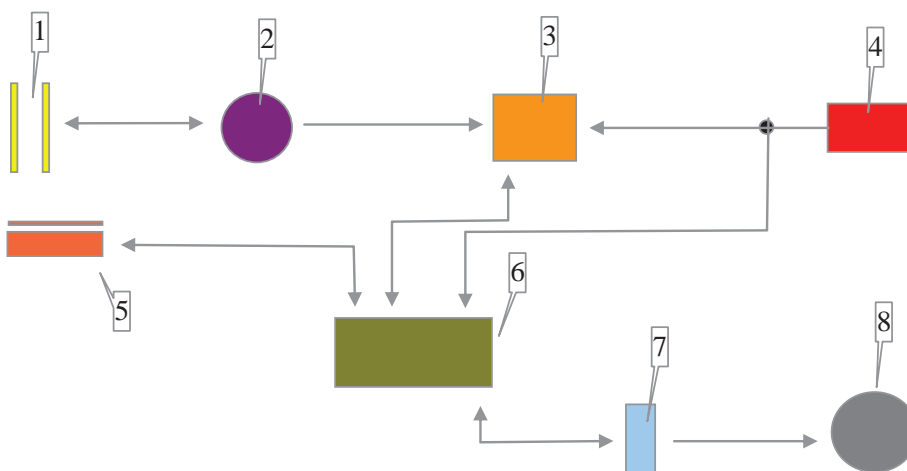


Figura 7 – Diagrama operativo. 1: sensor de nivel; 2: disco distribuidor; 3: amplificador de señal; 4: batería; 5: posicionador; 6.- programador; 7: regulador; 8: motorreductor.



Figura 8 – Vista general.



Figura 9 – Disco distribuidor.



Figura 10 – Mecanismo motor.



Figura 11 – Colector con placa antigoteo.

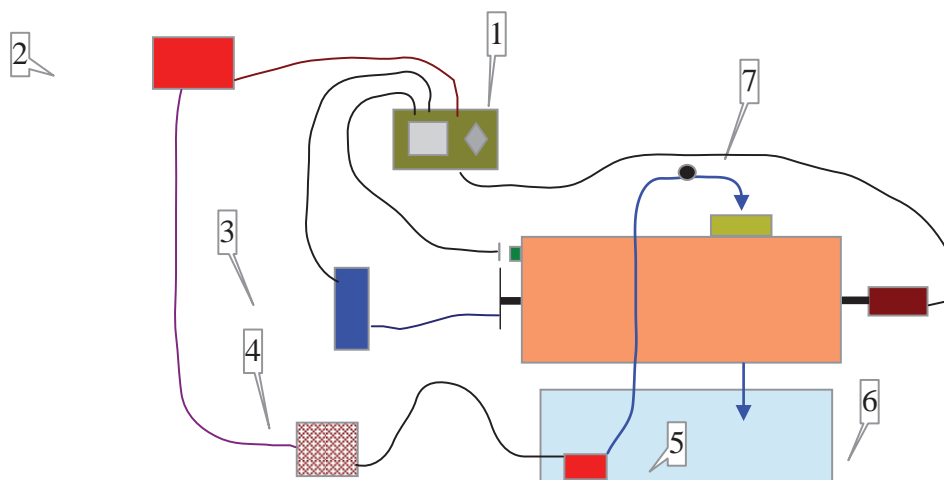


Figura 12 – Componentes del equipo de prueba. 1: programador; 2: alimentación; 3: amplificador; 4: regulador; 5: minibomba; 6: depósito; 7: llave de paso.

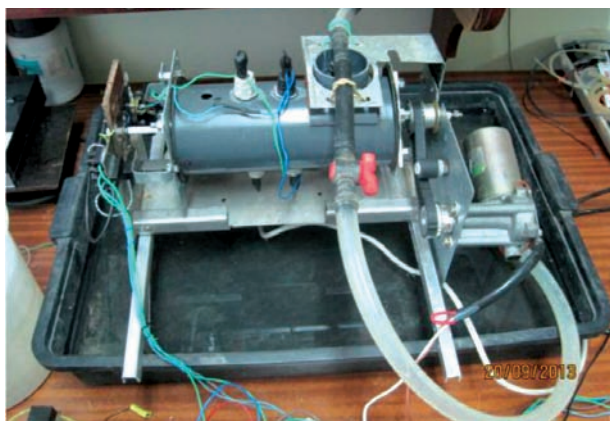


Figura 13 – Vista general de montaje para los ensayos.

Para el ensayo dinámico, se han utilizado siete caudales diferentes comprendidos entre 11,58 y 35,3 mL/s. Los volúmenes de basculación se han determinado multiplicando el caudal utilizado en cada ensayo por el tiempo transcurrido entre el inicio de dos semigiros consecutivos. Los electrodos de nivel se han mantenido en todos los ensayos en la misma posición.

Los resultados se muestran en la Tabla 2. Los volúmenes de referencia medidos en los semicilindros fueron de 325 y 320 mL. La diferencia de volúmenes se debe al distinto ajuste de los electrodos de nivel en cada semicilindro. Los volúmenes de volcado en los ensayos dinámicos han sido de 339 mL y 312,3 mL con una diferencia con el calibrado estático para el cilindro completo de 26,30 mL (4,20%).

Las diferencias se deben al caudal no controlado durante el tiempo que transcurre entre el inicio de cada semigiro y el momento en el que el orificio de recarga del semicilindro deja de estar enfrentado con el del embocador (0,37 s para una velocidad de giro de 16,8 rpm y un diámetro de la boca de recarga de 30 mm). Si se considera este tiempo como neutro (a restar de los tiempos controlados), la diferencia entre volúmenes se reduce a 9 mL (1,16%).

El calibrado muestra una relación ($R^2 = 0,997$ para un giro completo) entre los tiempos de carga para el volcado y los caudales de ensayo según $T = 669,92 * Q^{-1,008}$. El volumen de escorrentía de un episodio de control se calcula mediante la ec. (2),

$$V_E = (V_{c1} + V_{c2}) * K * N / 2 \quad (2)$$

siendo V_E el volumen total de escorrentía; V_{c1} y V_{c2} los volúmenes de basculación de cada semicilindro que depende del ajuste de los electrodos de nivel; K (1,04 para el prototipo), es la relación entre los volúmenes de vuelco dinámicos y el estáticos, que depende de la velocidad de giro y de la relación entre los diámetros del cilindro y del orificio del embocador; N , es el número de vuelcos.

Conclusiones

El equipo ha funcionado correctamente en todos sus componentes y aspectos del diseño. Se ha detectado pequeñas fugas entre la placa antigoteo y el

Tabla 2 – Resultados de los ensayos.

Ensayos	Caudal del ensayo (mL/s)	Tiempos de carga (s)			Volumen de basculación (mL)		
		Semi-cilindro 1	Semi-cilindro 2	Cilindro completo	Semi-cilindro 1	Semi-cilindro 2	Cilindro completo
1	11,58	29,77	27,77	57,34	342,42	321,58	664,00
2	15,44	21,45	19,52	40,97	331,22	301,45	632,67
3	18,52	18,17	16,70	34,87	336,51	309,28	645,79
4	21,50	15,49	14,50	29,99	333,04	311,75	644,79
5	27,93	12,31	11,26	23,57	343,82	314,49	658,31
6	33,00	10,18	9,41	19,59	335,94	310,53	646,47
7	35,31	9,91	8,98	18,89	349,96	317,08	667,04
Volumen medio dinámico de basculación					338,99	312,31	651,30
Volumen estático de basculación					325,00	300,00	625,00
Diferencias entre volúmenes dinámicos y estáticos de basculación (%)					4,30	4,10	4,20

cilindro en el momento del giro. Los controles efectuados han proporcionado datos fiables con errores despreciables. Para el trabajo se han utilizado componentes modulares con el fin de facilitar los ajustes y el control de los ensayos. Estos componentes pueden integrarse fácilmente en una tarjeta electrónica de control. El equipo es escalable mediante la utilización de cilindros de distintas dimensiones para su utilización en un amplio rango de aplicaciones.

Agradecimientos

Al personal de campo y laboratorio del equipo de física y química de suelos del Centro IFAPA Alameda del Obispo por su colaboración en los ensayos y al proyecto RTA 2010-00026-C02-01 financiado por INIA en el marco del "Subprograma Nacional de Recursos y Tecnologías Agrarias en Cooperación con las Comunidades Autónomas" enmarcado en el Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) y cofinanciado por la Unión Europea a través de los Fondos FEDER.

Referencias bibliográficas

- Barfield B.J. y Hirschi, M.C. (1986) - Tipping bucket flow measurements on erosion plots. *Trans. ASAE*, vol. 29, n. 6, p. 1600-1604.
- Khan, A.H.Y.C. y Ong, C.K. (1997) - Design and calibration of tipping bucket system for field runoff and sediment quantification. *J. Soil Water Conserv.*, vol. 52, n. 6, p. 437-439.
- Laguna, A. (1989) - Análisis cuantitativo de la erosión del suelo. Tesis doctoral. Dpto. Agronomía. Universidad de Córdoba. España
- Llanos, I. (2008) - Un equipo para medidas de desagüe y muestreo de escorrentía en parcelas experimentales. *Revista Ingeniería del Agua*, vol. 15, n. 3, p. 137-146.
- Prieto, C. (2003) - *Diseño, construcción e instalación de un aforador de caudal para parcelas experimentales de lluvia, escorrentía y erosión*. Trabajo profesional fin de carrera. Córdoba, España, ETSIAM.
- Zhao, S.L.; Dorsey, E.C.; Gupta, S.C.; Moncrief, J.F. y Huggins, D.R. (2001) - Automated water sampling and flow measuring devices for runoff and subsurface drainage. *J. Soil Water Conserv.*, vol. 56, n. 4, p. 299-306.