



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS
NATURALES**

Informe del proyecto técnico para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES

**CÁLCULO DE LA DOSIS ADECUADA DE NITRÓGENO EN *Brachiaria
decumbens* PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS**

Autora

MARÍA LILIBETH VERA VÉLEZ

Director

ING. RODRIGO ALBERTO SAQUICELA ROJAS, MSc.

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Septiembre – 2017

CÁLCULO DE LA DOSIS ADECUADA DE NITRÓGENO EN *Brachiaria decumbens* PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Ing. Rodrigo Alberto Saquicela Rojas, *MSc.* _____
DIRECTOR

APROBADO

Ing. Miriam Natividad Recalde Quiroz, *MSc.* _____
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Luis Wilfrido Gusqui Vilema, *MSc.* _____
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Judit García Gonzalez, *MSc.* _____
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo, de de 2017

Autor: **MARÍA LILIBETH VERA VÉLEZ**

Institución: **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

Título: **CÁLCULO DE LA DOSIS ADECUADA DE
NITRÓGENO EN *Brachiaria decumbens* PARA
DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS**

Fecha: **SEPTIEMBRE, 2017**

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad de la autora y no ha sido plagiado.



María Lilibeth Vera Vélez

C.I. 2300421282

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

INFORME DEL DIRECTOR

Santo Domingo, 21 de septiembre de 2017

Señora Ingeniera
Miriam Natividad Recalde Quiroz, *MSc.*
**COORDINADORA DE LA CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL Y
MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

Presente.

Señora Coordinadora.-

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo escrito de titulación realizado por la señorita: *MARÍA LILIBETH VERA VÉLEZ*, cuyo título es: *“CÁLCULO DE LA DOSIS ADECUADA DE NITRÓGENO EN *Brachiaria decumbens* PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS”*, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, *el mismo que no ha sido plagiado*, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente.



Ing. Rodrigo Saquicela.
**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios el ser supremo que dirige nuestras vidas y guía mis pasos.

A mis padres Bernabel Vera y Normita Vélez, a mis familiares y amigos que de una u otra manera contribuyeron y fueron apoyo fundamental en el desarrollo de esta tesis, para culminar con una escala más de mis metas propuestas.

Lilibeth Vera

Agradecimiento

En primer lugar agradezco a Dios, el ser maravilloso que ha guiado el destino de mi vida, quién es mi motor y fortaleza en todo momento.

A mis padres Normita y Bernabel, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su amor, sus consejos y apoyo incondicional; que no me alcanzaría la vida para agradecerles todo lo que hacen por mí. Todo esto es posible gracias a ustedes.

A mi abuelita Rosa, por ser el ángel que eternamente cuida de mí, te amaré por siempre.

A mi director de tesis Ing. Rodrigo Saquicela, por su apoyo, dedicación y paciencia, quién con sus conocimientos y su experiencia, ha logrado que pueda culminar mi trabajo de titulación.

A mis amigos y familiares, por estar a mi lado en buenos y malos momentos, que de una u otra manera aportaron en este proyecto brindándome su apoyo.

Lilibeth Vera

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

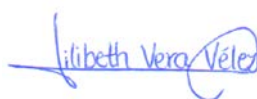
DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	2300421282
APELLIDO Y NOMBRES:	Vera Vélez María Lilibeth
DIRECCIÓN:	Coop. Juan Eulogio Paz y Miño Sector 3
EMAIL:	lilibethverav7@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	3760861
TELÉFONO MÓVIL:	0960094454

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Cálculo de la dosis adecuada de nitrógeno en <i>Brachiaria decumbens</i> para disminuir la contaminación de aguas subterráneas
AUTOR O AUTORES:	Vera Vélez María Lilibeth
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Septiembre, 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Rodrigo Alberto Saquicela Rojas
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN: Máximo 250 palabras	La dosificación práctica de nitrógeno en las pasturas ayuda al uso amigable con el ambiente. El objetivo fue probar las parcelas de omisión para calcular dosis de nitrógeno en pastizales y disminuir la contaminación de aguas subterráneas con nitratos. En 2017 se seleccionaron dos parcelas de 25 m ² en un pastizal establecido de <i>Brachiaria decumbens</i> . Una parcela fue aplicada las dosis de nitrógeno y otra no. En cada parcela se

	<p>instalaron tres sondas de lixiviación a 1 m de profundidad, se midió la producción de pasto en 1 m², el contenido de nitratos en los lixiviados y el contenido de nitrógeno del pasto. Las mediciones se hicieron por tres periodos de descanso del pastizal. El contenido de nitratos de los lixiviados se mantuvo debajo del nivel crítico sugerido de 6 mg kg⁻¹, observándose variaciones significativas ($P < 0,0001$) después de aplicar nitrógeno. La producción de la materia húmeda del pastizal se incrementó ($P = 0,0023$) con la dosis de nitrógeno (178,26 kg ha⁻¹) y se acercó cada vez a la meta de rendimiento, también disminuyó ($P = 0,006$) la dosis de nitrógeno (164,05 kg ha⁻¹). El contenido de nitrógeno (0,69 % a 1,69 %) de la parte aérea se mantuvo estable ($P = 0,0019$), se aplique o no el nitrógeno. Se concluye que el método de las parcelas de omisión para calcular la dosis de nitrógeno en <i>Brachiaria decumbens</i> es viable para su aplicación práctica y los lixiviados no se estarían contaminando con nitratos.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Parcelas de omisión, lixiviados, nitratos, <i>Brachiaria decumbens</i>, producción, nitrógeno en la planta.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The practical dosage of nitrogen in the pastures helps to the use environmentally friendly. The objective was to test omission plots to estimate nitrogen rates in grassland and to reduce groundwater contamination with nitrates. In 2017 two plots of 25 m² were selected in an established pasture of <i>Brachiaria decumbens</i>. The dose of nitrogen was applied in only one plot. In each plot three leach probes were installed at 1 m depth, grass production was measured in 1 m², the nitrate content in the leachates and the nitrogen content. Measurements were</p>

	<p>made for three periods of rest in the pasture. The nitrate content of the leachates remained below the suggested critical level of 6 mg kg⁻¹, with significant variations (P < 0.0001) observed after nitrogen application. The production of wet grassland matter increased (P = 0.0023) with the nitrogen dose (178.26 kg ha⁻¹) and came closer to the yield goal, also decreased (P = 0.006) the dose of nitrogen (164.05 kg ha⁻¹). The nitrogen content (0.69 % to 1.69 %) of the aerial part remained stable (P = 0.0019), whether or not the nitrogen was applied. It is concluded that the method of omission plots to calculate the dose of nitrogen in <i>Brachiaria decumbens</i> is viable for practical application and the leachates would not be contaminated with nitrates.</p>
<p>KEYWORDS</p>	<p>Plots of omission, leachates, nitrates, <i>Brachiaria decumbens</i>, production, nitrogen in the plant.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



VERA VÉLEZ MARÍA LILIBETH
C.I. 2300421282

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **VERA VÉLEZ MARÍA LILIBETH**, CI 2300421282 autora del proyecto titulado: **Cálculo de la dosis adecuada de nitrógeno en *Brachiaria decumbens* para disminuir la contaminación de aguas subterráneas** previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 29 de septiembre de 2017



VERA VÉLEZ MARÍA LILIBETH
C.I. 2300421282

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
Portada.....	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal.....	II
Responsabilidad del autor.....	III
Aprobación del director.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Formulario de biblioteca.....	VII
Declaración y autorización.....	X
Índice de contenido.....	XI
Índice de tablas.....	XII
Índice de figuras.....	XIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO REFERENCIAL.....	3
III. METODOLOGÍA.....	4
3.1. Localización.....	4
3.2. Diseño de la tecnología.....	4
3.3. Pruebas técnicas.....	7
3.4. Análisis económico.....	10
3.5. Manual del usuario.....	12
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	18
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
REFERENCIAS.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

1	Características físicas, químicas y promedios \pm error estándar de las capas del suelo cultivado con <i>Brachiaria decumbens</i> , de 5 años de edad en Santo Domingo, Ecuador.....	5
2	Tiempo de descanso y dosis de N aplicado en el pastizal de <i>Brachiaria decumbens</i> con la metodología de las parcelas de omisión, Santo Domingo, Ecuador.....	6
3	Costos para ejecutar la metodología de las parcelas de omisión para calcular la dosis de nitrógeno en un pastizal establecido de <i>Brachiaria decumbens</i> , Santo Domingo, Ecuador.....	11

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Croquis de la instalación de las parcelas de omisión y de las sondas de lixiviados en un pastizal de <i>Brachiaria decumbens</i> de 5 años de establecido, en Santo Domingo, Ecuador.....	8
2	Croquis de las parcelas de omisión y de la instalación de las sondas de liviviados en el pasto <i>Brachiaria decumbens</i> de 5 años de establecido, en Santo Domingo, Ecuador.....	9
3	Diseño e instalación de la sonda para recolectar los lixiviados del cultivo de pasto <i>Brachiaria decumbens</i> de 5 años de establecido, Santo Domingo, Ecuador.....	10
4	Concentración de nitratos \pm error estándar según el tiempo y por efecto de la dosis de nitrógeno (N), calculadas con las parcelas de omisión, en los lixiviados del suelo recolectados con sonda, a 1 m de profundidad efectiva en el cultivo de pasto <i>Brachiaria decumbens</i> , Santo Domingo, Ecuador.....	18
5	Rendimiento \pm error estándar de materia húmeda del pasto <i>Brachiaria decumbens</i> según el tiempo de muestreo y la dosis de nitrógeno (N), calculadas con las parcelas de omisión, en Santo Domingo, Ecuador.....	20
6	Contenido de nitrógeno (N) de la parte aérea \pm error estándar en base seca del pasto <i>Brachiaria decumbens</i> según el tiempo de muestreo y la dosis de nitrogeno, calculadas con las parcelas de omisión, en Santo Domingo, Ecuador.....	22

I. INTRODUCCIÓN

El 8,4 % del territorio de Ecuador está destinado a los pastos y el 5,6 % de dicha superficie está cultivada con pasto *Brachiaria decumbens* (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, ESPAC, 2014).

Como todo cultivo los pastos también necesitan de nutrientes para la producción (Bernal y Espinosa, 2003). El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes más requeridos por los cultivos debido a que forma la materia seca, componente principal para el crecimiento y producción vegetal (Heldt et al., 2011).

Se observa que el N debe ser manejado adecuadamente para evitar problemas de contaminación ambiental por lixiviación hacia la capa freática y pérdidas por fijación en el suelo (Navajas, 2011), consecuentemente se estaría evitando gastos innecesarios en la economía del agricultor.

La dosis de N para los cultivos se calcula con base en el análisis de suelo, la absorción de nutrientes y el análisis foliar (Bertsch, 1998), sin dejar de lado aspectos influyentes como condiciones climáticas, variedades de pastos, aplicación y tipo de fertilizantes (Navajas, 2011). También se han desarrollado métodos de cálculos de la dosis de N con base en la producción del cultivo, como las parcelas de omisión (Dobermann y Fairhurst, 2000).

El cálculo de la dosis de N con el método de las parcelas de omisión consiste en medir la producción de pasto para llegar a una meta de rendimiento en función de la eficiencia agronómica, que es el incremento de materia verde por cada unidad adicional de N que se aplica al cultivo (Bruuselma et al., 2013; Dobermann y Fairhurst, 2000).

Teniendo en cuenta estos aspectos se pretende poner en práctica el uso de una metodología capaz de determinar la dosis óptima de N en suelos cultivados con *Brachiaria decumbens*, y así contribuir al manejo adecuado del N minimizando la lixiviación de nitratos sin comprometer el rendimiento del cultivo, ni generando alteraciones a otros sistemas.

Se aplicará el principio de que las plantas toman el N que necesitan y el exceso del mismo se lixivia o se pierde de alguna forma. Así, se conocerá el efecto del N en la producción del cultivo de *Brachiaria decumbens*.

Se pondrá en evidencia la aplicación de la metodología de las parcelas de omisión para calcular la dosis adecuada de N en el cultivo de pastos. Esta metodología es usada para el cálculo de la dosis de N en maíz y arroz (Fairhurst y Witt, 2002).

El objetivo de este trabajo fue demostrar el uso de una herramienta factible para el cálculo de la dosis de N en el pasto *Brachiaria decumbens* y disminuir los nitratos lixiviados hacia la capa freática. Los objetivos específicos fueron:

- Calcular la dosis de N por medio del método de las parcelas de omisión.
- Medir la producción de la materia verde del pasto *Brachiaria decumbens* durante la época lluviosa por tres cortes.
- Medir el N foliar después de cada corte.
- Analizar el contenido de nitratos que se lixivian en el suelo.

II. MARCO REFERENCIAL

El N es el elemento más dinámico en el suelo porque tiene procesos de nitrificación, desnitrificación, volatilización, fijación y lixiviación (Navarro y Navarro, 2003). De aquellos, la lixiviación causa problemas de contaminación a las aguas subterráneas cuando la planta no puede metabolizar el exceso de N en el suelo (Reyes et al., 2002). Sin embargo, la lixiviación también depende de la textura del suelo y la intensidad de las lluvias (Mengel y Kirkby, 2000).

El exceso de nutrientes en la agricultura contamina el ambiente. El uso de cantidades excesivas de fertilizantes para incrementar las ganancias y el rendimiento de las cosechas ha llevado a la contaminación de aguas subterráneas y superficiales por nitratos (Castro-Rodríguez et al., 2016). Los fertilizantes nitrogenados usados en la agricultura se lixivian en forma de nitratos y contaminan los mantos freáticos, agua que es consumida para las actividades humanas (Martínez, et al., 2011; Sapiña, 2011).

Villafuerte (2016) estudió las características físicas de suelos; en Santo Domingo, Ecuador; de bosque nativo y con cultivos de pasto, teca y cacao; encontró que los suelos tienen alta conductividad hidráulica, condición que puede provocar la lixiviación de nutrientes y contaminación del agua subterránea.

La cantidad de nitratos de las aguas de uso humano están regidas por normativas. Según el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2000 de Panamá recomienda que el límite permisible de nitratos en aguas subterráneas es de 6 mg L^{-1} (Ministerio de Comercio e Industrias, 2000). La Norma Oficial Mexicana NOM-000-SSA1-2010 y la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua del Ecuador, indican que el límite es de 10 mg L^{-1} (Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, 2010; Ministerio del Ambiente, 2002). La Norma técnica para la calidad del agua potable de Honduras sugiere un límite de 50 mg L^{-1} (Ministerio de Salud, 1995).

III. METODOLOGÍA

3.1. Localización

Esta tecnología se implementó en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, en la granja experimental El Oasis, propiedad de la Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo. El lugar se localiza a 0°13,29' de latitud sur, 79° 15,83' de longitud oeste y a 416 m de altitud sobre el nivel del mar. La zona de vida es clasificado como Bosque Trópico Húmedo (Jiménez, 1980). El suelo de esta localidad se clasifica como Andisoles por su formación sobre depósitos de ceniza volcánica.

El suelo cultivado con el pasto *Brachiaria decumbens* presentó en promedio las siguientes características: pH, ligeramente ácido; materia orgánica, alto; Ca, medio; Mg, bajo; K, medio; N amoniacal, medio; P, bajo; S, medio; Zn, bajo; Cu, alto; Fe, alto; Mn, bajo; B, medio; con textura Franco-Arenoso (Tabla 1). El análisis de suelo se hizo con el método Olsen modificado al inicio de la investigación.

El contenido foliar de nutrientes en base seca del pasto *Brachiaria decumbens* cosechado al inicio de la investigación fueron los siguientes: N, 2,9 %; P, 0,2 %; K, 2,22 %; Ca, 0,58; Mg, 0,2; S, 0,16; Zn, 27 mg kg⁻¹; Cu, 6 mg kg⁻¹; Fe, 108 mg kg⁻¹; Mn, 48 mg kg⁻¹; B, 28 mg kg⁻¹.

3.2. Diseño de la tecnología

Se utilizó el pasto establecido de *Brachiaria decumbens* para calcular la dosis adecuada de N por medio del método de parcelas de omisión durante la época lluviosa del 2017. Se delimitó 2 parcelas de 25 m² en un potrero de 3 058,1 m². Cada parcela se dividió en 3 subparcelas de 1 m² para los muestreos. La primera dosis de N se calculó con la siguiente ecuación (Legarda, 2015):

$$Dosis N = \frac{Meta\ de\ rendimiento - Producción\ sin\ rendimiento}{Eficiencia\ Agronómica}$$

Tabla 1. Características físicas, químicas y promedios \pm error estándar de las capas del suelo cultivado con *Brachiaria decumbens*, de 5 años de edad en Santo Domingo, Ecuador

a) Contenido de macronutrientes, acidez y materia orgánica del suelo

Capa (cm)	pH ^a	MO ^b (%)	Macronutrientes bases (cmol(+) kg ⁻¹)			Macronutrientes (mg kg ⁻¹)		
			Ca	Mg	K	NH ₄	P	S
0 - 10	6,3	7,0	8	1,4	0,48	50	8	15
10 - 20	6,0	3,3	6	1,0	0,17	28	7	10
Promedio	6,15 \pm 0,15	5,15 \pm 1,85	7 \pm 1,0	1,20 \pm 0,20	0,33 \pm 0,16	39 \pm 11	7,50 \pm 0,50	12,50 \pm 2,50

^a Potencial de hidrógeno medido en agua. ^b Materia orgánica.

b) Contenido de micronutrientes y textura del suelo

Capa (cm)	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)					Textura (%)			Clase textural
	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Arena	Limo	Arcilla	
0 - 10	2,5	6,2	109	6,1	0,26	45	50	5	Franco-Limoso
10 - 20	1,4	7,6	98	4,0	0,22	63	32	5	Franco-Arenoso
Promedio	1,95 \pm 0,55	6,9 \pm 0,70	103,5 \pm 5,5	5,05 \pm 1,05	0,24 \pm 0,02	54 \pm 9	41 \pm 9	5 \pm 0	Franco-arenoso

Según Legarda (2015) la eficiencia agronómica del pasto *Brachiaria decumbens* fue de 105 [kg de materia verde] [kg N]⁻¹ para obtener una meta de rendimiento de 28 311 [kg materia verde] [ha]⁻¹. Con base en esos resultados se ajustó la dosis de N en cada corte. La aplicación del fertilizante se hizo al voleo. Se usó la urea (46 % N) como fuente de N para la fertilización.

Las siguientes dosis (segunda y tercera) se calcularon con la siguiente ecuación (Legarda, 2015):

$$Dosis\ N = \frac{Meta\ de\ rendimiento - Producción\ anterior\ con\ N}{Eficiencia\ Agronómica}$$

La producción anterior con N es la producción de materia húmeda de pasto por efecto de la aplicación de N del corte anterior. Se modificó la fórmula porque la producción de materia húmeda aumentó entre cortes y cada vez se acercaba a la meta de producción, reemplazando la producción sin N por la producción anterior sin N.

Esta tecnología sirve para calcular la dosis de nitrógeno en la fertilización del pasto, la vida útil de la tecnología será permanente debido a que el pasto es un cultivo perenne. El producto a obtenerse fue la dosis de N adecuada para el cultivo de pasto según el rendimiento.

El N se aplicó al inicio y final del periodo de descanso del pasto. El periodo de descanso fue entre 23 d y 57 d, y se evaluaron por tres veces. El N se aplicó cuando el pasto estuvo listo para ser consumido. El periodo de descanso dependió del ingreso del ganado al pastizal (Tabla 2).

Tabla 2. Tiempo de descanso y dosis de N aplicado en el pastizal de *Brachiaria decumbens* con la metodología de las parcelas de omisión, Santo Domingo, Ecuador

Fecha de corte	Tiempo de descanso (d)	Dosis de N (kg ha ⁻¹)
14 - marzo - 2017	0	217,39
10 - mayo - 2017	57	178
18 - junio - 2017	39	164,04
11 - julio - 2017	23	

3.3. Pruebas técnicas

Producción de materia verde ($t\ ha^{-1}$). Se midió la producción de materia verde del pasto en tres pseudoréplicas de $1\ m^2$ cortando una vez terminado el tiempo de descanso del pastizal (Tabla 2, Fig. 1 y 2), usando un cuadrante de la misma dimensión. La altura del corte se hizo a 20 cm de altura desde la superficie del suelo. Los valores obtenidos de producción se compararon con la meta de rendimiento del pasto.

Nitratos en el lixiviado ($mg\ L^{-1}$). Se evaluó el nitrato del suelo contenido en el lixiviado. La recolección del lixiviado se hizo por medio de una sonda de lixiviación a 1 m de profundidad. La sonda consistió en un tubo de cloruro de polivinilo de 2 plg de diámetro con perforaciones desde los 20 cm de hasta los 100 cm de profundidad. La sonda tuvo un recipiente colector al fondo y dentro del tubo conectado a una manguera para facilitar la extracción del lixiviado. El tubo fue tapado en la parte superior. La sonda se instaló de forma vertical (Guardián, 2010) (Fig. 3). El muestreo se realizó cada 14 d desde que se aplicó la primera dosis de N. El contenido de nitratos del lixiviado del suelo se midió por el método del sulfato de brucina.

Nitrógeno foliar (%). Una vez cosechada la producción de materia verde del pasto, que incluía hojas y tallos, se eligió una muestra al azar entre 300 g y 320 g de cada una de las subparcelas de $1\ m^2$. La muestra se secó a $70^\circ\ C$ en la estufa hasta obtener el peso constante. Se analizó el N foliar de las muestras con el método de digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico relación 2:1 y se determinó por el método Kjeldhal (Román, 2013; McKean, 1993).

Análisis estadístico. El nitrato del lixiviado, producción de materia húmeda, N de la planta y dosis de N se analizaron por medio de la prueba de hipótesis de varias poblaciones y se modelaron con el modelo lineal general y mixto asumiendo la distribución normal (Gbur et al., 2012). Las comparaciones de medias con las de otros autores se hicieron por medio de la prueba de hipótesis de una población, asumiendo una distribución t de *Student*. El análisis funcional se hizo con la prueba DGC (di Renzo et al., 2002). Se utilizó el programa InfoStat 2017 para realizar los cálculos (di Renzo et al., 2017). Se utilizó $\alpha = 0,05$.

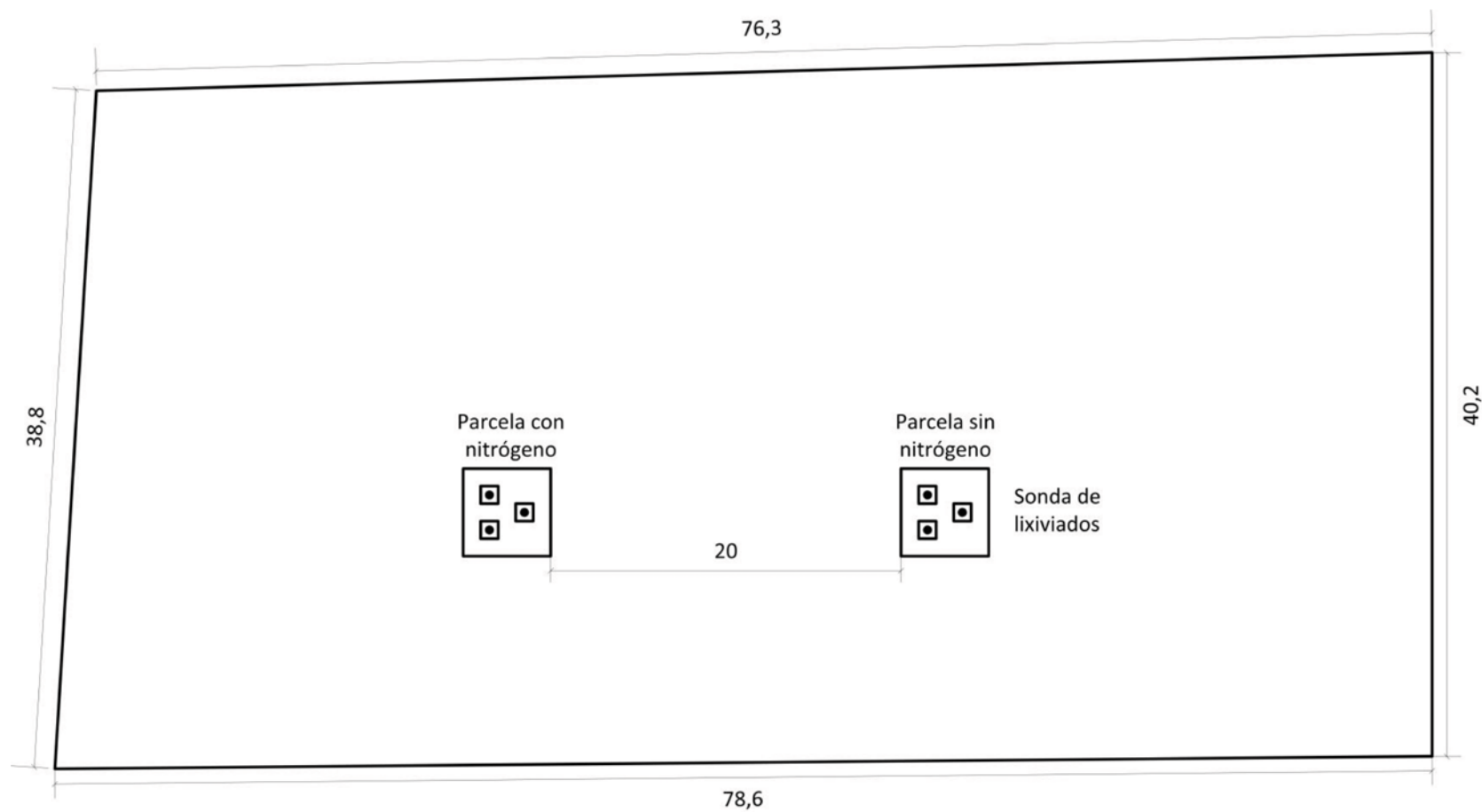


Fig. 1. Ubicación de las parcelas de evaluación de lixiviados en un pastizal de *Brachiaria decumbens* de 5 años de establecido, en Santo Domingo, Ecuador, 2017. Las distancias se indican en metros. El croquis no está a escala conocida.

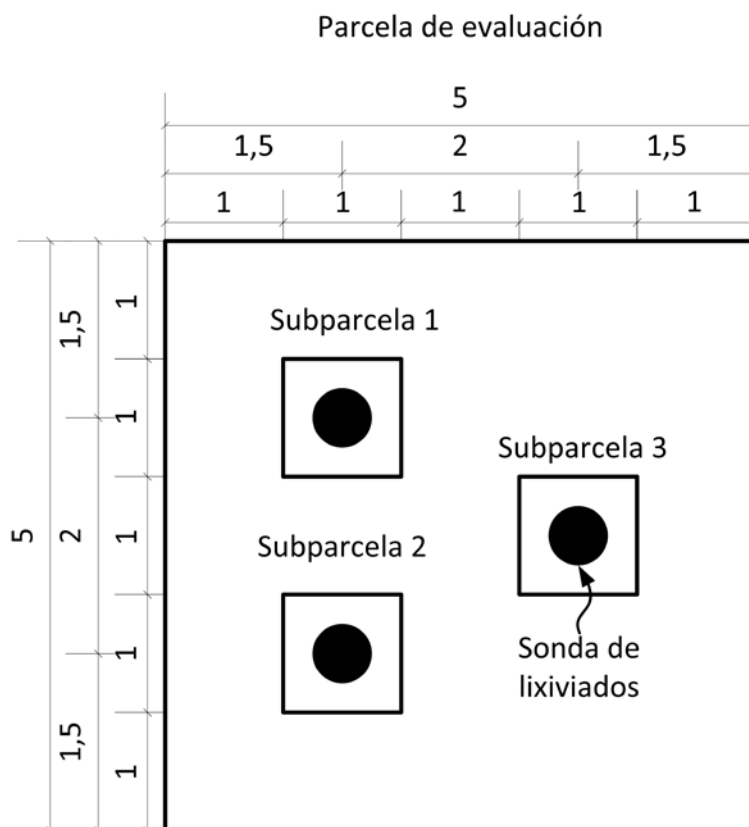


Fig. 2. Croquis de las parcelas de omisión y de la instalación de las sondas de lixiviados en el pasto *Brachiaria decumbens* de 5 años de establecido, en Santo Domingo, Ecuador, 2017. Las distancias se indican en metros. El croquis no está a escala conocida.

- a) Vista de la sonda de extracción de lixiviado instalada en el terreno b) Vista de los componentes de la sonda de extracción de lixiviados.

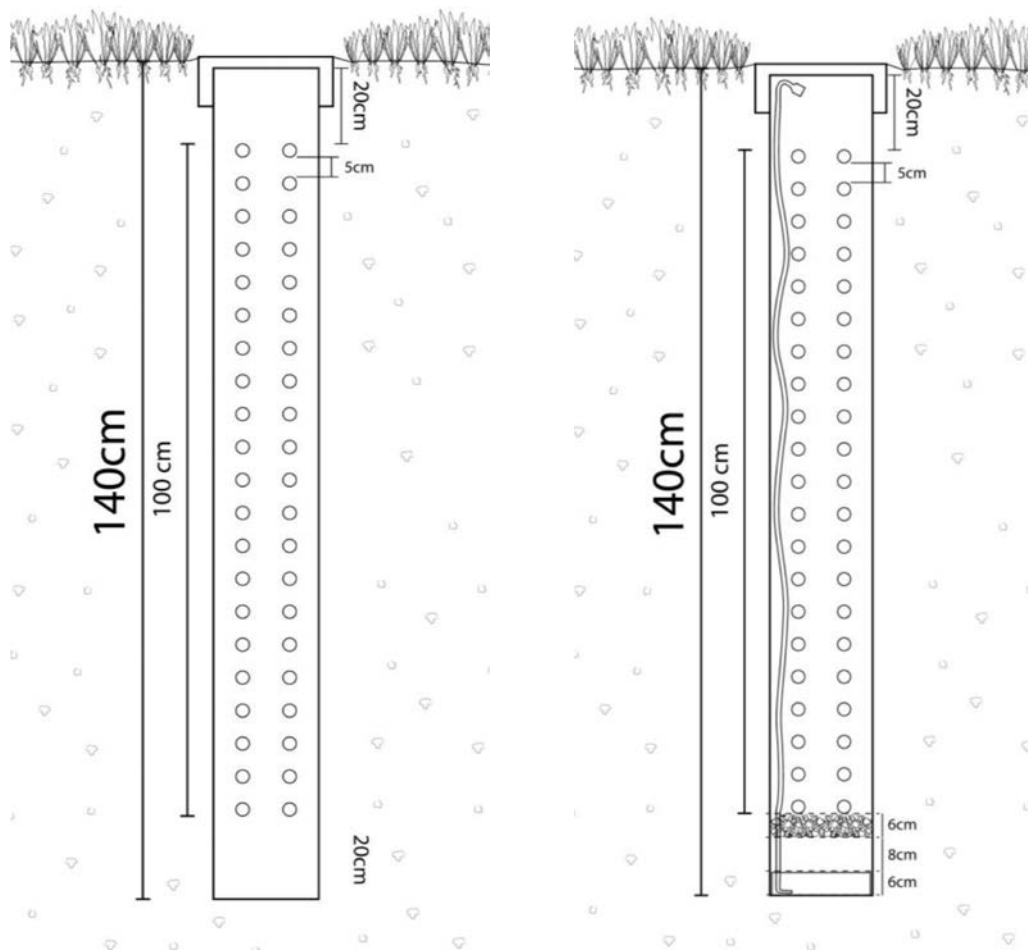


Fig. 3. Diseño e instalación de la sonda para recolectar los lixiviados del cultivo de pasto *Brachiaria decumbens* de 5 años de establecido, Santo Domingo, Ecuador, 2017.

3.4. Análisis económico

El costo de implementar la metodología de las parcelas de omisión (Tabla 3) en las condiciones dadas para Santo Domingo es de \$ 385,04 durante 5 meses de evaluación.

Tabla 3. Costos para ejecutar la metodología de las parcelas de omisión para calcular la dosis de nitrógeno en un pastizal establecido de *Brachiaria decumbens*, Santo Domingo, Ecuador, 2017

Materiales por 5 meses	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Sonda de nitratos			
Tubos de 3 m	3	2,70	8,10
Tapones	6	0,60	3,60
Filtro de piedras	6	0,20	1,20
Pegamento	1	2,85	2,85
Manguera plástica*	6	0,55	3,30
Recolector de agua	6	0,25	1,50
Parcelas			
Estacas	8	0,50	4,00
Varillas de hierro 40cm	6	1,00	6,00
Fertilizante			
Urea (g)	2989,13	0,0011	3,29
Muestreo			
Hoz	2	5,00	10,00
Cuadrante	1	20,00	20,00
Fundas de basura (paquete)	1	1,00	1,00
Fundas de papel (paquete 100)	1	0,50	0,50
Jeringuillas	6	1,05	6,30
Botellas plásticas	6	0,30	1,80
Análisis de laboratorio			
Análisis de nitrógeno foliar	4	44,35	177,40
Análisis de nitratos	10	8,00	80,00
Análisis de suelos	2	25	50,00
Mantenimiento			
Recolector de agua	3	0,25	0,75
Pegamento	1	2,85	2,85
Tapones	1	0,60	0,60
Total			385,04

Se estima que la sonda instalada duraría al menos 15 años de vida útil (Osorio y Rodríguez, 2004), teniendo un mínimo mantenimiento por cada 5 meses. Los mayores costos son los análisis de laboratorio que suma un total de \$ 307,4. No obstante los análisis pueden no realizarse y aun así seguir calculando la dosis de nitrógeno con la certeza de que a los primeros 5 meses los nitratos de los lixiviados no sobrepasarán el nivel crítico de 6 mg L⁻¹ y el contenido de N en la planta se mantendría en los niveles adecuados indicado por Cerda (2011).

Para un mayor tiempo de uso de la tecnología se sugiere evaluar el contenido de nitratos y nitrógeno foliar del pasto con una frecuencia de dos veces anuales, porque en los primeros 5 meses de uso de la tecnología los niveles de los mismos se mantuvieron dentro de los límites permisibles y se esperaría que 5 meses después permanezca en similares condiciones, porque la dosis de N tendió a disminuir y estabilizarse; por tanto, no se espera mayores aportes de N al suelo.

3.5. Manual del usuario

Delimitación de parcelas

En un potrero de 3 058,1 m² se delimitan 2 parcelas de 25 m², las que se dividen en 3 subparcelas de 1 m². Las divisiones se identifican con las estacas. En una parcela se aplica las dosis de N y en la otra no se aplica. La distancia entre parcelas debe ser la suficiente para que no influya la dosis de N. Se sugiere que las parcelas estén a 20 m de distancia entre sí.

Construcción de la sonda

La sonda se construye con tubos de PVC. Se construyen 3 sondas por parcela. La sonda debe tener una longitud de 140 cm y un diámetro de 5,08 cm. Se realizan 4 hileras de agujeros a igual distancia entre sí, con perforaciones de 0,8 cm de diámetro desde los 20 cm hasta los 100 cm de profundidad a lo largo del tubo, con una distancia de 5 cm entre cada perforación. Las perforaciones se hacen a partir de los 20 cm de profundidad debido a que se encuentra la mayor actividad radicular de la planta. Las perforaciones llegan a los 100 cm de profundidad porque se requiere un espacio de 20 cm para recolectar el lixiviado (Fig. 3).

Se coloca un filtro de 6 cm de espesor elaborado con piedras de 0,5 cm de diámetro a los 100 cm de profundidad del tubo. Las piedras tienen la función de retener los materiales sólidos que pudieran caer dentro del tubo. El filtro es un recipiente de plástico abierto en la parte superior y con una base en la parte inferior. La base del recipiente tuvo perforaciones de 0,2 cm y separadas cada 0,5 cm para facilitar el paso del lixiviado hacia el recipiente colector. El filtro se sujetó al tubo por medio de una piola plástica, además se usó pegamento.

Se coloca una manguera plástica de 0,3 cm de diámetro y 150 cm de largo dentro del tubo. La manguera se sujeta en la parte superior del tubo con una piola plástica, atraviesa el filtro de piedras por el lado derecho y llega hasta el fondo del tubo colector formando una pequeña curva. La curva de la manguera plástica tiene como función extraer todo el lixiviado del tubo colector. A la manguera en la parte superior se agrega un conector plástico para facilitar la extracción del lixiviado con una jeringuilla. La jeringuilla debe tener una capacidad de 60 cm³.

El lixiviado se acumuló en el recipiente colector. El recipiente colector se ubicó en el fondo del tubo. Se utilizó un recipiente de plástico abierto en la parte superior y cerrado en la parte inferior. El largo del recipiente fue de 6 cm y un ancho de 5,05 cm. El recipiente se adhirió con pegamento de silicona.

El tubo de la sonda debe estar tapado en su parte superior con un tapón de presión.

Instalación de la sonda

Se instalan 3 sondas en cada subparcela de 25 m² en forma vertical. Las sondas se ubican a 2 m entre sí y a 1 m del borde de las parcelas. Se realizó 3 perforaciones en el suelo por parcela con un barreno tipo *Riverside* hasta alcanzar la profundidad de 1,40 m, en los cuales se introdujeron las sondas de extracción de lixiviados.

Muestreo de la producción de materia verde del pasto

El muestreo de la producción de forraje se hace con un cuadrante metálico de 1 m². El cuadrante se ubica en la subparcela y se separa las plantas para que el cuadrante abarque toda la superficie. Las plantas se cortan con 20 cm de altura con una hoz. La producción del forraje de la subparcela se guarda en una funda plástica para su pesaje.

Se hace un corte inicial sin la aplicación de N para evaluar las condiciones iniciales del pasto. Con esta información se calcula la dosis de N y se aplica por primera vez. Los muestreos se hacen con una frecuencia definida que depende del periodo de ocupación y del periodo de descanso del pastizal. La frecuencia del corte del pasto será igual al tiempo de descanso del pastizal. El corte del pasto se hace antes del periodo de ocupación en las parcelas con N y sin la aplicación de N.

Cálculo de la dosis de nitrógeno

Se utilizó esta ecuación para calcular la primera dosis (Legarda, 2015):

$$Dosis\ N = \frac{Meta\ de\ rendimiento - Producción\ sin\ rendimiento}{Eficiencia\ Agronómica}$$

Al aplicar N por primera vez se obtuvo un incremento en la producción del forraje del pasto, motivo por el cual se realizó una modificación a la ecuación principal con esta ecuación:

$$Dosis\ N = \frac{Meta\ de\ rendimiento - Producción\ anterior\ con\ N}{Eficiencia\ Agronómica}$$

Según Legarda (2015) la eficiencia agronómica fue de 105 [kg de materia verde] [kg N]⁻¹ y la meta de rendimiento de 28 311 [kg materia verde] [ha]⁻¹.

La dosis de N se calculará hasta obtener la meta de rendimiento. Una vez obtenida la meta se debe solo aplicar una dosis constante de N calculada con la misma fórmula, la misma que sirve de reposición de N asimilado para la producción de forraje.

Aplicación de nitrógeno

El N se aplica al voleo, al inicio y al final del periodo de descanso del pasto. El fertilizante se distribuye uniformemente en la parcela.

Muestreo de lixiviados para análisis de nitratos

Los lixiviados para el análisis de nitratos se muestrearon cada 14 d durante el tiempo de estudio por medio de las sondas instaladas en cada una de las parcelas. El lixiviado se extrajo por medio de la manguera plástica con una jeringuilla de 60 cm³. Este lixiviado se extrae al menos 5 mL y se almacena en una botella plástica. La muestra del lixiviado se puede guardar por 48 h a 15° C.

Análisis químico de nitratos del lixiviado

Los nitratos se analizan por el método de sulfato de brucina (Aguilar, 2001) y el procedimiento es el siguiente:

1. Colocar 5 mL de los estándares en los tubos para nitratos.
2. Colocar la gradilla en agua bien fría.
3. Cuando los tubos están introducidos en el agua colocar 1 ml de la solución de cloruro de sodio a cada tubo (30%: NMX-AA-079-SCFI-2001).
4. Agitar para mezclar bien.
5. Añadir 5 ml de disolución de ácido sulfúrico (al 80%).
6. Mezclar bien y enfriar.
7. Si desarrolla color o turbiedad, sacar los tubos y leer los testigos de muestra contra el testigo de reactivos a 410 nm en el espectrofotómetro.
8. Añadir 0,20 mL de reactivo de brucina-ácido sulfanílico.
9. Mezclar bien.
10. Sacar los tubos y colocarlos en agua en ebullición, manteniendo constante la temperatura de ebullición.
11. Dejar en ebullición por 20 minutos.
12. Sacar los tubos del agua hirviendo y colocarlos en el agua fría.

Los valores de nitratos no deben sobrepasar el nivel crítico del nitrato del lixiviado. Se sugiere que sea de al menos 6 mg L^{-1} . Caso contrario revisar las condiciones del suelo y el estado sanitario de las plantas.

Análisis de nitrógeno foliar

El análisis de nitrógeno foliar se hace con la metodología de digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico relación 2:1 y se determinó por el método Kjeldhal (Román, 2013; McKean, 1993).

1. Pese 0,1000 g de muestra. Ponga la muestra en un tubo de digestión de 200 mL.
2. Agregue más o menos 1-1,5 g de la mezcla catalizador más 3,5 mL de H_2SO_4 . Para suelos use 4 mL de la mezcla de ácido sulfúrico y ácido salicílico.
3. Digeste a una temperatura de $400 \text{ }^\circ\text{C}$ por 45 min.
4. Deje enfriar y agregue 5 gotas de fenolftaleína 1 % y 40 mL de agua, con el fin de disolver los cristales que se forman en la muestra.

5. Prepare el destilador. La duración óptima de la destilación se establece para cada aparato.
6. Destile la muestra recogiendo el volumen obtenido en un Erlenmeyer que contiene 10 ml de la solución de H_3BO_3 4 %. Esta solución debe tener un pH entre 4 y 4,5.
7. Titule el volumen obtenido de la destilación con una solución de HCl 0,02 M hasta lograr un cambio de color apreciable entre el azul y el rojizo mate de la solución de H_3BO_3 .
8. Prepare un blanco con todos los reactivos necesarios menos la muestra, este se titula y su volumen se resta a las demás muestras en la titulación. De lo cual resulta la siguiente fórmula para calcular la cantidad de N en la muestra:

$$N \% = \frac{(V - B) * 0.02 * 0.014 * 100}{g \text{ muestra}}$$

V = volumen de HCl gastado en la titulación de la muestra.

B = volumen de HCl gastado en la titulación del blanco.

0,02 = normalidad del HCl.

0,014 = peso miliequivalente de N.

100 = unidades en porcentaje

Los valores de N de la planta se deben comparar con los niveles adecuados del nutriente. En caso de que no estén en los rangos adecuados se sugiere revisar las plantas para ver plagas, enfermedades o condiciones adversas del suelo.

Mantenimiento de la tecnología

Extracción de lixiviados. Los lixiviados deben ser extraídos en un día que no exista precipitación debido a que el suelo puede estar inundado.

Sondas. Las sondas deben ser revisadas cada dos semanas porque las raíces de las plantas pueden obstruir la sonda y además el recipiente colector puede tener averías. En caso de encontrar raíces o averías en el tubo se debe reparar inmediatamente. La manguera plástica de los lixiviados debe mantenerse sujeta en su sitio original para que extraiga los lixiviados correctamente. La sonda debe mantenerse a la

profundidad inicial de instalación. En caso de movimientos fuera de su sitio original se debe reubicarla correctamente. Si alguna sonda no recolecta lixiviados se debe instalar en otro lugar cercano. Este problema se debería a condiciones propias del suelo que impiden la infiltración del agua hacia capas más profundas. El tubo debe quedar instalado al ras del suelo para evitar el pisoteo del ganado

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Contenido de nitratos en los lixiviados

Hubo interacción significativa ($P < 0,0001$) entre el tiempo de muestreo y la dosis de N para el nitrato del lixiviado del suelo. El nitrato del suelo fertilizado con N tuvo variación en el tiempo. Se observó que el nitrato del lixiviado bajó después de la primera aplicación de N (14-mar-2017) en el suelo fertilizado con y sin N. En la segunda aplicación de N (10-may-2017) el nitrato en el suelo se incrementó 14 d después de fertilizar con N. Después de 16 d después de la tercera aplicación de N (18-jun-2017) el nitrato se incrementó tanto en el lixiviado del suelo con y sin fertilización de N. El nitrato del lixiviado del suelo sin aplicar N se mantuvo constante en la mayoría de las fechas de muestreo (Fig. 4).

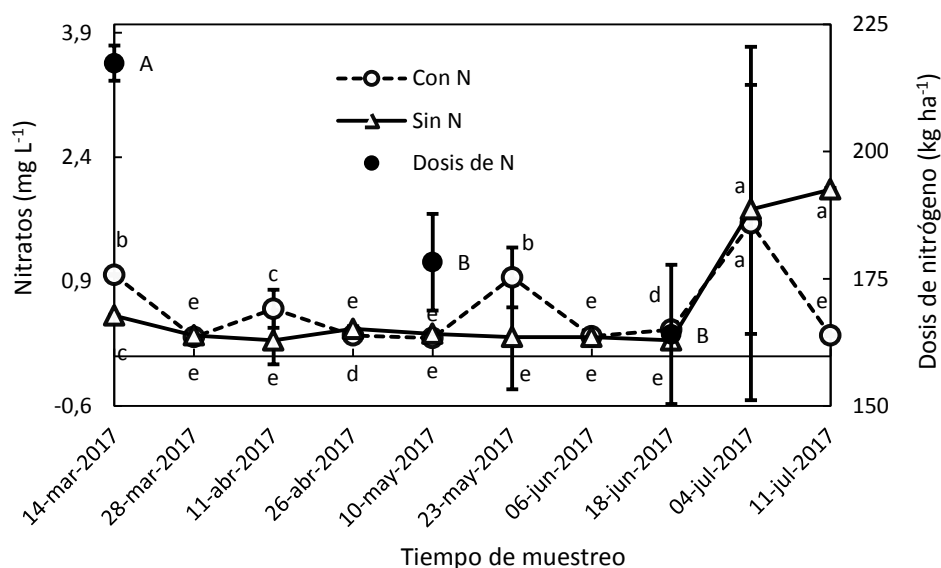


Fig. 4. Concentración de nitratos \pm error estándar según el tiempo y por efecto de la dosis de nitrógeno (N), calculadas con las parcelas de omisión, en los lixiviados del suelo recolectados con sonda, a 1 m de profundidad efectiva en el cultivo de pasto *Brachiaria decumbens*, Santo Domingo, Ecuador, 2017. Letras distintas indican diferencias con la prueba DGC al 0,05; las mayúsculas se leen para las dosis de N; las minúsculas, para el tiempo

Estos resultados indicarían que después de aplicar N, el nitrato del lixiviado varía en su concentración, para después volver a valores similares o iguales a los observados cuando no se aplica N.

Las normativas indican que el límite permisible de nitratos en aguas de consumo humano o de descargas de efluentes líquidos en masas de aguas son de 6 mg L⁻¹ (Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2000, Ministerio de Comercio e Industrias, 2000), 10 mg L⁻¹ (Norma Oficial Mexicana NOM-000-SSA1-2010, Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, 2010; Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Libro VI. Anexo 1, Ministerio del Ambiente, 2002) y 50 mg L⁻¹ (Acuerdo N° 084 del 31 de julio 1995, Ministerio de Salud, 1995). En este trabajo el contenido de nitratos no sobrepasó el máximo permisible según las normas indicadas. Estos resultados sugieren que las dosis de N aplicadas con el método de las parcelas de omisión no estarían sobrepasando ($P < 0,0001$) los límites permisibles de los nitratos; además, habría variación por debajo del sistema radicular, entre $0,19 \pm 0,1$ mg NO³⁻ L⁻¹ y $2,01 \pm 0,02$ mg NO³⁻ L⁻¹, con las condiciones ambientales y características físicas y químicas del suelo cultivado con el pasto.

Velazco et al. (2008) observa en un suelo cultivado con *Brachiaria brizantha* y fertilizado mensualmente en la época seca con 23 kg de N ha⁻¹, que el contenido de nitratos en el lixiviado es de 0,09 mg NO³⁻ L⁻¹ a 4,13 mg NO³⁻ L⁻¹; además que los promedios no sobrepasaron los límites permisibles (10 mg NO³⁻ L⁻¹). En el presente trabajo los valores observados fueron menores ($P < 0,0001$) que los reportados.

Producción de forraje

Las dosis de N y el tiempo tuvieron interacción significativa ($P = 0,0023$) en la producción de materia húmeda del pasto *Brachiaria decumbens*. La producción de pasto se incrementó por efecto de la aplicación de N; por el contrario, sin la aplicación de N la producción se mantuvo constante la mayoría de veces. La máxima producción de materia húmeda ($14,2 \pm 0,7$ t ha⁻¹) de pasto se logró después de la primera aplicación (14-mar-2017) de N. A partir de la segunda aplicación, la producción disminuyó y se mantuvo estable en el tercer y cuarto ($8,4 \pm 0,7$ t ha⁻¹) tiempo de muestreo (Fig. 5).

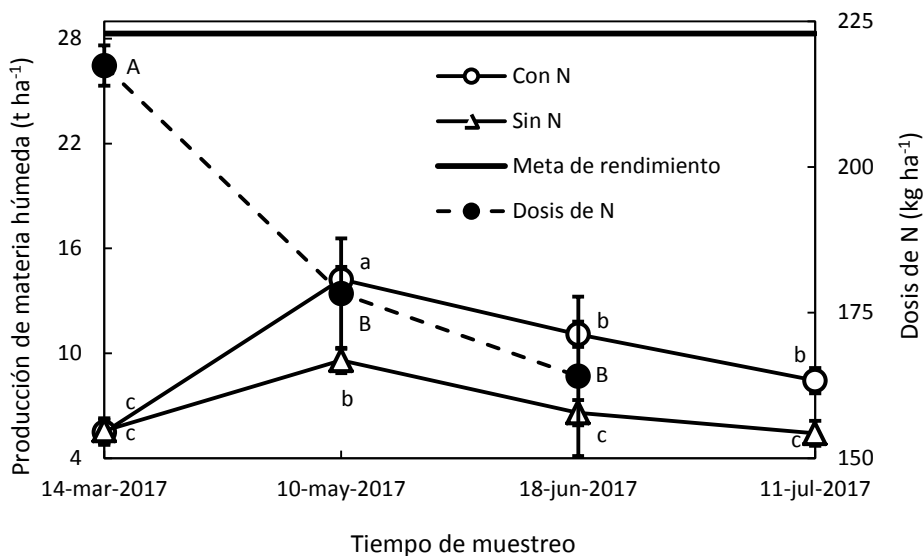


Fig. 5. Rendimiento \pm error estándar de materia húmeda del pasto *Brachiaria decumbens* según el tiempo de muestreo y la dosis de nitrógeno (N), calculadas con las parcelas de omisión, en Santo Domingo, Ecuador, 2017. La meta de rendimiento de la materia húmeda del pasto se fijó en 28,3 t ha⁻¹ (Legarda, 2015). Letras distintas indican diferencias con la prueba DGC al 0,05; las mayúsculas se leen para las dosis de N; las minúsculas, para el tiempo

Por otro lado, la dosis de N disminuyó ($P = 0,006$) desde la primera aplicación ($217,4 \pm 3,5$ kg N ha⁻¹); observándose que desde la segunda a la tercera aplicación ($178,3 \pm 9,5$ kg N ha⁻¹) la dosis se estabilizó. Esto sugiere que los nitratos del suelo no podrían incrementarse debido a que la dosis de N disminuyó y tendió a estabilizarse, evitando el aporte innecesario de N al suelo. No obstante, se debe evaluar el nitrato de los lixiviados, pero con menos frecuencia.

Los resultados indicarían que hubo incremento en la producción de materia húmeda del pasto fertilizado con dosis de N según las parcelas de omisión; a la vez que cada vez se requeriría menos cantidad de N para llegar a la meta de rendimiento del pasto *Brachiaria decumbens* (28,3 t materia húmeda ha⁻¹) propuesto por Legarda (2015). Sin embargo, con la máxima producción no se alcanzó ($P = 0,0026$) la meta de rendimiento. La disminución de la producción de forraje húmedo se explicaría por el periodo de descanso del pastizal; que se acortó a medida que pasó el tiempo, debido al manejo del pastizal y la llegada de la época seca. Desde la primera aplicación de N hasta la segunda, el pastizal tuvo un periodo de descanso de 57 d; desde la segunda a la tercera, 39 d; desde la tercera al último muestreo, 23 d. El pastizal podría acumular

menor cantidad de materia húmeda con menores periodos de descanso (Duarte, 2006).

Navajas (2011) observa que la producción de *Brachiaria decumbens* fertilizada con 100 kg de N ha⁻¹ es de 4,1 t materia húmeda ha⁻¹ a los 70 d de descanso; mientras que la producción sin N es de 3,6 t materia húmeda ha⁻¹. La producción máxima reportada por el autor fue menor ($P = 0,005$) que la obtenida en esta investigación; por el contrario, la mínima producción fue igual ($P = 0,1261$). Se recalca que las dosis de N de esta investigación fueron mayores que 164 kg N ha⁻¹, cantidad que estaría influyendo para obtener mayor producción de pasto.

Los resultados sugieren evaluar durante la época seca y lluviosa la producción de materia húmeda del pasto fertilizado con dosis de N y calculada con las parcelas de omisión.

Contenido de nitrógeno en la planta

El contenido de N en base seca del pasto cosechado estuvo influido por la interacción ($P = 0,0019$) de las dosis de N y tiempo de cosecha. El contenido de N del pasto no cambió según las fechas de corte al aplicar la dosis de N. Se observaron contenidos de N entre 1,31 % \pm 0,15 % y 1,9 % \pm 0,15 %. Por el contrario, cuando no se aplicó N el contenido de mismo disminuyó (0,69 % \pm 0,15 %) únicamente el 10-may-2017; mientras que las demás fechas se mantuvieron iguales (Fig. 6).

El contenido de N en la planta fue el mismo al aplicar o no el nutriente mencionado, excepto en la fecha indicada. Al parecer el contenido de N de la planta no estaría cambiando frecuentemente por efecto de la aplicación de N. Este comportamiento indicaría que el N debería ser evaluado con menos frecuencia.

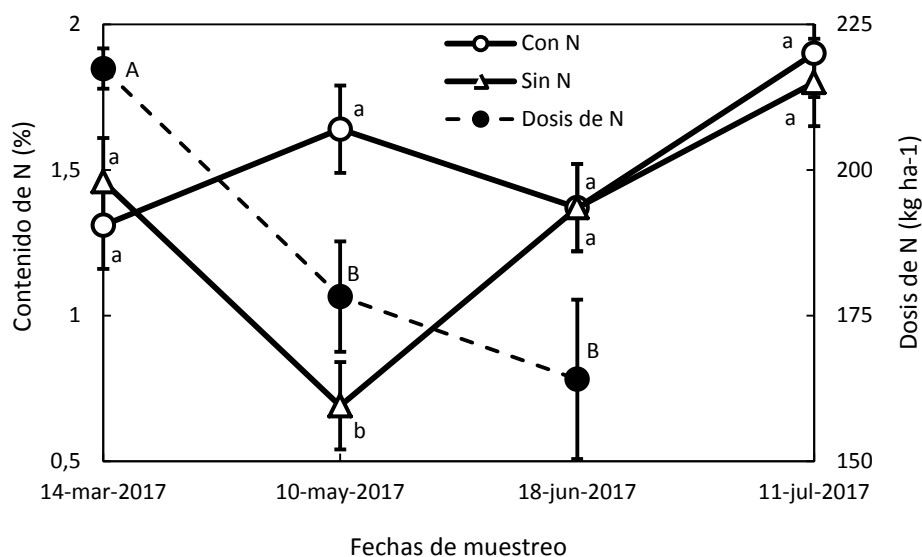


Fig. 6. Contenido de nitrógeno (N) de la parte aérea \pm error estándar en base seca del pasto *Brachiaria decumbens* según el tiempo de muestreo y la dosis de nitrógeno, calculadas con las parcelas de omisión, en Santo Domingo, Ecuador, 2017. Letras distintas indican diferencias con la prueba DGC al 0,05; las mayúsculas se leen para las dosis de N; las minúsculas, para el tiempo

Navajas (2011) reportó que el *Brachiaria decumbens* sin aplicar fertilizante tiene un contenido de N foliar de 1,24 % a los 70 d de edad; mientras que al aplicar 100 kg de N el contenido es de 2,51 %. Estos contenidos fueron mayores ($P < 0,05$) que los encontrados en la presente investigación; excepto para el contenido de N del 10-may-2017 que fueron iguales ($P = 0,0572$) al primer valor. Bernal y Espinosa (2003) indica que el contenido de N foliar de los pastos en general debe ser de 2,9 % a 4 %; mientras que Cerdas (2011) indica que el nivel adecuado de N para los forrajes va de 1,34 % a 1,52 %.

Estos niveles indicaría que el N foliar del presente trabajo estaría adecuado según lo reportado por Cerdas (2011). Por el contrario, al comparar los niveles reportados por Bernal y Espinosa (2003), se observó que el máximo contenido de N fue de 1,9 % \pm 0,15 %, valor que difiere significativamente ($P = 0,0218$) de 2,9 % reportado como mínimo. No obstante, los valores de N adecuados son generales para los pastos, más no para el *Brachiaria decumbens*.

Guerrero (2016) encontró que el N de la parte aérea (tallos y hojas) de *Brachiaria decumbens* fue de 1,4 % \pm 0,02 %, contenido que es mayor ($P = 0,0419$) que 0,69 %

de N del 10-may-2017; no obstante, es igual ($P = 0,0795$) que el valor de 1,9 % del 11-jul-2017. Los valores que se compararan son los extremos encontrados en el trabajo de investigación.

Los resultados sugieren que se debe encontrar niveles críticos para el N y otros nutrientes en el pasto *Brachiaria decumbens*.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cálculo de la dosis de nitrógeno con el método de las parcelas de omisión mantuvo los nitratos del lixiviado del suelo a 1 m de profundidad debajo del sistema radicular, dentro de los límites permisibles.

Se incrementó el rendimiento de la materia húmeda del pasto *Brachiaria decumbens*, a la vez que se estaría requiriendo menos cantidad de nitrógeno para llegar a la meta de rendimiento del pasto y el contenido de nitrógeno de la planta se estaría manteniendo igual en el tiempo evaluado al aplicar o no nitrógeno.

La implementación del método de las parcelas de omisión para calcular la dosis de nitrógeno es factible por la facilidad de aplicar directamente en el campo.

Se ha demostrado que el método de las parcelas de omisión para calcular la dosis de nitrógeno en el cultivo de *Brachiaria decumbens* es viable; sin embargo, se sugiere probar el método de las parcelas de omisión durante la época seca y lluviosa para evaluar la cantidad de nitratos lixiviados, rendimiento de pasto y uso de nitrógeno.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. (2001). Análisis de aguas – Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía, México.
- Bernal, J. y J. Espinosa. (2003). Manual de nutrición y fertilización de pastos. INPOFOS, Quito.
- Bertsch, F. (1998). La fertilidad de los suelos y su manejo. 1a ed. ACCS, San José, Costa Rica.
- Bruuselma W., T.; P.E. Fixen; G.D. Sulewski. (2013). 4R Plant nutrition. A manual for improving the management of plant nutrition. International Plant Nutrition Institute. Georgia, USA.
- Castro-Rodríguez, V., García-Gutiérrez, Á., Canales, J., Cañas, R. A., Kirby, E. G., Avila, C., & Cánovas, F. M. (11 de Febrero de 2016). Biblioteca Universitaria. Obtenido de RIUMA (Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga): <http://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/11004>
- Cerdas, R. (2011). Programa de fertilización de forrajes. Desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. Revista de las Sedes Regionales, 12(24): 109-128.
- Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-000-SSA1-2010, Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua y requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, su control y vigilancia. Procedimiento sanitario de muestreo. Secretaría de Salud, México.
- di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2017). InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- di Renzo, J.A., A.W. Guzman, y F. Casanoves. (2002). A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 7(2):129-142.

- Dobermann, A., T. Fairhurst. (2000). Arroz. Desórdenes nutricionales y manejo de nutrientes. 1ª ed. PPI, Canadá.
- Duarte, M. et al. (2006). Fluxo de biomassa em capim-tanzânia pastejado por ovinos sob três períodos de descanso. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(6): 2234-2242.
- ESPAC. (2014). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Consultado el 25 de octubre del 2015. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014/Resultados_2014/1.%20Indice_de_publicacion_ESPAC_2014.xlsx
- Fairhurst, T., y C. Witt (eds.). 2002. Arroz. Guía práctica para el manejo de nutrientes.
- Gbur, E. (2012). Analysis of Generalized Linear Mixed Models in the Agricultural and Natural Resources Sciences. American Society of Agronomy, Madison.
- Guardian, J. (2010). Validación de una sonda de lixiviación como método para determinar la fertilidad del suelo en el cultivo de café (*Coffea arabica*), en la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Honduras. (Tesis de grado). Universidad Zamorano. Zamorano, Honduras.
- Guerrero, M. (2016). Absorción de nutrientes por la producción primaria de genotipos de brachiaria. (Tesis de grado). Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo, Ecuador.
- Heldt, H., B. Piechulla, y F. Heldt. (2011). Plant biochemistry. 4th ed. Elsevier, United States of America.
- Jiménez S., H. (1980). Anatomía del sistema de clasificación de Holdridge. CATIE: Turrialba, Costa Rica.
- Legarda, R. (2015). Efecto de la omisión de nutrientes en cuatro variedades de Brachiaria. (Tesis de grado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador.
- Martínez G, F., Ojeda B, D., Hernández R, A., Martínez T, J., & Quezada, G. (Marzo de 2011). El exceso de nitratos: Un problema actual en la agricultura. Obtenido de http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2011/08/18/el_exceso_de_e_nitratos_un_problema_actual_en_la_agricultura.pdf

- McKean, S. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y práctica de metodologías. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia.
- Mengel, K., y E.A. Kirkby. (2000). Principios de nutrición vegetal. 1a ed. EEA INTA Pergamino, Argentina.
- Ministerio del Ambiente. (2002). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Libro VI. Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Ecuador.
- Ministerio de Comercio e Industrias. (2000). Agua. Descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masas de agua superficiales y subterráneas. Dirección General de Normas y Tecnología Industrial, Panamá.
- Ministerio de Salud. (1995). Norma Técnica para la calidad del Agua Potable. Honduras.
- Navajas, V. (2011). Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* híbrido Mulato. (Tesis inédita de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Navarro B., S., y G. Navarro G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Osorio, F., y J. Rodríguez. (2004). Propuesta de infraestructura hidráulica para la Universidad de las Américas de acuerdo al Plan Ordenador de Espacios. (Tesis de maestría). Universidad de las Américas Puebla, Cholula.
- Reyes et al. (2002). Abonado del tanner (*Brachiaria radicans* Napper) con purines: rendimiento de forraje y extracción de nutrimentos. *Tecnica Pecuaria Mexicana* 40(3): 265-274.
- Román C., D.C. (2013). Asociación entre la absorción de nutrientes y la acumulación y distribución de biomasa en las hojas y tallos de cinco variedades del género *Brachiaria*. Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador.
- Sapiña Navarro, F. (2011). ¿Un futuro sostenible?: El cambio global visto por un científico preocupado. Valencia: Publicaciones de la Universidad de Valencia.

- Velazco, K. et al. (2008). Evaluación de nitratos y nitritos lixiviados en un sistema de pastoreo intensivo usando fertilizantes nitrogenados. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(1): 23-38.
- Villafuerte, S. (2016). Variación en las características físicas del suelo, por efecto del uso, en la estación Oasis de la UTE sede Santo Domingo de los Tsáchilas, 2015. (Tesis de Grado). Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo, Ecuador.