

Establecimiento de índices DRIS para la soya (*Glycine max* L. Merr.) en función de la aplicación de micronutrientes

¹ José Vieira Dos Santos Neto, ¹ Leandro da Silva Almeida, ² Atalita Francis Cardoso, ¹ Luara Cristina de Lima, ¹ Regina Maria Quintão Lana, ¹ Rafael Gómez Arrieta, ³ José Luiz Rodrigues Torres

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, *Campus* Glória, Bloco CCG, Sala 212, CEP 38408-100, Uberlândia, MG, Brasil. E-mails: jose.neto@ufu.br, almeidalean26@gmail.com, lima_luara@yahoo.com.br, rmqlana@ufu.br, rgomezarr@gmail.com

² Centro Universitário de Goiatuba, Jardim Santa Paula, CEP 75600-000, Goiatuba, GO, Brasil. E-mail: atalitacardoso@yahoo.com.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Rua João Batista Ribeiro, 4000, CEP 38064-790, Uberaba, MG, Brasil. E-mail: jlrtorres@iftm.edu.br

Resumen: Para diagnosticar el estado nutricional de las plantas, se destaca el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), que utiliza el concepto de balance de nutrientes. El objetivo del presente estudio fue establecer normas de referencia DRIS para el cultivo de la soya fertilizada con micronutrientes y sembrada en área labranza cero durante quince años. Para ello, se realizaron dos experimentos simultáneamente, el primero correspondió a tratamiento de semillas con fertilizante en el segundo, la aplicación foliar en la etapa V3. Fueron aplicadas dosis de 140, 200, 240 y 280 g ha⁻¹ de NiCoMo®, mezcla de Ni (Níquel) Co (Cobalto) y Mo (Molibdeno) y un tratamiento testigo (sin aplicación de micronutrientes). La aplicación de 200 y 280 g ha⁻¹ de micronutrientes en el tratamiento de semillas y vegetativo, respectivamente, proporcionó mayor productividad de granos y plantas más equilibradas nutricionalmente.

Palabras Clave: Estado nutricional, *Glycine max*. L., Tratamiento de semillas.

Establishment of DRIS indices for the soybean (*Glycine max* L. Merr.) based on the application of micronutrients

Abstract: To diagnose the nutritional status of plants, the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) stands out, using the concept of nutrient balance. The objective of this study was to establish DRIS reference norms for the cultivation of micronutrient fertilized soybean sown in no-till area for fifteen years. For this purpose, one experiment was performed that consisted of treating seed with fertilizer and in a second experiment fertilizer was applied to the plant foliage during the second foliar application in the V3 stage. Doses of 140, 200, 240 and 280 g ha⁻¹ NiCoMo® were applied, Ni (Nickel) CO (Cobalt) and Mo (Molybdenum) mixture and a control treatment (without micronutrient application). The application of 200 g ha⁻¹ micronutrients in the fertilizer seed application during the first experiment and 280 g ha⁻¹ vegetative treatment in the second experiment provided greater plant productivity and more nutritionally balanced grains.

Keywords: Nutritional Status, *Glycine max*. L., Seed Treatment.

Introducción

La soya (*Glycine max* L. Merr.) es un cultivo de gran importancia mundial, pues constituye más del 54% de la producción de semillas del grupo de las oleaginosas (Houx III, Wiebold & Fritschi, 2014). Brasil es el mayor productor de soya en el mundo. Para la economía brasileña la soya uno de los cultivos más importantes, los diversos productos de este cultivo (granos, salvados y aceites) en 2018 generó ingresos de más de 40,64 mil millones de dólares para Brasil. De tal manera la soya es el producto agrícola que lidera las exportaciones brasileñas de acuerdo con la Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB] (2019).

Los avances tecnológicos en las últimas décadas, permitieron el incremento en la productividad de la soya, que a inicios de década de los 80 era aproximadamente 1.7 t ha⁻¹ y a mediados del 2000 pasó a 2.87 t ha⁻¹ (CONAB, 2019). A partir de entonces, el nivel de productividad de la soya brasileña quedó prácticamente estancado, oscilando para más o menos en función de los volúmenes de precipitación en la cosecha. En la búsqueda de mejores productividades, los productores siempre están buscando perfeccionar los factores que limitan la productividad, o sea, factores que influyen en el crecimiento, desarrollo y comportamiento de las plantas (Almeida & Guimarães 2017). Para ello, es imprescindible el suministro adecuado de nutrientes (Fontes & Pereira 2003) que debe ser constantemente monitoreado.

Los micronutrientes, en diversas ocasiones son los limitantes para una mayor respuesta productiva del cultivo de la soya, esto ocurre principalmente en suelos del bioma Serrado naturalmente deficientes de éstos. Estas deficiencias son causadas por el proceso de meteorización temprano al aumento de la productividad de la soya (con variedades cada vez más eficientes en la extracción y exportación de nutrientes) y también al uso inadecuado de correctivos, que aceleran el crecimiento y surgimiento de deficiencias inducidas (Tomaz et al., 2011).

Los micronutrientes, Níquel (Ni), Cobalto (Co) y Molibdeno (Mo), han despertado gran interés debido a los resultados positivos de su suplementación en la productividad de la soya, por ser elementos esenciales y principalmente

por participar directamente del proceso de fijación biológica del Nitrógeno. El Co es esencial para la fijación simbiótica de Nitrógeno, es componente de la vitamina B12, necesaria para la formación de un tipo de hemoglobina en los nódulos de fijación del Nitrógeno. El Mo también participa en el proceso de fijación, pues es componente de la enzima nitrogenasa que cataliza la reducción del N₂ atmosférico a NH₃, reacción por la cual las bacterias del género *Rhizobium* suplen el nitrógeno para la soya (Adesoji et al., 2009).

El Ni también es de gran importancia en el proceso de fijación del N (nitrógeno), ya que es componente de la enzima ureasa y en el caso de la soya más del 90% del N fijado que será posteriormente exportado de los nódulos para raíces y hacia parte aérea, está en la forma de ureidos (Reis et al., 2014). En el metabolismo de ureidos se forma urea, donde es necesaria la ureasa (Bai, Reilly & Wood, 2006) y además el Ni es necesario para las bacterias del género *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* que poseen las enzimas hidrogenasas para las cuales también es necesario el adecuado aprovisionamiento de este micronutriente, pues su deficiencia puede afectar la fijación del N₂ (Reis et al., 2014).

Por su parte, el aprovisionamiento de nutrientes para la soya o para cualquier otro cultivo debe ser realizado según la fertilidad del suelo y con base en los análisis foliares (Cogo et al., 2006 & Malavolta 2006) la cantidad de nutrientes presentes en las hojas es un reflejo de su disponibilidad en el suelo.

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) es una de las herramientas utilizadas para identificar el estado nutricional de las plantas, pues posibilita identificar limitaciones nutricionales que no se visualizan en los análisis de suelo. Tal herramienta tiene la ventaja ordenar los nutrientes del más limitante al más excesivo, de tal manera posibilita saber cuál de aquellos está dificultando la producción debido al desequilibrio nutricional. El método DRIS utiliza como patrón nutricional una población de referencia basada en plantas de alta productividad, cuya nutrición está en equilibrio (Nziguheba, et al. 2009).

En el presente estudio se analizaron los niveles foliares y la productividad de la soya en diferentes modos y dosis de aplicación de Níquel, Cobalto y Molibdeno en sistema de labranza cero con la finalidad de establecer el índice de productividad DRIS.

Material y métodos

Los experimentos fueron conducidos en el Instituto Federal del Triángulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba - MG, ubicado entre 19°39'19" de latitud Sur y 47 °57'27" de longitud Oeste, a una altitud de 795 m, en el período de diciembre de 2015 a abril de 2016. El clima de la región es clasificado por el método de Köppen, como Aw -

tropical con invierno seco. La precipitación anual media es de 1606 mm y la temperatura media anual es de 21.5 ° C con 1479 mm de pluviosidad media anual (Rolim et al., 2007). Las medias de las temperaturas máximas, mínimas, precipitación y humedad relativa de la localización del experimento durante el período de conducción se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1- Precipitación media - P (mm), temperatura máxima - T máx. (° C), temperatura mínima - T min (° C) y humedad relativa - HR (%).

	P	T máx.	T min	HR
Diciembre	276	31	20	77
Enero	315	30	21	82
Febrero	132	31	19	77
Marzo	292	30	20	78
Abril	316	31	18	62

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología [Inmet] (2017)

El suelo del área experimental de textura arcillosa, fue caracterizado como Latossolo Rojo oscuro de acuerdo con la clasificación brasileña de suelos (Santos et al., 2013). La caracterización

química se encuentra en la Tabla 2. Los experimentos fueron implantados en un área de quince años de labranza cero donde, anteriormente se cultivaba maíz (*Zea mays*).

Tabla 2 - Caracterización química del suelo en el área experimental de soya.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	S.B.	T	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³					%		mg dm ⁻³			
4.9	11.0	61.7	0.6	0.3	0.3	0.2	3.8	31	0	0.1	0	0.1	0.1

Prof.= Profundidad, P=Método Mehlich 1, P, K, Na = [HCl 0.05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0.0125 mol L⁻¹], S-SO₄ = [Fosfato Monobásico Calcio 0,01 mol L⁻¹], Ca, Mg, Al = [KCL 1 mol L⁻¹], S.B= Soma de base (Ca, Mg e K), V = Saturación por bases, T = CTC pH 7,0.

El fertilizante denominado NiCoMo® caracterizado por su composición de 24 g kg⁻¹ de Níquel, el 14 g kg⁻¹ de Cobalto y el 260 g kg⁻¹ de Molibdeno, del cual se aplicaron cuatro dosis crecientes: 160, 200, 240 y 280 g ha⁻¹. En el

experimento de tratamiento de semillas, la aplicación (TS) fue realizada junto con la inoculación de bacterias, con el auxilio de una bomba costal, a la dosis de 200 L ha⁻¹. En el experimento con la aplicación en el tratamiento

vegetativo, la pulverización fue realizada el día 10 de enero de 2016, período en que las plantas se encontraban en el estadio vegetativo (V3), caracterizado por la aparición del tercer nudo, a los 24 días después de la siembra (DDS).

El estadio vegetativo V3 se trata del período de crecimiento de las plantas en que ocurre el proceso de fijación de N más activo (Gelain, et al. 2011), razón por la cual se escogió ese período para la conducción del experimento.

Antes de la siembra, las semillas fueron tratadas con Standak Top®, insecticida y fungicida a la dosis recomendada de 50 g ha⁻¹ de i.a, y el inoculante Masterfix® Soya, a la dosis recomendada de 100 ml ha⁻¹. Fue utilizada soya Monsoy 8210 cultivar Intacta, plantada el 18 de diciembre de 2015 con una densidad de 20 semillas por metro lineal en parcelas de 4m x 9m (36m²), en un total de 44 parcelas.

En la siembra, se realizó una fertilización de NPK 05-25-25 en la dosis de 300 kg ha⁻¹ y una segunda fertilización en la fase V2, con la aplicación de 28 g de Mn quelatizado, junto con la aplicación de glifosato para el control de malezas. Se realizaron tres aplicaciones de fungicida sistémico compuesto por triazol y estrobilurina en la dosis de 300 ml ha⁻¹, la primera pulverización fue realizada en la etapa R1, inicio del florecimiento de la soya. O manejo de malezas en pos-emergencia fue realizado con glifosato asociado a la fertilización foliar de 200 g ha⁻¹ del producto comercial quelatizado a base de Manganeso (Mn).

El muestreo para caracterización de los contenidos foliares y establecimiento de los índices DRIS se hizo a través del muestreo de la primera hoja madura a partir de los folíolos superiores, en el estadio fenológico R5 (inicio de la floración). Los métodos utilizados para la determinación de los macro y micronutrientes fueron: digestión sulfúrica del N (N Total), digestión nitro perclórica para Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), (C), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) e incineración para Boro (B) (Malavolta, 2006).

La cosecha se realizó 119 DDS el 15 de abril de 2016, cuando las plantas se encontraban en el estadio R8 correspondiente al de maduración fisiológica, caracterizado por presentar el color maduro en el 95% de las vainas. Además, se efectuó la evaluación de la productividad de granos.

Los tratamientos con una productividad igual o superior a 0.8 t ha⁻¹ se utilizaron para el establecimiento de los patrones nutricionales foliares, siendo considerados, en el presente trabajo, como alta productividad. Se determinaron las normas para las relaciones bivariadas para el método DRIS. Las normas DRIS fueron constituidas por las medias y por la desviación estándar de las relaciones bivariadas, obtenidas en las formas directa e inversa, entre todos los nutrientes evaluados de los cultivos de alta productividad. Al definir los padrones nutricionales foliares, los tratamientos de baja productividad (inferior a 0.8 t ha⁻¹) fueron diagnosticados por el método DRIS, utilizando los patrones nutricionales definidos anteriormente.

Los índices nutricionales para el DRIS (IN) se calcularon según Jones (1981), siendo $f(A/B) = (A/B - a/b) / s(a/b)$, donde A/B representa el valor de la relación entre las concentraciones de dos nutrientes de la planta diagnosticada; y a/b y s(a/b), respectivamente, la media y la desviación estándar de cada relación bivariada en la población de referencia. El índice DRIS (IN) fue entonces determinado por la expresión:

$$IN = [\sum (f(A/B_i - a/b_i) / s(a/b_i)) + \sum (f(B/A_i - b/a_i) / s(b/a_i))] / 2n$$

en que varía de 1 a n; y n corresponde al número de nutrientes B evaluados en relación con el nutriente A.

Se calcularon también el Índice de Balance Nutricional (IBN) por la suma, en módulo, de los índices nutricionales DRIS y el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm), obtenido dividiendo el IBN por el número de nutrientes evaluados en cada muestra foliar. Para la interpretación del estado nutricional, se adoptaron tres clases: insuficiente, equilibrado o exceso. En los cultivos de baja productividad, el nutriente fue considerado nutricionalmente equilibrado, cuando el índice nutricional en módulo, fue menor que el IBNm; insuficiente, cuando su índice nutricional siendo negativo fue también en módulo, mayor que el IBNm; y en exceso nutricional, cuando su índice nutricional positivo en módulo, mayor que el IBNm (Wadt, 2005).

Resultados Y discusión

En la Tabla 3 son presentados los datos del rendimiento promedio de un grupo, clasificado como de alta productividad (> 1.05 t ha⁻¹), de baja productividad (<1.05 t ha⁻¹) y los niveles medios

de macro y micronutrientes en el tejido foliar de la soya en el experimento relativo al tratamiento de semillas. Se observa que los nutrientes N, P, Ca, Mg y Fe están en la franja del contenido adecuado según Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa] (2001). Los contenidos foliares de K, S y Cu se encuentran por debajo del

adecuado, sin embargo están muy próximos al límite inferior de lo requerido para el buen desarrollo de la soya (Embrapa, 2001). Por último y también de acuerdo a Embrapa (2001) el Mn puede ser considerado alto y el Zn extremadamente alto (Tabla 3).

Tabla 3 - Contenidos foliares de macro e micronutrientes en soya bajo tratamiento de semillas.

Productividad t ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
Sobre 1.05 t ha ⁻¹										
1.17	49.78	4.40	16.56	9.2	3.62	1.40	9.00	179.75	127.88	76.25
Abajo de 1.05t ha ⁻¹										
0.87	50.62	5.21	17.02	9.43	3.62	1.42	9.43	211.43	116.87	75.00

La productividad de la variedad de soya en el presente experimento fue comprometida primeramente por la siembra fuera de la época recomendada según la microrregión 303 que sería hasta la tercera semana de noviembre y fue realizada en la tercera semana de diciembre. El segundo motivo se dio por la ocurrencia de alta severidad de roya asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), sin embargo, incluso en condiciones totalmente adversas al pleno desarrollo de la soya, fue posible observar los efectos del buen equilibrio nutricional en el desarrollo y también el efecto del NiCoMo en la productividad final del grano.

La más alta productividad de granos fue observada en el tratamiento de 200 g ha⁻¹ de NiCoMo, donde se presentó el mejor índice IBN en el experimento de tratamiento de semillas, lo que indica un mayor equilibrio entre macro y micronutrientes (Tabla 4). En los demás tratamientos que utilizaron la fuente de micronutrientes ocurrió un efecto inverso por utilización del producto, porque al aumentar la dosis se generó un mayor desequilibrio nutricional

en las plantas. De esta forma, las relaciones entre los nutrientes en el suelo son muy importantes para el equilibrio y funcionamiento en las plantas, pues el exceso de un nutriente puede comprometer la absorción de otro (Novais, Smyth & Nunes, 2007a).

Este enfoque de los índices críticos de nutrientes en una condición adversa en el desarrollo de la soya es diferente de la que normalmente se realiza, según Urano, et al. (2007) los estudios para verificar el nivel crítico de un nutriente normalmente utilizan la perspectiva en que ocurren intervenciones sólo en los niveles de nutrientes y todas las demás condiciones de producción permanecen en niveles no limitantes. Sin embargo, Silva y Neves (2005) relata que las relaciones duales entre nutrientes presentan mayor constancia en comparación con sus niveles, ocasionando de esta forma una cierta independencia en el uso del DRIS en relación a factores reconocidamente influyentes en los contenidos de nutrientes, como la región de cultivo, el ataque de enfermedades, entre otros.

Tabla 4 - Índices DRIS para macronutrientes y micronutrientes productividad alta (> 1.05 t ha⁻¹) e baja (< 1.05 t ha⁻¹) de soya bajo tratamiento de semillas.

Tratamientos	Productividad t ha ⁻¹	Macronutrientes						
		N	P	K	Ca	Mg	S	IBN
Índices DRIS para grupos de alta productividad								
200	1.30	0.7	1.3	0.5	-0.1	-0.4	0.2	7.23
240	1.05	-0.7	-1.6	-0.4	0.1	0.5	-0.2	7.98
								7.61
Índices DRIS para grupos de baja productividad								
Control	1.01	2.0	0.5	0.5	0.4	-5.7	-5.6	23.13
280	1.01	-2.5	2.0	-7.7	2.6	-4.7	11.7	33.16
160	0.76	-1.0	0.9	-5.3	1.1	4.1	8.8	30.69
Testigo	0.72	-0.3	1.1	25.0	1.1	3.6	-23.3	64.98
								37.99
Tratamientos		Micronutrientes						
		Cu	Fe	Mn	Zn	IBN		
Índice DRIS para grupo de alta productividad								
200		-1.0	1.0	-0.7	-1.4	7.23		
240		-1.0	-1.1	0.8	1.6	7.98		
						7.61		
Índice DRIS para grupo de baja productividad								
Control		0.8	5.9	0.5	1.3	23.13		
280		0.5	-0.1	-1.1	0.0	33.16		
160		-0.1	1.2	-7.0	-1.1	30.69		
Testigo		1.7	1.2	-7.2	-0.5	64.98		
						37.99		

El índice DRIS cuando es positivo, indica que el nutriente está por encima del nivel óptimo y por el contrario cuando es negativo, indica que el nutriente está por debajo del nivel óptimo, es decir, valores negativos sugieren deficiencias, mientras que los valores positivos, exceso de nutrientes en relación a los demás (Queiroz et al., 2014).

Se debe tener en cuenta que a pesar de que los nutrientes N, P, Ca, Mg y Fe se encuentren dentro del rango adecuado en la hoja (Tabla 3) al observar los índices DRIS (Tabla 4) se verifica el desequilibrio de estos nutrientes en las plantas de soya al adoptar el tratamiento control como ejemplo y se observa también que el Ca es el más equilibrado (valor más cercano a cero). El N y el P en este tratamiento estarían en exceso, mientras que el magnesio y el hierro estarían en deficiencia. El desequilibrio se observa también en los demás tratamientos. En la mayoría de los casos, el DRIS es útil en la medición precisa del equilibrio nutricional de las plantas y para minimizar los efectos atribuidos a factores no nutricionales.

Es importante resaltar que es necesario el buen equilibrio entre los nutrientes, pues el exceso de algún puede inhibir la absorción de otro, por antagonismo o competencia por los sitios de absorción (Novais et al., 2007b), lo cual puede ocasionar deficiencias y consecuentes

pérdidas en la productividad por el desequilibrio nutricional. Además, la planta aún puede ser más susceptible al ataque de insectos y hongos (Carvalho et al., 2013).

Se observa también el efecto positivo del suministro Ni, Co y Mo en el tratamiento de semillas a lo largo del proceso de fijación biológica del N. Se verificó que hay un comportamiento directamente proporcional entre el aumento de la dosis de los micronutrientes y el suministro de N en la planta (Tabla 4) en el cual sale de un nivel de deficiencia, siendo prácticamente equilibrado en 200 g ha^{-1} y aumentando su nivel hasta 280 g ha^{-1} , por el exceso de este nutriente en relación a los demás.

El índice DRIS permite identificar qué nutrientes están limitando la productividad del cultivo (Dias, et al., 2013), ideal para la reducción de las deficiencias nutricionales que están limitando la producción. Por consiguiente, se observa que hay diferencias de nutrientes limitantes entre los grupos de productividad superiores a 1.16 t ha^{-1} e inferiores a 1.16 t ha^{-1} (Tabla 5). En general, el índice medio de deficiencia y exceso, en ambos casos, es mayor en productividades inferiores a 0.8 t ha^{-1} , donde se destaca el mayor desequilibrio nutricional de las plantas en las parcelas de menor productividad (Tabla 4).

Tabla 5 - Índices de deficiencia y exceso para soya bajo tratamiento de semillas.

Orden	Índices de deficiencia				Índices de exceso			
	>1.05 t ha ⁻¹		<1.05 t ha ⁻¹		>1.05 t ha ⁻¹		<1.05 t ha ⁻¹	
1°	P	-1.6	Zn	1.6	Mg	-14.45	K	12.75
2°	Zn	-1.4	Cu	1.3	K	-6.5	S	10.25
3°	Fe	-1.1	Fe	1.0	Ca	-5.2	Mg	3.85
4°	Cu	-1.0	Mn	0.8	Mn	-5.10	Fe	2.75
5°	N	-0.7	N	0.7	N	-1.26	N	2.0
6°	Mn	-0.7	K	0.5	Zn	-0.8	Ca	1.3
7°	Mg	-0.4	Mg	0.5	Cu	-0.1	Zn	1.3
8°	K	-0.4	S	0.2	Fe	-0.1	P	1.12
9°	S	-0.2	Ca	0.1	P	0	Cu	1.0
10°	Ca	-0.1	Cu	0	Ca	0	Mn	0.5

No hubo influencia de la aplicación del NiCoMo en relación al tratamiento de semillas o tratamiento foliar (en el estadio V3), en los contenidos de macro y micronutrientes del tejido foliar de la soya. Los contenidos fueron prácticamente iguales (Tabla 6), los mismos elementos que mostraron suficiencia en la aplicación de Ni, Co y Mo en el tratamiento de semillas (N, P, Ca, Mg y Fe) nuevamente estuvieron en suficiencia en el tratamiento foliar.

La poca alteración fue constatada para el K, que está abajo del rango de suficiencia en el tratamiento vía foliar sólo en el grupo de productividad $> 1.16 \text{ t ha}^{-1}$, diferente de lo ocurrido en el experimento de tratamiento de semilla, en el cual fue bajo en ambos rangos productividad (Tabla 3 y 6). Adesoji, et al. (2009) al trabajar con varios métodos de aplicación de Mo en la soya, tampoco encontraron diferencia significativa entre los métodos.

Tabla 6 - Contenidos foliares de macro y micronutrientes da soya bajo tratamiento de vegetativo.

Productividad t ha^{-1}	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg^{-1}					mg kg^{-1}				
Sobre 1.16 t ha^{-1}										
1.24	44.94	4.49	16.87	10.74	3.47	1.58	8	177.41	146.66	73.58
Abajo de 1.16 t ha^{-1}										
1.00	45.69	4.55	16.34	10.13	3.55	1.57	8.80	143.38	133.30	71.77

Con base en los resultados de DRIS de cada nutriente, es posible determinar el orden de deficiencia y exceso de los macro y micronutrientes. De acuerdo con la Tabla 5, se verifica que para productividades $>1.05 \text{ t ha}^{-1}$ la orden de deficiencia $\text{P} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{N} > \text{Mn} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{Ca}$ y el orden de exceso $\text{Mg} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{N} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{P} > \text{Ca}$. Por lo tanto, en este caso, se recomienda la reducción de la fertilización con Mg, Zn, Mn.

Sin embargo, para productividades $<1.05 \text{ t ha}^{-1}$ el orden de deficiencia $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{Ca} > \text{Cu}$ y el orden de exceso para productividad: $\text{K} > \text{S} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Zn} > \text{P} > \text{Cu} > \text{Mn}$ (Tabla 5).

En la tabla 5 son presentados los datos del rendimiento promedio de los grupos clasificados

como de alta productividad ($>1.16 \text{ t ha}^{-1}$), baja productividad ($<1.16 \text{ t ha}^{-1}$) y los niveles foliares medios de macro y micronutrientes del experimento relativo al tratamiento de semillas. De manera similar al experimento foliar, los contenidos de N, P, Ca, Mg y Fe se presentan dentro del rango adecuado, según (Embrapa, 2001).

La dosis que proporcionó un mejor equilibrio nutricional a la soya, cuando el suministro de NiCoMo se llevó a cabo en el estadio V3 fue de 160 g ha^{-1} , cuya IBN fue 37,2 (Tabla 7). Como el suministro de NiCoMo se encontraba en tratamiento de semillas, el mejor equilibrio se presentó como ya se informó por una dosis de 140 g ha^{-1} (Tabla 4), con un IBN de 37,2.

Tabla 7 - Índices DRIS para macronutrientes y micronutrientes para productividad alta ($> 1.16 \text{ t ha}^{-1}$) e baja ($< 1.16 \text{ t ha}^{-1}$) para soya bajo tratamiento vegetativo.

		Macronutrientes						
Tratamientos	Productividad t ha^{-1}	N	P	K	Ca	Mg	S	IBN
		Índices DRIS para grupos de alta productividad						
280	1.35	3.7	7.3	8.1	-2.5	0.1	-2.7	37.2
240	1.21	-1.2	0.3	-5.9	3.8	4.4	0.3	38.25
Testigo	1.16	-3.4	-8.9	-2.3	-1.1	-5.6	1.8	54.93
		43.66						
		Índices DRIS para grupos de baja productividad						
Control	1.13	4.7	7.9	9.2	-1.5	0.5	-1.6	45.02
200	0.98	5.6	-9.1	-4.4	-16.0	6.8	7.9	105.81
160	0.90	-0.8	13.4	-11.4	-5.5	7.0	11.1	73.01
		74.61						
		Micronutrientes						
Tratamientos	Productividad t ha^{-1}	Cu	Fe	Mn	Zn	IBN		
		Índices DRIS para grupos de alta productividad						
280	1.35	-2.2	-3.9	-6.6	-0.1	37.2		
240	1.21	8.0	-5.3	3.6	-6.0	38.25		
Testigo	1.16	-7.5	12.9	4.6	6.7	54.93		
		43.66						
		Índices DRIS para grupos de baja productividad						
Control	1.13	-1.9	-1.7	-6.7	-9.2	45.02		
200	0.98	7.9	-14.0	-8.5	15.1	105.81		
160	0.90	11.1	-11.4	0.6	2.7	73.01		
		74.61						

El suministro de Ni, Co, y Mo vía foliar, al ser comparado con el tratamiento de semillas, alteró de forma expresiva el orden de los nutrientes en deficiencia y exceso (Tablas 8 y 5).

Sin embargo, de forma similar a los grupos de menor productividad tuvieron los mayores índices (valores modulares), lo cual indica mayor desequilibrio.

Tabla 8 - Índices de deficiencia y exceso para soya bajo tratamiento de vegetativo.

Orden	Índices de deficiencia				Índices de exceso			
	>1.16 t ha ⁻¹		<1.16 t ha ⁻¹		>1.16 t ha ⁻¹		<1.16 t ha ⁻¹	
1°	P	-8.9	Fe	12.9	Ca	-11.5	P	10.65
2°	Mn	-6.6	K	8.1	Zn	-9.2	S	9.5
3°	Mg	-5.6	Cu	8.0	P	-9.1	Cu	9.5
4°	Cu	-4.85	Zn	6.7	Fe	-9.03	K	9.2
5°	Fe	-4.6	Mn	4.1	K	-7.9	Zn	8.9
6°	K	-4.1	P	3.8	Mn	-7.6	N	5.15
7°	Zn	-3.05	Ca	3.8	Cu	-1.9	Mg	4.76
8°	S	-2.7	N	3.7	S	-1.6	Mn	0.6
9°	N	-2.3	Mg	2.25	N	-0.8	Ca	0
10°	Ca	-1.8	S	1.05	Mg	0	Fe	0

Nolla et al., (2015), relatan que en función de las múltiples interacciones que ocurren entre los iones existe una grande dinámica en su disponibilidad, de modo que no es posible analizar apenas por su disponibilidad química. Por lo tanto, respaldado en este estudio es posible afirmar que incluso la dosis de los nutrientes evaluados se mantiene constante, el suministro de Ni, Co y Mo hasta cierta dosis mejora el equilibrio y después puede comprometer este equilibrio. Este ordenamiento de nutrientes, desde los más limitantes hasta los más excesivos debe ser analizado con mucho cuidado, pues existe la posibilidad de falsos diagnósticos en función de las distorsiones provocadas por factores no controlados (Urano et al., 2006).

De acuerdo con la tabla 8 se verifica que para productividades > 1.16 t ha⁻¹ el orden de

deficiencia P> Mn> Mg> Cu> Fe> K> Zn> S> N> Ca y el orden de exceso Ca> Zn> P> Fe> K> Mn> Cu> S> N> Mg. Sin embargo, para productividades < 1,16 t ha⁻¹ el orden de deficiencia fue de Fe> K> Cu> Zn> Mn> P> Ca> N> Mg y el orden de exceso para productividad de: P> S> Cu> K> Zn > N> Mg> Mn> Ca> Fe (Tabla 8).

Conclusión

Las dosis de 200 y 280 g ha⁻¹ de NiCoMo en el tratamiento de semillas y vegetativo, respectivamente, proporcionan mayor productividad de granos y plantas más equilibradas nutricionalmente.

Agradecimientos

A la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior [CAPES] por el financiamiento para este tipo de investigación

Referencias

- Adesoji, A. G., Abubakar, I. U., & Ishaya, D. B. (2009). Performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) as influenced by method and rate of molybdenum application in Samaru, northern Guinea Savanna of Nigeria. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 3 (4), 845-849.
- Almeida, L. S., & Guimarães, E. C. (2017). Geoestatística para determinação e modelagem da variabilidade espacial de micronutrientes no solo cultivado com cafeeiro no município de Araguari-MG. *Cultura Agrônômica*, 26 (2), 158-173.
- Bai, C., Reilly, C. C., & Wood, B. W. (2006). Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. *Plant Physiology*, 140 (2), 433-443. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.105.072983>
- Carvalho, D. D. O., et al. (2013). Adubação nitrogenada e potássica na severidade da antracnose em dois cultivares de milho. *Revista Ceres*, 60 (3), 380-387.
- Cogo, C. M., et al. (2006). Crescimento, produtividade e coloração dos chips de tubérculos de batata produzidos sob alta disponibilidade de potássio Growth, yield and chip color of potato tubers grown under high potassium availability. *Ciência Rural*, 36 (3),
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2019). *Perspectivas para a agropecuária*. Recuperado em 2 de junio, 2018, de <http://www.conab.gov.br>.
- Dias, J. R. M., et al. (2013). Normas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de laranja 'Pera' no Estado do Amazonas. *Revista Ciência Agrônômica*, 44 (2), 251-259.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (2001). *Tecnologias de produção de soja-Paraná-2001/2002*. Londrina: Embrapa Soja.
- Fontes, P. C. R., & Pereira, P. R. G. (2003). Nutrição mineral do tomate para mesa. *Informe Agropecuário*, 24 (219), 27-34.
- Gelain, E., et al. (2011). Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. *Ciência e agroecologia*, 35 (2), 259-269.
- Houx III, J. H., Wiebold, W. J., & Fritsch, F. B. (2014). Rotation and tillage affect soybean grain composition, yield, and nutrient removal. *Field Crops Research*, 164, 12-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.04.010>
- Instituto Nacional de Meteorologia (2017). *Dados de precipitação para estação Uberaba-A568*. Recuperado em: 1 junio, 2018, de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>
- Jones, C.A. (1981). Proposed modifications of the diagnosis and recommendation Integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. *Communications in soil science and plant analysis*, 12 (8), 785-794.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas* (638p). São Paulo: Agrônômica Ceres.
- Nziguheba, G., et al. (2009). Assessment of nutrient deficiencies in maize in nutrient omission trials and long-term field experiments in the West African Savanna. *Plant and soil*, 314 (1-2), 157-143. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9714-1>.
- Nolla, A., et al. (2015). Disponibilidade de nutrientes e fitotoxidez de alumínio: influência da complexação por ligantes na solução do solo. *Journal of Agricultural Science*, 4 (nesp), 1-16.
- Novais, R. F., Smyth, T. J., & Nunes, F. N. (2007a). Fósforo. In: Novais, R. F., et al (Ed.). *Fertilidade do solo* (cap. 8, pp.472-537). Viçosa: SBCS.

Novais, R. F., et al (Ed.). (2007b). *Fertilidade do Solo* (1017p). Viçosa: SBCS.

Queiroz, A. A., et al. (2014). Productivity and establishment of DRIS indices for tubers of the potato cultivar 'Agata'. *Revista Ciência Agronômica*, 45 (2), 351-360.

Reis, A. R., et al. (2014). Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. *Informe Agronomico*, (147), 0-24.

Rolim, G. S., et al. (2007). Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, 66 (4), 711-719.

Santos, H. G., et al. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (3 ed., rev. ampl., 353p). Brasília: Embrapa solos.

Silva, G. G. C., & Neves, J. C. L. (2005). Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29 (5), 755-766.

Tomaz, M. A., et al. (2011). Eficiência de absorção e utilização de boro, zinco, cobre e manganês em mudas enxertadas de cafeeiro. *Revista Ceres*, 58 (1), 108-114.

Urano, E. O. M., et al. (2006). Avaliação do estado nutricional da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41 (9), 1421-1428. Recuperado de: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/7298>

Urano, E. O. M., et al. (2007). Determinação de teores ótimos de nutrientes em soya pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 31 (1), 63-72.

Wadt, P. G. S. (2005). Relationships between soil class and nutritional status of coffee crops. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 29 (2), 227-234. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000200008>

Recebido em: 04/03/2019
Aceito em: 11/06/2020