

PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE PLANTAS DE FRIJOL SOMETIDAS A DESECACIÓN POR HERBICIDAS EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS.

Iasmin K. A. Costa da Silva¹, Paulo R. Ribeiro-Rocha¹, Oscar José Smiderle², Sonicley da Silva Maia¹, Thaís Santiago-Castro¹, Glauber Ferreira-Barreto¹ y Miguel A. Maffei V.³

RESUMEN

El uso de herbicidas en la pre-cosecha de frijol procura aumentar la uniformidad de maduración de plantas y vainas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la productividad y la calidad fisiológica de la semilla en plantas de frijol sometidas a desecación promovida por herbicidas aplicados en dos etapas fenológicas. Fueron conducidos dos experimentos tanto en campo como en laboratorio. En campo se instaló un diseño de bloques al azar en esquema factorial (3x2+1). Fue utilizado diquat (2 L·ha⁻¹), flumioxazin (60 g·ha⁻¹) y la mezcla de ambos (di-flu) en dos etapas fenológicas de la planta (80 y 90 % de las vainas maduras), además de un tratamiento control (sin herbicida), todo repetido cuatro veces. Se cuantificaron variables de productividad y rendimiento. En laboratorio, se evaluó la calidad fisiológica de las semillas. Los herbicidas aplicados con 80 % y 90 % de vainas maduras no influyeron en el rendimiento del grano. Diquat y di-flu adelantaron la cosecha en seis días sin afectar el rendimiento del frijol. La desecación con 90 % de las vainas maduras influyó positivamente en la calidad de la semilla. La aplicación del herbicida a las plantas en la etapa fenológica de 80 % de vainas maduras influye negativamente en la calidad de la semilla del frijol.

Palabras clave adicionales: Anticipación de la cosecha, germinación, madurez fisiológica, *Vigna unguiculata*.

ABSTRACT

Productivity and physiological quality of bean plants seeds subjected to drying by herbicides in different phenological stages

The use of herbicides in the pre-harvest of cowpea beans seeks to increase the uniformity of maturation of plants and pods. The objective of this work was to evaluate the productivity and physiological quality of bean seeds in plants subjected to desiccation promoted by herbicides applied in two phenological stages. Two experiments were conducted, in field and laboratory. In the field, a randomized block design was developed in a factorial scheme (3x2+1). Diquat (2 L·ha⁻¹), flumioxazin (60 g·ha⁻¹), and the mixture of both products (di-flu) were used in two phenological stages of application (80 and 90 % of the mature pods), repeated four times. A control treatment (without herbicide) was included. In the field, productivity and performance variables were evaluated. In the laboratory, the physiological quality of the seeds was evaluated. Herbicides applied with 80 % and 90 % mature pods did not influence grain yield. Diquat and di-flu anticipated harvest in six days without affecting bean yield. The desiccation with 90 % of ripe pods positively influenced the quality of seed. The application of the herbicide to the plants in the phenological stage of 80 % of mature pods negatively influences the quality of the bean seed.

Additional keywords: Germination, harvest anticipation, physiological maturity, *Vigna unguiculata*.

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) conocido en Brasil como feijão-caupi, es un cultivo que despierta interés económico mundial, ya que presenta características como rusticidad y practicidad, a la vez de poseer alto potencial nutricional. Tales ventajas favorecieron la aceptación de este cultivo por parte de grandes

productores brasileños, lo que ha traído como respuesta un aumento en la expansión del área de cultivo y con ello mayor demanda de semillas de calidad (Raisse et al., 2020).

Un aspecto de extrema importancia en la producción de semillas de frijol de alta calidad es el concerniente al momento de la cosecha la cual debe realizarse cuando los granos alcancen la,

Recibido: Enero 6, 2022

Aceptado: Septiembre 26, 2022

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Roraima (UFRR), Brasil
e-mail: iasmin.kele5@gmail.com (autor de correspondência); paulo.rocha@ufrr.br; sony_maia@hotmail.com; thaiscastro.agr@gmail.com; glauberfbarreto@gmail.com;

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Roraima, Brasil. e-mail: oscar.smiderle@embrapa.br

³ Departamento de Ingeniería, NURR-Trujillo, Universidad de Los Andes, Venezuela. e-mail: migmaffei@ula.ve

madurez fisiológica, es decir, la etapa en la que las semillas presentan la máxima acumulación de materia seca y se espera el mayor vigor al momento de la germinación.

Por lo anterior, es importante cosechar cuando la semilla esté fisiológicamente madura, que según Marcos (2015), es el momento inmediatamente posterior al desprendimiento fisiológico de la planta madre. Sin embargo, el contenido de agua presente en la semilla es alto, así como también existe presencia de hojas y ramas verdes en la planta, lo que dificulta la recolección mecanizada.

Otra característica que favorece la aceptación de este cultivo es el hecho de que tiene un ciclo corto, de hasta 70 días (Gonçalves et al., 2009); sin embargo, el retraso en la cosecha provoca una merma en la calidad de las semillas. Lo mismo con la cosecha temprana, tal como lo observaron Assis et al. (2019) en el que las plantas secadas con sólo 70 % de vainas maduras redujeron la calidad de la semilla, especialmente cuando se expusieron a variaciones climáticas desfavorables por un período prolongado de tiempo (Terasawa et al., 2009).

Una alternativa para paliar este inconveniente es el uso de herbicidas desecantes antes de la cosecha. Esta técnica reduce el tiempo de exposición de la semilla en el campo, anticipa y facilita la cosecha mecanizada, manteniendo su calidad. No obstante, es importante estudiar la relación entre las condiciones climáticas de cada región, la clase de herbicida a utilizar y el tiempo de aplicación, ya que esto influye directamente en la productividad y la calidad de la semilla producida (Pereira et al., 2015).

Estudios llevados a cabo por Silva et al. (2020a) demostraron que la aplicación de herbicidas en la etapa de maduración R5 de frijol cv. BRS Guariba reduce el tiempo de cosecha, pero afecta su productividad. Por su parte, Assis et al. (2019), en una experiencia con frijol utilizando paraquat, glufosinato-amonio, glifosato y la mezcla comercial paraquat+diuron aplicados en diferentes momentos, encontraron que no hubo reducción en la calidad de la semilla después de la cosecha, aunque registraron bajo rendimiento del cultivo.

Se han desarrollado varios estudios que abordan el tema del uso de herbicidas como desecantes para diversos cultivos, como soja (*Glycine max*) (Marchi et al., 2021), frijol común (*Phaseolus vulgaris*) (Lima et al., 2018), sorgo (*Sorghum bicolor*) (Barros et al., 2019) y trigo (*Triticum*

(Souza et al., 2020). Sin embargo, para el cultivo de frijol existen pocos trabajos que puedan orientar a los agricultores en la elección del desecante adecuado, especialmente en la región norte de Brasil. Toda la información que se pueda generar en esta línea de investigación, puede promover el uso de esta tecnología por parte de los productores y contribuir a la expansión de áreas de cultivo para la producción de semilla de frijol.

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar la productividad y calidad fisiológica de semillas de frijol sometidas a desecación promovida por herbicidas aplicados en dos etapas fenológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en dos etapas: Experimento I (campo) y Experimento II (laboratorio), de febrero a junio de 2019.

Experimento I - Productividad del frijol

Esta etapa se realizó en el área experimental del Centro de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Roraima - CCA/UFRR, en el municipio de Boa Vista, Roraima, Brasil; geográficamente se encuentra localizado en las coordenadas 02°52'04" N, 60°42'38" W, y 90 msnm.

El clima predominante en la zona es del tipo Aw de acuerdo a clasificación de Köppen, caracterizado como tropical lluvioso, caluroso y húmedo (Barni et al., 2020), posee una temperatura media de 25 °C y precipitaciones anuales de 1534 mm, distribuidas irregularmente, con el período más lluvioso entre los meses de abril a septiembre (Alvares et al., 2013); el suelo del área experimental fue clasificado como Geric Xanthic Ferralsol, de textura franco-arenosa.

Antes de la implementación del cultivo en el campo, se recolectaron muestras de suelo de 0 a 0,20 m de profundidad para determinar las siguientes características químicas y físicas: pH 5,4, materia orgánica 9,0 g·L⁻¹, P 7,0 mg·L⁻¹ (Mehlich-1), K 62 mg·L⁻¹, Ca 1,3 cmol·L⁻¹; Mg 0,6 cmol·L⁻¹; H+Al 2,0 cmol·L⁻¹; Al 0,1 cmol·L⁻¹, CIC: 4,06 cmol·L⁻¹ y saturación con bases 50,7 %. Con base en estas características de fertilidad del suelo, se establecieron la corrección y fertilización siguiendo las recomendaciones de Uchôa et al. (2009).

El área de siembra se preparó de forma convencional (un pase de arado y dos de rastra). El cultivar de frijol utilizado fue el BRS Guariba con hábito de crecimiento indeterminado, tamaño semi-

erecto, el cual presenta flores blancas, con una ocurrencia promedio de 41 días después de la siembra, vaina púrpura en su madurez, las cuales miden alrededor de 17,8 cm de longitud. Su ciclo de cultivo es de 70 días. Las semillas son blancas, con tegumento liso.

El experimento se diseñó en bloques al azar, en un arreglo factorial (3x2+1). El primer factor consistió en la aplicación de dos herbicidas (diquat, 2 L·ha⁻¹; flumioxazin, 60 g·ha⁻¹) y la mezcla de ambos (di-flu); y el segundo factor estuvo representado por la aplicación de herbicida en dos etapas fenológicas (80 y 90 % de vainas maduras). Se usó un tratamiento control (sin herbicida), todo con cuatro repeticiones. Las dosis utilizadas siguieron las recomendaciones del fabricante.

La unidad experimental consistió en cinco hileras de 5 m de largo, espaciadas en 0,5 m, con tres hileras centrales como área útil, descartando 0,5 m en los extremos frontales. La siembra se realizó en surcos, los cuales se abrieron manualmente y se distribuyeron diez semillas por metro lineal. Luego de la emergencia de las plántulas, se realizó un entresaque, dejando seis plantas por metro lineal, lo que proporcionó una población de 120.000 plantas·ha⁻¹.

Para el control de las malas hierbas se realizó el deshierbe manual 15 días después de la siembra, y una aplicación de Decis 25 EC (Deltametrina) en dosis de 200 mL·ha⁻¹ poco después de la plena floración del frijol, para el control de los pulgones. En cada etapa fenológica, correspondiente a los tratamientos, se aplicaron los herbicidas en horas de la mañana, cubriendo toda la planta y utilizando un pulverizador de mochila presurizado con CO₂. Se utilizaron boquillas de doble abanico a una presión de 0,2 MPa a un paso de aplicación previamente calibrado, lo que garantizó un volumen de aspersión de 220 L·ha⁻¹.

Las vainas fueron cosechadas manualmente cuando las semillas presentaban entre 13 y 15 % de humedad. En esta etapa, se evaluaron las siguientes variables:

- Contenido de humedad de la semilla determinado mediante un medidor digital de humedad de grano marca Gehaka modelo G650.
- Masa de 100 semillas, obtenida de tres muestras de 100 semillas, pesadas en una balanza con precisión de 0,01 g, y corregida para 13 % de humedad mediante la relación de masa húmeda de la semilla*(100 - humedad)/87.

- Productividad, estimada por la producción obtenida en el área útil de cada parcela y extrapolada a una hectárea, luego de corregir el contenido de humedad de las semillas al 13 %.

Experimento II - Calidad de las semillas

Las semillas de frijol obtenidas se envasaron en bolsas de papel *kraft* de color blanco y se mantuvieron durante 15 días a 24 °C. Luego de este período, las semillas fueron evaluadas en el Laboratorio de Análisis de Semillas de Embrapa, en Boa Vista, Roraima, considerando las siguientes variables:

- Contenido de humedad de la semilla, mediante gravimetría a partir de muestras de 10 g secadas en estufa ventilada a 105 °C durante 24 horas.
- Tamaño de semillas, determinada por el tamaño predominante de semillas retenidas en tamices; las muestras de cada parcela, luego de ser pesadas, se pasaron por un juego de tamices metálicos de orificios oblongos. Luego, cada fracción retenida fue pesada y el resultado se expresó en porcentaje del total. Sólo los datos relacionados con el tamiz de orificios grandes (dimensiones de 4,5 x 22 mm) (semillas grandes) fueron presentados y discutidos en el análisis de calidad fisiológica, ya que mostraron una retención de semillas superior al 90 %.
- Germinación, evaluada de acuerdo con las Reglas de Análisis de Semillas (Brasil, 2009). Las semillas de cada tratamiento se dispusieron en 4 repeticiones de 50 semillas. La siembra se realizó sobre una hoja de papel *Germitest* humedecido con una cantidad de agua destilada equivalente a 2,5 veces el peso del papel seco y se colocó en un germinador a una temperatura constante de 25 °C. Al quinto día se realizó el primer recuento de germinación, y al séptimo día se llevó a cabo el recuento de plántulas normales y anormales; estas últimas correspondían a aquellas con malformaciones en la parte aérea y las raíces.
- Emergencia de plántulas en arena, se realizó en un cantero de 1 m de ancho por 10 m de largo. Se utilizaron 4 repeticiones de 50 semillas bajo condiciones de temperatura y luminosidad propias de la zona. Desde el inicio de la emergencia se realizaron conteos diarios para determinar el porcentaje de plántulas emergidas.
- Índice de velocidad de emergencia, realizado con base a lo propuesto por Maguire (1962), mediante la ecuación $IVE = \sum (Gt / Tt)$, donde Gt es el porcentaje de plántulas germinadas el día del conteo, y Tt es el día del conteo.

f) Conductividad eléctrica. Esta medición estima la integridad de la membrana celular de la semilla, dado que ésta libera electrolitos a medida que pierde integridad y, en consecuencia, la solución presentaría mayor conductividad eléctrica (Tavares et al., 2016). Se utilizaron 4 repeticiones de 50 semillas intactas, las cuales se pesaron en una balanza con precisión de 0,01 g; luego se sumergieron en 75 mL de agua desionizada, en vasos plásticos de 200 mL por 24 horas en cámara regulada a 25 °C (Vieira et al., 2002). Se utilizó un conductímetro Q-405M para tomar las lecturas del lixiviado en la solución.

g) Masa seca de plántula. Las semillas de cada tratamiento se dispusieron en 4 repeticiones con 10 semillas cada una, y la siembra se realizó siguiendo el mismo protocolo que para la prueba de germinación. A los 7 días, las plántulas de cada tratamiento se colocaron en un horno de circulación forzada durante 72 horas a 60 °C. Después de este período, se determinó la masa seca de plántula, la masa seca de raíces y la relación de las masas plántula/raíz.

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza, y cuando se constató significancia ($P \leq 0,05$), se compararon las medias del

comportamiento de los herbicidas en cada período de desecación, así como las etapas de desecación para cada herbicida mediante la prueba de Tukey. Para comparar los tratamientos con herbicidas en relación al tratamiento control, se utilizó la prueba de Dunnett.

Los análisis se realizaron con la ayuda del paquete ExpDes.pt del R Core Team (2018). Para determinar el grado de asociación entre los tratamientos y las variables analizadas, se aplicó un análisis multivariado de componentes principales utilizando el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2008) el cual permitió determinar de forma más precisa el efecto de la aplicación de herbicidas en las dos etapas fenológicas del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento de campo, se encontró que la humedad y la masa de 100 semillas no presentaron diferencias significativas para los factores evaluados. Tampoco hubo significancia en la interacción herbicida x estadio fenológico (Cuadro 1). Sin embargo, hubo diferencias en la productividad del frijol en los tratamientos con herbicidas, en los que el diquat y la mezcla di-flu promovieron mayor productividad que el flumioxazin.

Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza y prueba de medias de los datos de humedad (HUM), masa de 100 semillas (M100) y rendimiento (PROD) de semillas de frijol tratadas con herbicidas antes de la cosecha en dos etapas fenológicas, y sin desecación (control)

Fuentes de Variación	GL	Cuadrados Medios		
		HUM (%)	M100 (g)	PROD (kg·ha ⁻¹)
Bloque	3	0,2347 ns	0,2716 ns	13.115,97 ns
Herbicida (H)	2	1,3737 ns	0,2109 ns	13.831,89 *
Estadio fenológico (EF)	1	0,96 ns	1,1336 ns	39.696,59 ns
H x EF	2	0,0237 ns	0,6044 ns	10.229,85 ns
Control x Tratamientos	1	0,6942 ns	0,5108 ns	32.660,10 ns
Residuo	18	0,41171	0,79542	31.089,24
CV (%)		7,69	4,41	11,85
Herbicida		Medias		
Diquat		8,53 a	20,32 a	1575,63 a
Flumioxazin		7,94 a	19,99 a	1349,66 b
Di-flu		8,74 a	20,15 a	1579,13 a
Control		7,95	20,54	1403,87

Medias sccon letras distintas en la columna indican diferencias según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación; ns: no significativo; *: significativo al 5 % según la prueba F; Di-flu: diquat, 2 L·ha⁻¹+flumioxazin, 60 g·ha⁻¹

Al comparar la productividad del frijol obtenida en esta investigación con la productividad de 1.151 kg·ha⁻¹ del estado de Roraima (IBGE, 2021), se observa que en las condiciones de sabana de Roraima, con un manejo agronómico adecuado, tal como el empleado en el presente ensayo, es posible obtener un incremento de la productividad de hasta un 37 %.

Por su parte, Silva et al. (2020b), en una experiencia en el estado Goiás (región Centro-Oeste) reportaron bajos rendimientos del cv. BRS Guariba cuando se aplicaron los herbicidas desecantes a los 78 días después de la siembra (estadio R5), que correspondió al momento cuando al menos una vaina tenía 70 % de humedad en las semillas. Esto demuestra la importancia de realizar estudios similares, en las diferentes condiciones climáticas de Brasil, y en distintas etapas fenológicas del cultivo, ya que no basta con anticipar la cosecha, sino que es necesario garantizar una alta productividad.

Se observó que el herbicida diquat y la mezcla di-flu mostraron potencial para anticipar la cosecha de frijol, sin interferir con el rendimiento del cultivo. Al aplicarse con el 80 % de las vainas maduras, redujeron el ciclo de cultivo en seis días, en promedio, en comparación con el testigo, registrándose un ciclo de 58 días después de la siembra. Para la aplicación con el 90 % de las vainas maduras, la reducción en el ciclo del cultivo fue de aproximadamente cuatro días. No hubo anticipación de cosecha para el tratamiento con flumioxazin en las dos etapas fenológicas estudiadas y se observó un comportamiento similar al testigo.

Diquat es un herbicida de contacto que tiene una rápida acción en presencia de la luz, lo que permite su uso como desecante en precosecha (Roman et al., 2005), a la vez que no presenta incompatibilidad cuando se mezcla con flumioxazina, un herbicida cuyo modo de acción inhibe la enzima protoporfirinogeno oxidasa, Prottox (Oliveira, 2011); a pesar de ser también un herbicida de contacto, tiene una acción más lenta en comparación con el diquat. Según estudios realizados por Raisse et al. (2020) ambos herbicidas fueron eficientes en anticipar la cosecha de frijol cv. BRS Tumucumaque, aplicándolos cuando las plantas tenían 55 % de vainas maduras

(R4), y lograron anticipar la cosecha 9 y 6 días con diquat y flumioxazin, respectivamente. Por su parte, Silva et al. (2020b) anticiparon la cosecha en 10 y 2 días, respectivamente, en el estadio R5 del cv. BRS Guariba cuando aplicaron paraquat y flumioxazin.

Esta técnica de desecación, asociada al monitoreo meteorológico de la región, es importante para que el productor pueda elegir en qué etapa fenológica aplicar el herbicida, ya que la anticipación de la cosecha es un punto importante cuando el foco está en la producción de semillas. Cuanto menor sea el tiempo de exposición de la semilla al campo, menor será el riesgo de pérdidas por factores bióticos y abióticos desfavorables, asegurando una cosecha de semillas con alto potencial fisiológico (Terasawa et al., 2009).

Con relación al análisis de la calidad fisiológica de las semillas, las variables humedad de la semilla, índice de velocidad de emergencia y masa seca de la raíz no mostraron diferencias significativas para ninguno de los tratamientos aplicados (datos no mostrados). Tampoco hubo significancia en la interacción herbicida x estadio fenológico. El resultado del resto de las variables puede observarse en el Cuadro 2, donde se destaca su significancia en función de los tratamientos de herbicidas y de la etapa fenológica.

En la prueba de tamaño de la semilla, hubo diferencias significativas cuando el tratamiento se aplicó en diferentes etapas fenológicas, independientemente del desecante utilizado. Se observó que la proporción de semillas grandes fue mayor cuando las plantas se desecaron en la etapa fenológica del 90 % de las vainas maduras, comparado con las semillas de la etapa fenológica del 80 % (Cuadro 3). Este resultado puede estar asociado al daño que los herbicidas causan a las membranas celulares de las semillas cuando éstas no han alcanzado aún la etapa de maduración fisiológica (Marcos, 2015), incluso este efecto puede ser más intenso en cultivares con hábitos de crecimiento indeterminados (Silva et al., 2020b). Así, se infiere que las semillas secadas en la etapa fenológica con 90 % de vainas maduras tuvieron más tiempo para acumular nutrientes y materia seca presentando así un mayor tamaño.

Cuadro 2. Análisis de varianza para semillas grandes (SG), primer recuento de germinación (PCG), plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), emergencia en arena (EMG), conductividad eléctrica (CE), masa seca de plántula (MSP) y relación plántula/raíz (MSP/R), de semillas de frijol en función de tratamientos con herbicidas y la etapa fenológica

FV	GL	Cuadrados medios							
		SG	PCG	PN	PA	EMG	CE	MSP	P/R
		----- % -----					$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	----- g -----	
H	2	0,0003 ns	45,5**	2,67 ns	2,67 ns	6,0*	26,8 ns	0,000 ns	0,007 ns
EF	1	0,0022**	8,17 ns	24,0 *	24,0 *	24,0 *	221,4**	0,000 ns	0,001 ns
H x EF	2	0,0002 ns	8,17 ns	6,0 ns	6,0 ns	2,0 ns	81,5 ns	0,000 ns	0,001 ns
C x T	1	0,0002 ns	36,21**	0,59 ns	0,59 ns	13,7**	1,4 ns	0,000*	0,085**
Residuo	21	0,0003	0,0003	3,52	3,36	3,37	1,14	24,4	0,0002
CV (%)		1,91	1,97	1,96	1,96	1,11	3,63	34,10	2,75

FV: fuente de variación; H: herbicida; EF: estadio fenológico; C: control; T: tratamiento; GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación; ns: no significativo; *, **: significativo al 5 % y 1 %, respectivamente, mediante la prueba F

Cuadro 3. Valores medios de la proporción de semillas grandes (SG), primer recuento de germinación (PCG), plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), emergencia en arena (EMG), conductividad eléctrica (CE), masa seca de plántula (MSP) y relación plántula/radicula (P/R) de semillas de frijol en función de tratamientos con herbicidas en dos etapas fenológicas, y un control

EF	SG	PCG	PN	PA	EMG	CE	MSP	P/R
		----- % -----				$\mu\text{S cm}^{-1}$	----- g -----	
80 %	0,928 b	95,0 a	93,0 b	7,0 a	95,0*b	139,3 a	0,042 a	0,369 a
90 %	0,947 a	96,0 a	95,0 a	5,0 b	97,0*a	133,2 b	0,042 a	0,382 a
Herbicida								
Diquat	0,939 a	94,0 b	93,0 a	7,0 a	97,0 a	137,9 a	0,040 a	0,366 a
Flumioxazin	0,943 a	96,0 b	94,0 a	6,0 a	96,0 b	134,3 a	0,045 a	0,354 a
Di-flu	0,931 a	98,0 a	94,0 a	6,0 a	96,0 b	136,6 a	0,041a	0,409 a
Tratamientos	0,937 a	0,062 a	96,0*a	94,0 a	6,0 a	96,0*b	136,9 a	0,035 b
Control	0,945 a	93,0 b	93,0 a	7,0 a	98,0 a	136,3 a	0,042 a	0,053 a
DMS (Dunnett)	0,04	0,04	3,00	4,17	4,17	1,80	11,2	0,03

Medias seguidas de letras minúsculas similares en la columna no difieren por la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$), y las medias seguidas por un asterisco (*) difieren del tratamiento de control por la prueba de Dunnett ($P < 0,05$). EF: etapa fenológica; Di-flu: diquat, 2 L·ha⁻¹+flumioxazin, 60 g·ha⁻¹

En este sentido, es fundamental aplicar el desecante en el momento adecuado, ya que según Assis et al. (2019) la aplicación de desecantes cuando las plantas presentan sólo el 50 % de las vainas formadas provoca una mayor proporción de semillas más pequeñas.

La aplicación de herbicidas en las dos etapas fenológicas del frijol estudiadas no interfirió con el primer recuento de germinación (Cuadro 3). Sin

embargo, en cuanto a herbicidas, la mezcla di-flu mostró los mayores porcentajes de germinación, en comparación con diquat y flumioxazin actuando independientemente. También se observó la superioridad del tratamiento con di-flu sobre el tratamiento sin herbicida (control) para esta variable. Raisse et al. (2020) obtuvieron resultados similares, en el que las plantas desecadas con flumioxazin y diquat tuvieron mayores porcentajes

de semillas germinadas con relación al testigo en el primer recuento de germinación.

Las plántulas normales y anormales se vieron afectadas cuando se aplicaron herbicidas en la etapa fenológica con el 80 % de las vainas maduras, presentando menor porcentaje de germinación de las plántulas normales y mayor de las anormales en comparación con la etapa fenológica con el 90 %. Esto sugiere que la semilla de frijol posiblemente no habría alcanzado la madurez fisiológica completa, presentando un mayor número de plántulas anormales en la primera etapa fenológica estudiada. Por otro lado, no se detectaron diferencias en el porcentaje de plántulas normales y anormales cuando se sometieron a diferentes desecantes; tampoco difirieron significativamente del tratamiento control (Cuadro 4). Estos resultados guardan relación con lo obtenido en la prueba del tamaño de las semillas, en la cual hubo mayor retención de semillas grandes en la etapa fenológica del 90 %. Estos granos de mayor tamaño presentan mayor cantidad de reservas de nutrientes, lo que permite mayores porcentajes de germinación. En general, las semillas obtenidas en este trabajo presentaron promedios de germinación superiores al 90 %, mientras que el mínimo requerido para la comercialización de semillas en el país es del 80 % (Brasil, 2009).

Los estudios llevados a cabo por Assis et al. (2019) recomiendan no hacer aplicaciones secuenciales de paraquat+paraquat y paraquat +diuron, cuando las plantas presenten el 50 % de las vainas formadas, ya que afecta negativamente la germinación del cv. Brs tumucumaque. Silva et al. (2021) aplicaron dosis crecientes de flumioxazin para desecar el cv. Brs Guariba, y encontraron que la aplicación de 40 g·ha⁻¹ del producto comercial anticipó la cosecha sin interferir en la calidad inicial de las semillas de frijol.

Para la variable emergencia en arena se observó que en la segunda etapa fenológica con 90 % de vainas maduras hubo un mayor porcentaje de emergencia en comparación con la primera etapa fenológica. En cuanto a herbicidas, el diquat presentó un porcentaje de emergencia superior a los tratamientos con flumioxazin y la mezcla di-flu. Y al comparar con el tratamiento control, se observa que estos herbicidas interfirieron negativamente en la emergencia de la plántula. En términos generales los valores de emergencia fueron aceptables, con

medias superiores al 95 % (Cuadro 4). Según los resultados obtenidos por Marchi et al. (2021), el flumioxazin causó reducciones en el vigor de la semilla de soya, pero no afectó significativamente la germinación, ni la calidad general de las semillas. Por su parte, Raisse et al. (2020) obtuvieron semillas con germinación superior al 80 % en plantas desecadas con flumioxazin y diquat. Silva et al. (2020b) indicaron que la aplicación de flumioxazin, en el estadio R5, no afectó la emergencia de las plántulas a partir de las semillas de las plantas desecadas.

La conductividad eléctrica fue mayor en semillas recolectadas de plantas desecadas en la etapa fenológica de 80 %. No hubo diferencias significativas entre los herbicidas y el tratamiento control (Cuadro 4). Dado que la semilla sufre una pérdida gradual de su integridad después de la cosecha hasta la muerte, un proceso que promueve una mayor liberación de electrolitos (Tavares et al., 2016), se puede inferir que las semillas secadas en la primera etapa fenológica posiblemente no habrían completado su madurez fisiológica, y la aplicación de desecantes pudo haber afectado la integridad de la membrana celular, provocando una mayor liberación de electrolitos. Estas semillas, al tener comprometida la permeabilidad selectiva de membrana, pueden tener una calidad fisiológica reducida, lo que influye en un mayor porcentaje de plántulas anormales.

No hubo diferencia significativa en la masa seca de las plántulas cuando se sometieron a diferentes herbicidas, pero los valores fueron superiores al tratamiento control. Lo mismo ocurrió en la relación plántula/raíz; sin embargo, esta variable tuvo un valor menor que el del tratamiento control (Cuadro 4). Similarmente, Silva et al. (2020b) no encontraron cambios en el crecimiento de brotes y raíces de plántulas de frijol cultivadas a partir de semillas de plantas desecadas en la etapa R5 de maduración fisiológica.

El conjunto de las variables analizadas, agrupadas de forma más completa en un análisis de componentes principales, permitió establecer, en las dos etapas fenológicas, los tratamientos que promovieron mayor productividad y mejor calidad fisiológica de las semillas. Estas variables fueron convertidas en dos conjuntos representados por los componentes 1 y 2, en los que se agruparon las variables con mayor variabilidad. En este sentido, se observa en la Figura 1 que las variables están

representadas por vectores de color rojo y verde, de manera que cuando el ángulo entre vectores es bajo existió alta correlación entre ellos, mientras que vectores en una misma dirección o en direcciones opuestas indicaron correlaciones positivas o negativas, respectivamente.

Del análisis se extrae que los componentes 1 y 2 explicaron el 58,6 % de la variabilidad, con un coeficiente de correlación de 0,841 (Figura 1). Se observa que la productividad y la masa de 100 semillas del frijol están fuertemente correlacionadas entre sí. También se correlacionan

con la masa seca de la raíz y semillas grandes, y en menor grado con la emergencia de plántulas y relación plántula/raíz. El herbicida que influyó en la agrupación de estas variables fue el diquat, y en menor grado el di-flu, ambos en la etapa fenológica del 90 %. La humedad de la semilla influyó en los valores de plántulas normales, primer recuento de germinación, masa seca de las plántulas y masa seca total. Los herbicidas que influyeron en la agrupación de estas variables fueron flumioxazin y la mezcla di-flu aplicados en la etapa del 90 %.

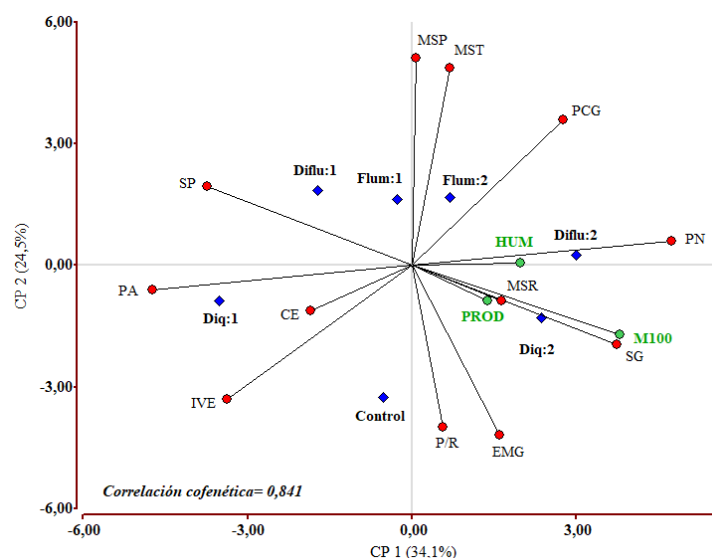


Figura 1. Análisis de componentes principales de las variables de calidad de semillas de frijol sometidas a desecación previa a la cosecha en diferentes etapas fenológicas. PROD= productividad; M100=masa de 100 semillas; HUM=humedad de la semilla; PCG=primer recuento de germinación; PN=plántulas normales; PA=plántulas anormales; EMG= emergencia de plántulas en arena; IVE=velocidad de emergencia; CE=conductividad eléctrica; MSP=masa seca de plántulas; MSR=masa seca de raíces; MST=masa seca total; P/R=relación plántula/raíz; SG=semillas grandes; SP=semillas pequeñas; Diq:1=diquat en etapa fenológica 80 %; Diq:2=diquat en etapa fenológica 90 %; Flu:1=flumioxazin en etapa fenológica 80 %; Flu:2=flumioxazin en etapa fenológica 90 %; Diflu:1=diquat+flumioxazin en etapa fenológica 80 %; Diflu:2=diquat+flumioxazin en etapa fenológica 90 %; Control=sin aplicación

Hubo una correlación positiva entre las variables plántulas anormales, conductividad eléctrica y velocidad de emergencia, siendo influenciada por el uso de diquat aplicado en la etapa fenológica del 80 %.

Estos resultados enfatizan la importancia de realizar estudios en diferentes condiciones climáticas en Brasil, evaluando factores inherentes a las etapas fenológicas de las plantas y los efectos de diferentes herbicidas. A través de estudios como

este es posible obtener resultados precisos para las especificidades de cada región.

CONCLUSIONES

Los herbicidas aplicados a plantas con 80 % y 90 % de vainas maduras no influyen en el rendimiento de grano del frijol cv. BRS Guariba.

Las plantas desecadas en la etapa fenológica 80 % de las vainas maduras liberan mayor cantidad de

lixiviación de electrolitos, mayor porcentaje de plántulas anormales y menor emergencia en arena, lo que influye negativamente en la calidad de la semilla del frijol.

Los herbicidas diquat y la mezcla diquat+flumioxazin pueden anticipar la cosecha hasta en seis días sin afectar el rendimiento. La flumioxazina no anticipa la cosecha del frijol.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Federal de Roraima (UFRR) por el apoyo financiero a través del Programa Institucional de Apoyo a la Investigación (PROPESQUISA/PRPPG-UFRR). Al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) por la beca de iniciación científica del primer autor. Y a Embrapa por el apoyo técnico en la realización de los análisis.

LITERATURA CITADA

1. Assis, M., E. Araujo, F. Freitas, L. Silva y R. Araujo. 2019. Pre-harvest desiccation in productivity and physiological quality of cowpea seeds. *Planta Daninha* 37: 1-11.
2. Alvares, C.A., L.J. Stape, P.C. Sentelhas, J.L.M. Gonçalves y G. Sparovek. 2013 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6): 711-728.
3. Barni P.E., R.I. Barbosa, H.A.M. Xaud, M.R. Xaud y P.M. Fearnside. 2020. Precipitação no extremo norte da Amazônia: distribuição espacial no estado de Roraima, Brasil. *Sociedade & Natureza* 32: 439-456.
4. Barros, A.F., L.D. Pimentel, F.C.L. Freitas, P.R. Cecon, A.C. Tomaz, E.A.M. Sousa, et al. 2019. Dessecação pré-colheita em sorgo granífero: Qualidade fisiológica das sementes e efeito sobre a rebrota. *Agraria* 14: 1-8.
5. Brasil. 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília. <https://n9.cl/5aow> (consulta de septiembre 26, 2022).
6. Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C.W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://n9.cl/paq54k> (consulta de septiembre 26, 2022).
7. Gonçalves, J.R.P., J.R.A. Fontes, M.C. Dias, M.M. Rocha y F.R. Freire Filho. 2009. BRS Guariba–Nova Cultivar de Feijão-Caupi para o Estado do Amazonas. Embrapa, Comunicado Técnico 78.
8. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2021. <https://n9.cl/urbtn> (consulta de agosto 5, 2021).
9. Lima, H.M., L.O.B. Schuch, G.E. Meneghello, T.Z. Aumonde y T. Pedo. 2018. Qualidade fisiológica de sementes de feijão em função da dessecação química das plantas. *Revista Científica Rural* 20(2): 180-187.
10. Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2(1): 176-177.
11. Marchi, C.S., A.J.P. Albrecht, L.P. Albrecht, F.P. Novakoski, A.F.M. Silva y T.T. Mundt. 2021. Quality of soybean seeds under application of herbicides or growth regulators. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 16(1): 1-6.
12. Marcos-Filho, J. 2015. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2° ed., Abrates, Londrina.
13. Oliveira Jr., R.S. 2011. Mecanismos de ação de herbicidas - Biologia e manejo de plantas daninhas 22° ed. Omnipax, Curitiba.
14. Pereira, T., C.M.M. Coelho, C.A. Souza, A. Mantovani, V. Mathias. 2015. Dessecação química para antecipação de colheita em cultivares de soja. *Semina: Ciências Agrárias* 36(4): 2383-2394.
15. R Core Team 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
16. Raisse, E.R., M.D.O. Assis, E.F. Araujo, F.C.L.D. Freitas y R.F. Araujo. 2020. Chemical desiccants for anticipation of harvest and physiological quality of cowpea seeds. *Revista Caatinga* 33(4): 878-887.
17. Roman, E.S., L. Vargas, M.A. Rizzardi, L. Hall, H. Beckie y T.M. Wolf. 2005. Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação. Gráfica Editora Berthier, Passo Fundo.

18. Silva, B.M.C., D.E.C. Oliveira, B. Lima Farias, V.S. Costa, V.B. Ferreira, M.R.G. Nunes y O. Resende. 2020a. Influência da secagem na qualidade fisiológica e coloração das sementes de feijão guandu. *Research, Society and Development* 9(7): e975974789-e975974789.
19. Silva, J.N., E.M. Costa, L.S. Pereira, E.C.Z. Gonçalves, J. Zuchi y A. Jakelaitis. 2020b. Cowpea yield and quality after application of desiccating herbicides. *Journal of Seed Science* 42: e202042019.
20. Silva, J.N., A. Jakelaitis, J. Zuchi, L.S. Pereira, E.M. Costa y C.H.D.L. Silva. 2021. Production and quality of cowpea seeds desiccated with saflufenacil and flumioxazin. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 25: 209-215.
21. Souza, C.A., M.H. Cechinel, D.L.V. Stefen, G.R. Rodolfo y C.M.M. Coelho. 2020. Potencial produtivo e fisiológico de sementes de trigo colhidas em diferentes graus de maturidade em função da aplicação de desseccantes. *Acta Iguazu* 9(3): 43-54.
22. Tavares, C.J.; P.C. Ferreira, A. Jakelaitis, J.D.F. Sales y O. Resende. 2016. Physiological and sanitary quality of desiccated and stored azuki bean seeds. *Revista Caatinga* 29(1): 66-75.
23. Terasawa, J.M., M. Panobianco, E. Possamai y H.S. Koehler. 2009. Antecipação da colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Bragantia* 68: 443-448.
24. Uchôa, S.C.P., J.M.A. Alves, M.S. Cravo, A.J. Silva, V.F. Melo, F.B. Ferreira y M.M.M. Ferreira. 2009. Fertilidade do solo. *In: J.E. Zilli, A.A. Vilarinho y J.M.A. Alves (Orgs.) A cultura do feijão-caupi na Amazônia brasileira*. Boa Vista: Embrapa Roraima. pp.131-183.
25. Vieira, R.D., A.L. Penariol, D. Percin y M. Panobianco. 2002. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 1333-1338.