

Fenología de moringa durante la etapa de vivero, en Maturín Monagas, Venezuela

Moringa phenology during the nursery stage in Maturín, Monagas, Venezuela

Guillermo Sabu Romero-Marcano^{1*}, Ramón Silva-Acuña², Adolfo Enrique Cañizares-Chacín²

¹Departamento de Ingeniería en Producción Animal, Campus Los Guaritos, Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela. Código postal 6202. Correo electrónico: guillermo.ro80@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7324-4354>

²Postgrado en Agricultura Tropical, Campus Juanico, Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela. Código postal 6201. Correo electrónico: drramonsilvaa@gmail.com, acanizares.udomonagas@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1235-9283>, <https://orcid.org/0000-0002-2258-5180>

*Autor para correspondencia

Recibido: 18 de octubre de 2022
Aceptado: 6 de diciembre de 2022
Publicado: 31 de enero de 2023
<https://doi.org/10.33064/iycuaa2023884174>
e4174

Resumen

Con el objetivo de describir las fenofases del cultivo de moringa en vivero, se instaló un ensayo en casa de cultivo. Se observaron dos etapas fenológicas: germinación y desarrollo de hojas. Se identificaron seis fenofases en la germinación: 1-Fase 00: Semilla seca; 2 y 3-Fases 05 y 06: Emisión de radícula y formación de pelos radiculares; 4- Fase 07: Formación del hipocótilo; 5 y 6- Fases 08 y 09: Crecimiento y emergencia del hipocótilo, ocurridas los primeros seis días después de la siembra (dds). La etapa de desarrollo de hojas en plántulas de moringa involucró ocho fenofases: 1- Fase 10: Apertura inicial y total de hojas cotiledonares, y 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8- Fases 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17: correspondientes al desarrollo desde el primer hasta el séptimo par de hojas verdaderas, a los 10, 13, 18, 23, 31, 35 y 39 dds, respectivamente.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, ben, plántula, escala BBCH, fenofases.

Abstract

In order to describe the phenophases of moringa cultivation in the nursery, a trial was installed in the cultivation house. Two phenological stages were observed: germination and leaf development. Six phenophases were identified in germination: 1-Phase 00: Dry seed; 2 and 3- Phases 05 and 06: Emission of radicle and formation of root hairs; 4- Phase 07: Formation of the hypocotyl; 5 and 6- Phases 08 and 09: Growth, emergence of the hypocotyl; occurred the first six days after sowing (das). The leaf development stage in moringa seedlings involved eight phenophases: 1- Phase 10: Initial and total opening of cotyledon leaves; and 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8-

Phases 11, 12, 13, 14, 15, 16 and 17: corresponding to the development from the first to the seventh pair of true leaves, at 10, 13, 18, 23, 31, 35 and 39 days, respectively.

Key words: Moringa oleifera, ben, seedling, BBCH scale, phenophases.

Introducción

La fenología es el estudio de los eventos periódicos naturales involucrados en la vida de las plantas y comprende el desarrollo, la diferenciación e iniciación de órganos o estructuras; trata de fenómenos biológicos vinculados a ritmos periódicos como brotación, floración, fructificación, entre otros, relacionados con el ambiente donde ocurren (Schwartz, 1999). Es una disciplina fenomenológica, es decir, fundamentalmente descriptiva y de observación, que requiere método y precisión en el trabajo de campo (De Cara-García et al., 2008).

Las investigaciones fenológicas se centran en la observación de cambio en la morfología de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos, que se denominan fenómenos fenológicos (Schwartz, 1999; Hack et al., 1992). Los eventos fenológicos son conocidos como fenofases, en ellos, se pueden distinguir dos categorías para las fenofases del ciclo de vida de las plantas: las vegetativas y las reproductivas. Las primeras incluyen básicamente la producción de hojas nuevas y la abscisión de hojas –en ocasiones, ambas fenofases se agrupan bajo el término foliación–. Las fenofases reproductivas son floración y fructificación. Generalmente, la descripción de las fenofases reconoce etapas de desarrollo, por ejemplo, las que corresponden al crecimiento de las yemas foliares, la expansión de la lámina, la senescencia de hojas o flores y la maduración de frutos (Williams-Linera y Meave, 2002).

En agricultura, botánica aplicada, agroquímica y meteorología agrícola se usan los diferentes estados de desarrollo de las plantas con diferentes fines. La relación entre estas disciplinas, así como el trabajo para proyectos internacionales, hacen necesario el uso de un método común de observación. El código BBCH fue elaborado en Alemania, con esta publicación diferentes especialistas lograron describir de manera sistematizada la fenología de varios cultivos, sin incluir a moringa. El uso de esta escala, se está generalizando para el estudio de la fenología y sus aplicaciones a la agricultura y a la climatología (De Cara-García et al., 2008).

El código, categoriza la escala en estadios principales –brotación, foliación, fructificación, maduración, caída de la hoja– que identifican tiempos amplios en el curso del desarrollo de las plantas y estadios secundarios, para describir con precisión fases cortas del desarrollo de las plantas. El código de la escala Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt and Chemical Industry –BBCH– fundamenta la descripción de un estadio fenológico en las características observables

en una planta individual. Si la escala se utiliza para describir el estado de desarrollo de una población de plantas, se deben encontrar en un cierto estadio al menos el 50% de los individuos (Meier, 2001).

El conocimiento de la fenología de cualquier cultivo permite establecer modelos de crecimiento y desarrollo de la especie cultivada; además, de ser útil para apoyar la toma de decisiones a nivel de sistemas de producción (Ramírez, 2014), siendo importante para la apropiada planeación y manejo de prácticas agrícolas como: fertilización, control de enfermedades, insectos y arvenses, entre otras (Arcila et al., 2002).

Moringa oleifera Lam. es un cultivo tropical de origen asiático, distinguido principalmente por producir semillas, con alto contenido de aceite, y follaje de excelente calidad nutricional (Garavito, 2008; Pérez et al., 2010), cualidades que le permiten ser clasificado por la FAO y la OMS como “el alimento de primer orden en el mundo y el descubrimiento del siglo” (Balanzino, 2018). Presenta potencialidades como suplemento alimenticio para la ganadería bovina, así como en dietas para cerdos, conejos, peces y aves (García et al., 2009). Sin embargo, el limitado conocimiento sobre aspectos fenológicos del cultivo, ha restringido el establecimiento y manejo de plantaciones a escala comercial, con el propósito de utilizarlas en la alimentación animal.

En función de lo antes planteado, la presente investigación tiene por objetivo describir las fases fenológicas del cultivo de la moringa, durante la etapa de vivero en condiciones de casas de cultivo.

Materiales y Métodos

El ensayo experimental se condujo en casa de cultivo del postgrado en Agricultura Tropical, Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, *Campus* Juanico (Figura 1), ubicada entre las coordenadas de 9° 45' LN y 63° 11' de LW, con altitud de 65 m (Climate-Data.org, 2020). Esta infraestructura de investigación, pertenece al Departamento de Ingeniería Agronómica de la Escuela de Ciencias del Agro y del Ambiente.



Figura 1. Ensayo sobre fenología de moringa en etapa de vivero en condiciones de casa de cultivo. Fotografía del equipo de investigación.

Para la instalación del ensayo, fueron habilitadas 552 bolsas de vivero, de 2 kg de capacidad. Los envases plásticos fueron colmados manualmente con sustrato preparado a base de suelo arenoso francoso (aF) y estiércol bovino, en relación 7:3 (v/v), ambos materiales provenientes de la Finca "La Campiña", ubicada en la parroquia San Simón, municipio Maturín. Previo al mezclado cada material de forma aislada, fue secado bajo techo y pasado por tamiz de 5 mm.

La caracterización física y química del sustrato empleado se realizó en el Laboratorio de Suelos del Postgrado de Agricultura Tropical, correspondió a las siguientes características: densidad aparente: 1,71 mg/m³; porosidad total: 45,11 %; microporosidad: 41,08 %; macroporosidad: 4,03 %; pH (1:2,5): 6,43; conductividad eléctrica: 0,0053 mS/cm; materia orgánica: 22,18 % y fósforo: 78,8 ppm.

Se utilizó semilla de moringa procedente de la Tomatera de Caicara de Maturín, estado Monagas. La desinfección de las semillas se realizó con solución de hipoclorito de sodio. Para su preparación se empleó 10 ml del cloro comercial Mas®, con 3,5 % de hipoclorito de sodio y 990 ml de agua, y triple enjuague en agua corriente (Figura 2); adicionalmente se mantuvo la semilla en inmersión en agua corriente durante 24 h previo a la siembra. Posteriormente se sembraron dos semillas por bolsa, a 2 cm de profundidad. Previo a la siembra, el sustrato fue saturado con agua corriente y de allí en adelante se aplicó riego interdiario.



Figura 2. Desinfección de semillas previo a la siembra. Lavado en agua clorada (izquierda) y escurrido durante enjuague (derecha). Fotografías del equipo de investigación.

Las bolsas fueron distribuidas en 44 filas de 12 unidades cada una, de las cuales 42 filas centrales fueron consideradas útiles para el estudio; las filas fueron numeradas de forma continua –del 01 al 42– y seleccionadas de manera aleatoria para el muestreo destructivo de una fila por día. En el procedimiento de muestreo se extrajo el contenido de cada bolsa, para detallar mediante memoria fotográfica, los cambios progresivos evidenciados por la semilla y por plántula, con mediciones complementarias de longitud y diámetro a tejidos aéreos –tallo y hoja– y a la radícula. Los 42 días de observación, incluyeron los periodos de germinación y formación de hojas del cultivo en vivero.

A partir de los cambios observados, se establecieron las fenofases del cultivo, teniendo como referencia la escala BBCH elaborada por Meier (2001), con énfasis en los estadios fenológicos:

0: Germinación (Fenofases 00 a 09)

1: Desarrollo de hojas (Fenofases 10 a 17)

La información cualitativa obtenida en la descripción de cada evento morfológico y las variables biométricas LR: Longitud de radícula; ALC: Altura a la curvatura del hipocótilo; ALH: Altura hipocótilo; DBH: Diámetro basal hipocótilo; DMR: Diámetro mayor radícula; LMHC: Longitud máxima hojas cotiledonares; LMPPHV: Longitud máxima primer par de hojas verdaderas; LMSPHV: Longitud máxima segundo par de hojas verdaderas; LMPHV: Longitud máxima tercer par de hojas verdaderas; LMCPHV: Longitud máxima cuarto par de hojas verdaderas; LMQPHV: Longitud máxima quinto par de hojas verdaderas; LMSXPHV: Longitud máxima sexto par de hojas verdaderas; LMSPPHV: Longitud máxima séptimo par de hojas verdaderas, expresadas mediante promedios y desviación estándar, fueron organizadas y presentadas a través de diagramas progresivos con tiempos representados en días después de la siembra (Dds).

Los ajustes por regresión para las variables longitud y diámetro, de tejidos aéreos –tallos y hojas– y de la radícula, en función de las fenofases respectivas, fueron realizados mediante el programa INFOSTAT Versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

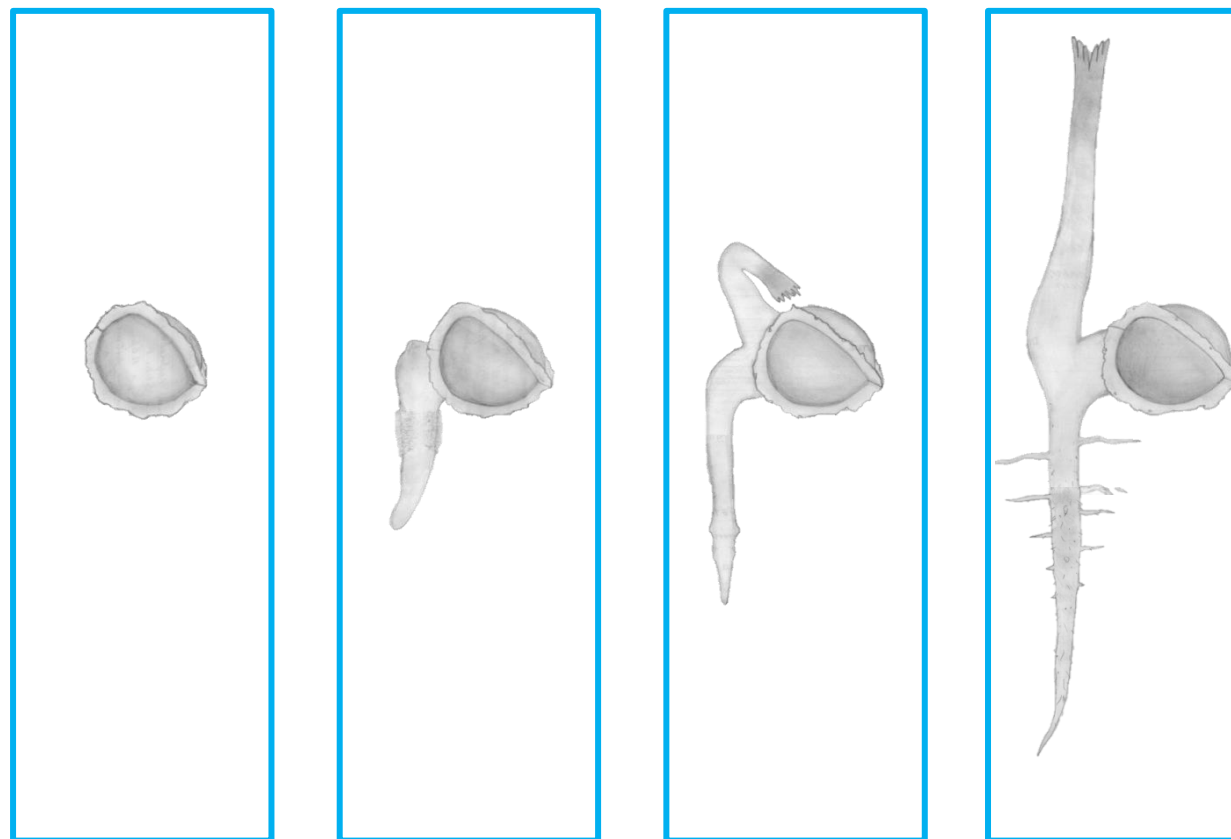
Resultados

Descripción de las fases fenológicas del cultivo de la moringa en condiciones de vivero

Etapa de germinación

La etapa de germinación en moringa incluyó seis fenofases (Figura 3):

- **Fase 00:** Semilla seca, hasta dos días antes de la siembra. Esta fase fue interrumpida, por el manejo de la semilla, relacionado con la desinfección en agua clorada y la inmersión por 24 h en agua corriente, el día anterior a la siembra;
- **Fases 05 y 06:** Emisión de radícula y formación de pelos radiculares, ocurrieron cuatro días después de la siembra (dds). La radícula presentó longitud de $1,35 \text{ cm} \pm 0,21$;
- **Fase 07:** Formación del hipocótilo, ocurre al quinto día después del sotero de la semilla. El hipocótilo presenta disposición en curvatura, con altura de $0,88 \text{ cm} \pm 0,38$ y puede ser ligeramente observado en la superficie del sustrato. Por elongación radicular, la raíz alcanza la longitud de $3,56 \text{ cm} \pm 1,26$, con formación de escasas raíces secundarias –tres o menos–;
- **Fases 08 y 09:** Crecimiento y emergencia del hipocótilo, ocurren entre los cinco y seis dds. El hipocótilo erguido alcanza altura de $3,33 \text{ cm} \pm 0,56$ y diámetro basal de $2,28 \text{ mm} \pm 0,17$, fácilmente observado sobre la superficie del sustrato. Los primordios foliares cotiledonares presentan estructura en forma de “pincel o brocha”. Prosigue la elongación radicular, hasta alcanzar $6,80 \text{ cm} \pm 1,12$, en esta oportunidad, con abundantes raíces secundarias –ocho o más–.



Fenofase	00: Semilla seca	05 y 06: Emisión de radícula; formación de pelos radiculares	07: Inicio de formación de hipocótilo	08 y 09: Crecimiento y emergencia del hipocótilo
Días después de la siembra (dds)	-2	4	5	6

Figura 3. Estadios de germinación de acuerdo con escala BBCH
 Nota: Elaborado por Alí Morales (Dibujante) y Omar Marín (Digitalizador).

Etapa de desarrollo foliar

La etapa de desarrollo de hojas en plántulas de moringa involucró ocho fenofases (Figuras 4 y 5):

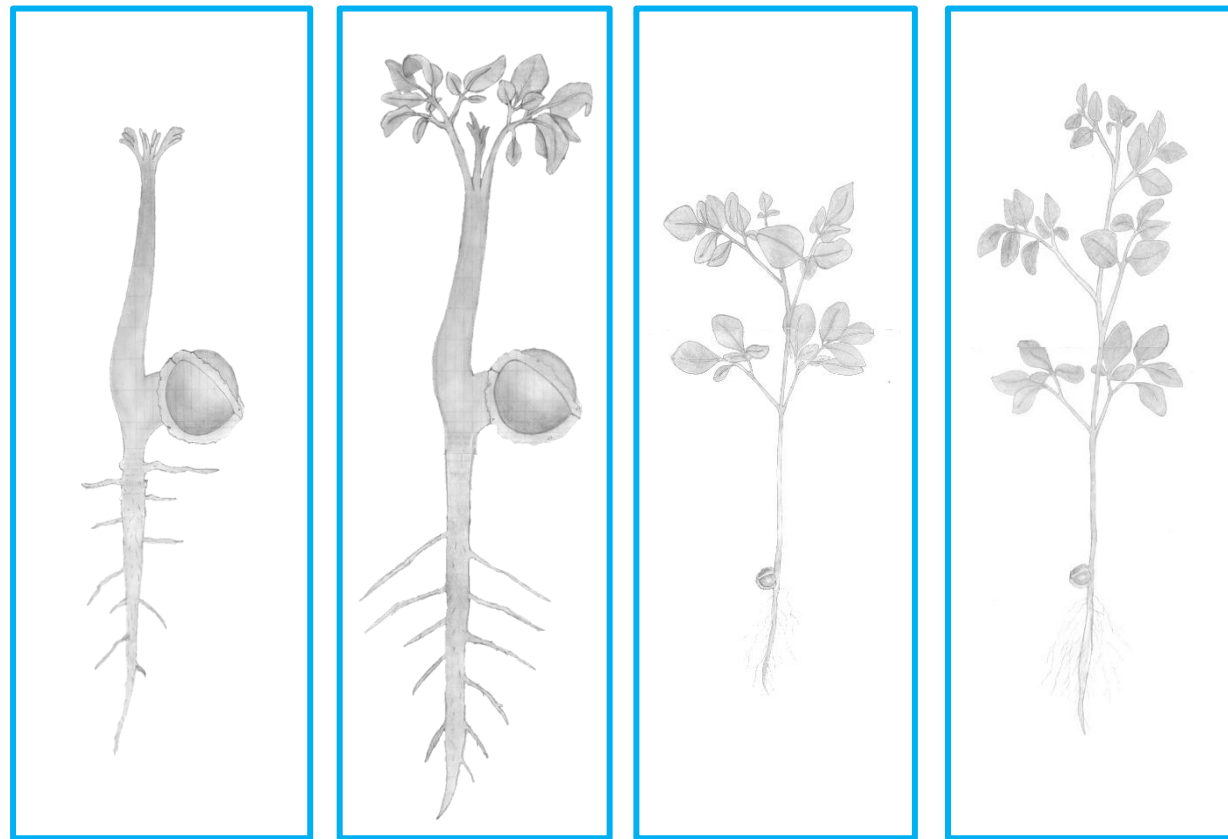
- **Fase 10:** Apertura inicial y total de hojas cotiledonares, ocurre entre los siete y ocho dds, respectivamente. Entre la apertura parcial y total de las hojas cotiledonares, la plántula pasa de 4,30 cm \pm 0,61 a 9,20 cm \pm 1,18 de altura, y el diámetro basal del tallo aumenta de 2,07 mm \pm 0,32 a 2,42 mm \pm 0,33. Reporta una Longitud máxima de hoja cotiledonar (LMHC) de 4,20 cm \pm 0,51. Entre los cambios morfológicos observados destacan: Hipocótilo en transición de color rosáceo a verde, y yema apical con formación de un nuevo par de hojas. Aparición de dos escamas laterales en la base del hipocótilo de color amarillo o verde intenso; se mantiene la conexión con la almendra seminal. En este momento la plántula presenta proporcionalidad equilibrada entre la parte aérea y la parte radicular. Raíces secundarias abundantes – diez o más–, alargadas y engrosadas.
- **Fase 11:** Desarrollo del primer par de hojas verdaderas, a los 10 dds. La plántula alcanza 12,16 cm \pm 2,16 de altura y 2,57 mm \pm 0,38 de diámetro basal. La LMHC es de 7,24 cm \pm 1,02 y la longitud máxima del primer par de hojas verdaderas (LMPPHV) es de 2,98 cm \pm 1,26. Morfológicamente se observa: yema apical formando segundo par de hojas; mayor rigidez del hipocótilo. Presencia de brotes basales a nivel de cuello, de color amarillo o verde intenso, poco desarrollado. Pelos radiculares abundantes y tan elongados como el eje central; la radícula toma ligera forma de zanahoria. La plántula presenta mayor longitud de la parte aérea respecto a la raíz.
- **Fase 12:** Desarrollo del segundo par de hojas verdaderas, observadas a los 13 dds; la altura y diámetro basal del tallo son referidas dimensiones de 20,17 cm \pm 2,57 y 2,91 mm \pm 0,30, respectivamente. La LMHC es de 8,59 cm \pm 1,35; LMPPHV de 8,5 cm \pm 1,43 y Longitud máxima del segundo par de hojas verdaderas (LMSPHV) es de 4,15 cm \pm 0,78. En la morfología, los cambios visibles son: Activación de yemas axilares de las hojas cotiledonares; algunas yemas basales del tallo alargadas de 0.4 cm. Continúa la elongación aérea; sin embargo, inicia el engrosamiento de la raíz.
- **Fase 13:** Desarrollo del tercer par de hojas verdaderas, ocurrió a los 18 dds; la incorporación del tercer par de hojas verdaderas permite a la plántula reportar altura de 33,37 cm \pm 2,86 y diámetro basal de tallo de 3,11 mm \pm 0,11. Las longitudes foliares son LMHC = 9,32 cm \pm 0,82; LMPPHV = 11,37 cm \pm 1,09; LMSPHV = 12,93 cm \pm 1,31 y Longitud máxima del tercer par de hojas verdaderas (LMTPHV) = 3,97 cm \pm 1,74. En esta fase las variaciones morfológicas observadas: Las hojas internamente empiezan a ser más ramificadas, aparecen grupos de tríos de tres folíolos por hoja. Se mantiene el epicarpio

aunque conectado frágilmente a la plántula. Engrosamiento de la raíz con observación de ejes longitudinales de inserción de pelos radiculares –distinción clara–.

- **Fase 14:** Desarrollo del cuarto par de hojas verdaderas, a los 23 dds; El cuarto par de hojas verdaderas genera en la plántula una altura de $40,93 \text{ cm} \pm 15,97$ y diámetro basal de $4,30 \text{ mm} \pm 0,52$. La LMHC, LMPPHV, LMSPHV, LMTPHV y longitud máxima del cuarto par de hojas verdaderas (LMCPHV) fueron $9,48 \text{ cm} \pm 0,95$; $11,8 \text{ cm} \pm 1,61$; $15,69 \text{ cm} \pm 1,56$; $15,62 \text{ cm} \pm 1,38$ y $3,34 \text{ cm} \pm 3,22$, respectivamente. Morfológicamente, ocurre el desprendimiento de la almendra seminal.
- **Fase 15:** Desarrollo del quinto par de hojas verdaderas a los 31 dds; con el quinto par de hojas verdaderas, la plántula de moringa presenta altura de $61,18 \text{ cm} \pm 5,66$ y diámetro basal de tallo de $4,80 \text{ mm} \pm 0,57$. Las hojas en esta fase reportan longitudes de $9,72 \text{ cm} \pm 0,54$ (LMHC); $10,93 \text{ cm} \pm 1,23$ (LMPPHV); $14,66 \text{ cm} \pm 1,46$ (LMSPHV); $17,45 \text{ cm} \pm 2,43$ (LMTPHV); $18,76 \text{ cm} \pm 6,39$ (LMCPHV) y $5,23 \text{ cm} \pm 0,40$ (Longitud máxima del quinto par de hojas verdaderas –LMQPHV–). Entre los cambios morfológicos evidenciados, ocurre el amarillamiento de las hojas cotiledonares y cambios en el aspecto de la corteza del tallo, que adopta apariencia semileñosa, con estrías blanquecinas perfectamente diferenciadas.
- **Fase 16:** Desarrollo del sexto par de hojas verdaderas, ocurrida a los 35 dds para el sexto par de hojas verdaderas ya la planta alcanza los $76,2 \text{ cm} \pm 9,19$ de altura y $7,1 \text{ mm} \pm 0,07$ de diámetro basal de tallo; Las hojas reportan LMHC = $6,65 \text{ cm} \pm 3,75$; LMPPHV = $10,2 \text{ cm} \pm 2,54$; LMSPHV = $17 \text{ cm} \pm 0,85$; LMTPHV = $21,3 \text{ cm} \pm 1,13$; LMCPHV = $26,2 \text{ cm} \pm 0,14$; LMQPHV = $28,6 \text{ cm} \pm 0,85$ y Longitud máxima del sexto par de hojas verdaderas (LMSXPHV) = $4,4 \text{ cm} \pm 3,68$. En esta fase, inicia el desprendimiento parcial de las hojas cotiledonares, con engrosamiento de ramificaciones de la raíz en sus cuatro ejes laterales.
- **Fase 17:** Desarrollo del séptimo par de hojas verdaderas observada a los 39 dds (Tablas 2, 3 y 4). Al formarse el séptimo par de hojas verdaderas se reportan valores de $84,88 \text{ cm} \pm 10,37$ de altura y $8,75 \text{ mm} \pm 0,89$ de diámetro basal del tallo. En esta fase, los valores de longitud de la hoja fueron, LMHC = $8,8 \text{ cm} \pm 2,07$; LMPPHV = $11,46 \text{ cm} \pm 1,36$; LMSPHV = $18,06 \text{ cm} \pm 2,03$; LMTPHV = $23,82 \text{ cm} \pm 2,36$; LMCPHV = $29,3 \text{ cm} \pm 4,34$; LMQPHV = $33,4 \text{ cm} \pm 2,41$; LMSXPHV = $20,34 \text{ cm} \pm 6,79$ y Longitud máxima del séptimo par de hojas verdaderas (LMSPPHV) = $1,32 \text{ cm} \pm 0,89$. En cambios morfológicos en esta fase, ocurre el desprendimiento total de las hojas cotiledonares.

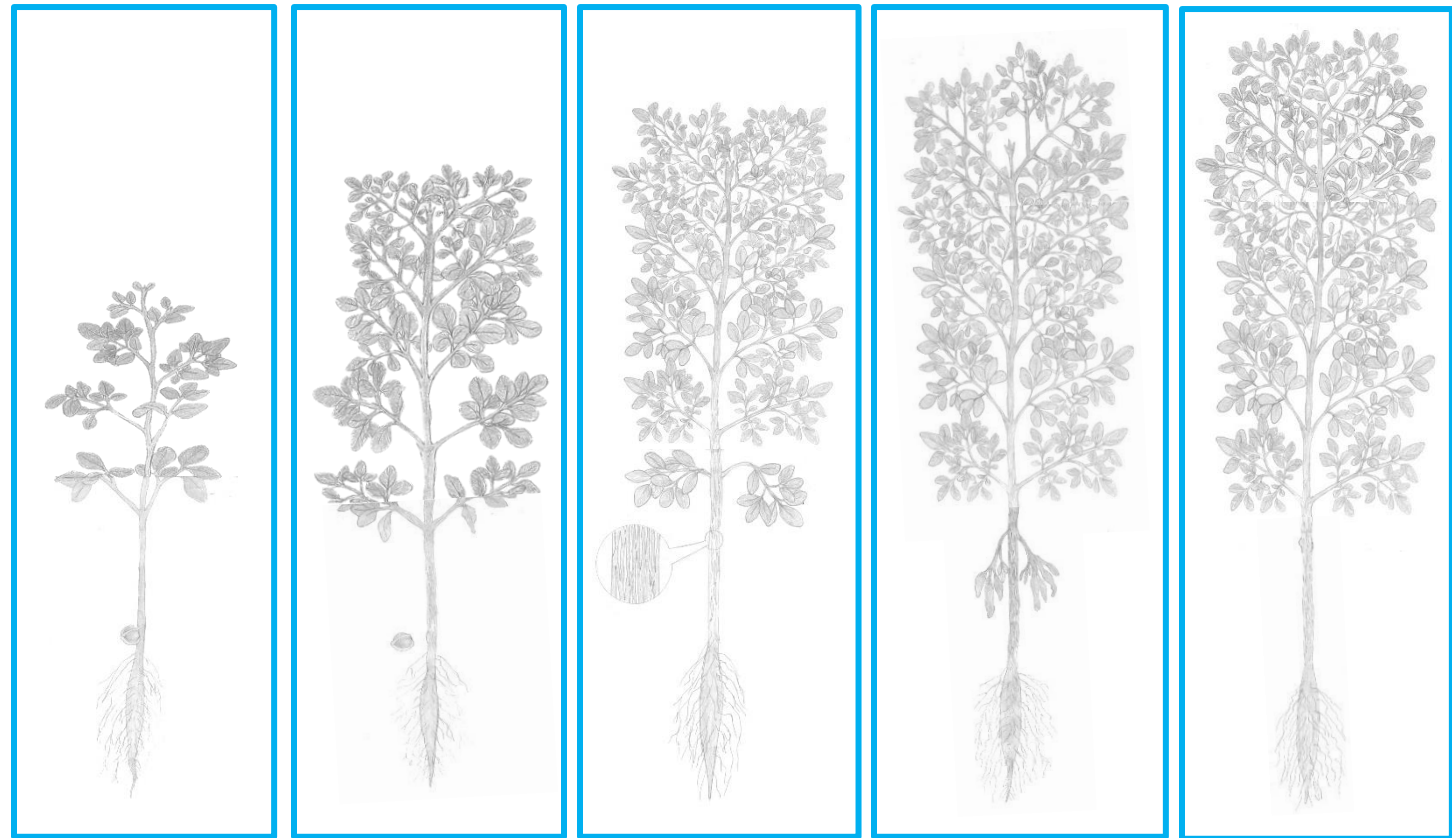
La variable altura del tallo hasta las hojas cotiledonares, presentó poca modificación durante esta etapa vegetativa, con incremento absoluto muy leve, de $8,47 \text{ cm} \pm 1,20$ a $10,16 \text{ cm} \pm 1,21$ a los 8 y 39 dds, respectivamente.

Los cambios morfométricos observados en esta etapa vegetativa específicamente para la región radicular de la plántula, inciden en la elongación de la raíz y se agrega el engrosamiento progresivo del nabo principal (Figuras 4 y 5). Los valores de longitud de raíz, van desde $7,72 \text{ cm} \pm 0,29$ a $10,42 \text{ cm} \pm 2,48$; $9,76 \text{ cm} \pm 1,03$; $13,28 \text{ cm} \pm 2,74$; $16,32 \text{ cm} \pm 4,11$; $18,5 \text{ cm} \pm 3,24$; $19,17 \text{ cm} \pm 3,56$; $28,7 \text{ cm} \pm 10,89$; hasta $24,9 \text{ cm} \pm 7,45$, a los 7; 8; 10; 13; 18; 23; 31; 35 y 39 dds, respectivamente. Para representar el engrosamiento de la raíz, el diámetro máximo del nabo principal varió desde $1,90 \text{ mm} \pm 0,43$; $3,33 \text{ mm} \pm 0,17$; $3,44 \text{ mm} \pm 0,93$; $5,25 \text{ mm} \pm 0,64$; $7,78 \text{ mm} \pm 0,51$; $9,72 \text{ mm} \pm 1,48$; $11,9 \text{ mm} \pm 1,71$ y hasta $13,87 \text{ mm} \pm 1,41$; a los 8; 10; 13; 18; 23; 31; 35; y 39 dds, respectivamente. Durante estas fases, la plántula aumenta el número de folíolos por hoja, con generación secuencial de tríos de tríos compuestos; además la plántula mantiene el engrosamiento progresivo de la raíz y sus ramificaciones (Figuras 4 y 5).



Fenofase	10: Apertura inicial y total de hojas cotiledonares	11: Desarrollo de primer par de hojas verdaderas	12: Desarrollo de segundo par de hojas verdaderas	
Días después de la siembra (dds)	7	8	10	13

Figura 4. Estadios de desarrollo de hojas de acuerdo con escala BBCH
 Nota: Elaborado por Alí Morales (Dibujante) y Omar Marín (Digitalizador).



Fenofase	13: Desarrollo de tercer par de hojas verdaderas	14: Desarrollo de cuarto par de hojas verdaderas	15: Desarrollo de quinto par de hojas verdaderas	16: Desarrollo de sexto par de hojas verdaderas	17: Desarrollo de séptimo par de hojas verdaderas
Días después de la siembra (dds)	18	23	31	35	39

Figura 5. Estadios de desarrollo de hojas de acuerdo con escala BBCH
 Nota: Elaborado por Alí Morales (Dibujante) y Omar Marín (Digitalizador).

Tasas de crecimiento en vivero

Durante la etapa de desarrollo foliar, entre las fenofases 13 y 17, el crecimiento del tallo y de la radícula, en longitud y diámetro, presentó en todas las condiciones, ajustes de regresión lineal ascendente (Figura 6). El crecimiento en longitud resultó ser más acelerado en la parte aérea, en comparación a la parte radicular de la plántula, con elevada tasa incremental en tallo $-13,829-$ y menor magnitud de incremento en la radícula $-2,736-$ (Figura 6). Por otra parte, el crecimiento en diámetro se comportó de manera inversa, siendo la radícula la cual presentó mayor tasa de incremento en diámetro, en comparación con el tallo, con valores de 2,136 y 1,408, respectivamente (Figura 6).

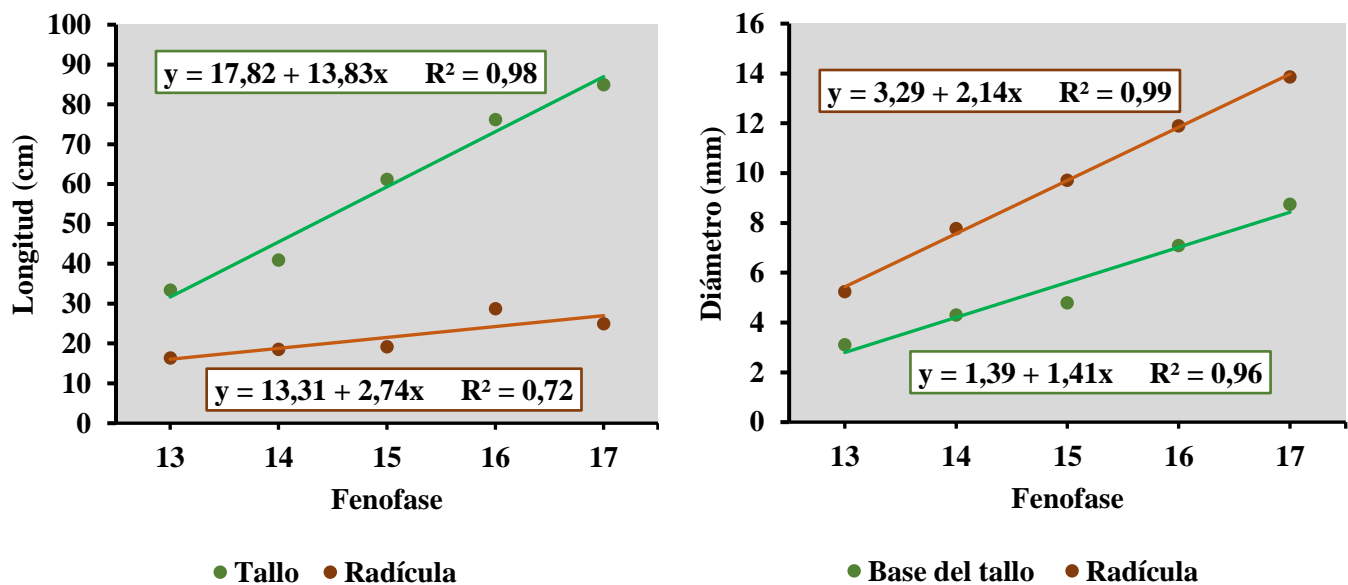
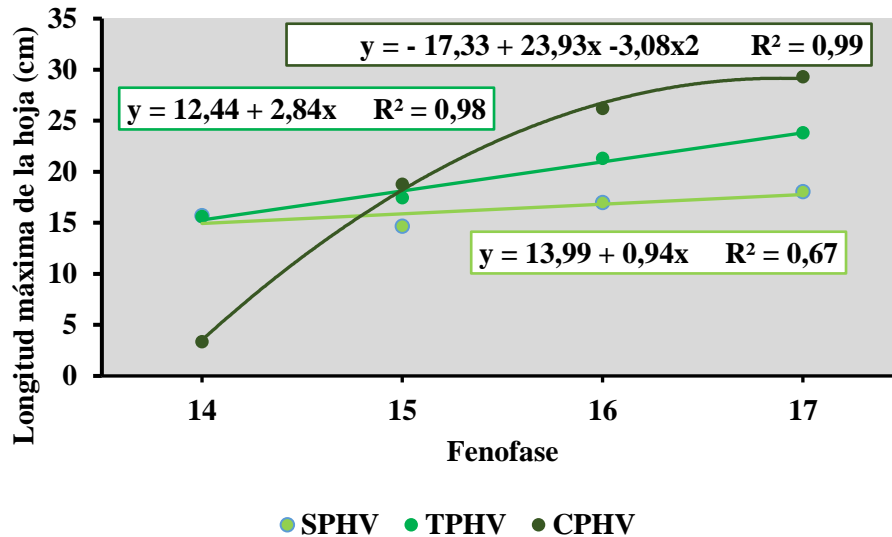


Figura 6. Ecuaciones de regresión para el crecimiento en longitud (cm) y en diámetro (mm), del tallo y de la radícula, en plántulas de moringa (Fenofases 13 - 17)
 Nota: Elaboración propia.

En cuanto al crecimiento en longitud de las hojas, se observó que las hojas cotiledonares y el primer par de hojas verdaderas no presentaron variación significativa de la longitud durante las fenofases proyectadas, mientras que, el segundo y tercer par de hojas mostraron ajuste de regresión lineal ascendente, con tasas de crecimiento de 0,945 y 2,845, respectivamente. El cuarto par de hojas presentó ajuste de regresión cuadrático y describe una curva convexa ascendente que inicia con crecimiento acelerado (Fenofases 14 – 16), y progresivamente tiende a estabilizarse (Fenofases 16-17) (Figura 7).



SPHV: Segundo par de hojas verdaderas; TPHV: Tercer par de hojas verdaderas; CPHV: Cuarto par de hojas verdaderas
 Figura 7. Ecuaciones de regresión para el crecimiento en longitud (cm), del segundo, tercer y cuarto par de hojas verdaderas, en plántulas de moringa (Fenofases 14 - 17)
 Nota: Elaboración propia.

Discusión

Descripción de las fases fenológicas del cultivo de la moringa en condiciones de vivero

Etapa de germinación

Similar a lo observado en moringa, estas fenofases germinativas, ocurren de manera homologa en otros rubros comerciales comúnmente manejados –girasol (*Helianthus annuus* L.), café (*Coffea arabica* L.), soya (*Glycine max* L. Merr.), zanahoria (*Daucus carota* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.), ají dulce (*Capsicum frutescens* L) y caraota (*Phaseolus vulgaris* L.)–, referenciados por Meier (2001) en la escala BBCH, aunque con notables diferencias entre especies en la duración (días) de la etapa germinativa. Algunas especies, entre ellas moringa, requieren periodos cortos, entre 4 a 10 dds, para germinar y emerger del sustrato, donde se incluyen: girasol, soya, pepino, ají dulce y caraota (Rosas y Young, 1991; Mundarain et al., 2005; Marcano et al., 2012; Dos Santos et al., 2017; Morales-Santos et al., 2017). En cambio, cultivos como zanahoria requieren periodos germinativos intermedios, entre 10 a 20 dds (Lardizábal y Theodoracopoulos, 2007), mientras que cultivos como café cursan periodos de germinación más prolongados, comprendidos entre 50 a 70 dds (Silva-Acuña et al., 2021).

Etapa de desarrollo foliar

Los estudios fenológicos en cultivos, de manera general, involucran cuantificaciones de etapas vegetativas y reproductivas (Laskowski y Bautista, 2003; Mundarain et al., 2005; Coa et al., 2015;

Mundarain et al., 2018; Silva-Acuña et al., 2021) y de manera similar para el caso de moringa, que es una planta de uso forrajero (Navas, 2019) de mucha importancia en el área de producción animal (Garavito, 2008; ACPA, 2010), por primera vez, se describe su fenología en etapa de vivero, adoptando los lineamientos de la escala BBCH, capítulo dicotiledóneas (Meier, 2001).

Las pocas publicaciones orientadas a describir la fenología del cultivo de moringa en vivero (Barrios-Soto, 2016; Pinto-Ortega, 2016; González-Luna, 2017; Holguín et al., 2018; Bernabé-Limones, 2021; Ruiz-Hernández et al., 2021) han resultado ser investigaciones limitadas, de manera expresa, a la cuantificación del crecimiento aéreo de la plántula (altura, diámetro de tallo y número de hojas), sin detallar, fechar, ni clasificar el conjunto de cambios morfológicos evidentemente involucrados. Por su parte, algunos estudios definen estas cuantificaciones como caracterizaciones morfológicas o de comportamiento de la moringa, sin ahondar de alguna manera en detalles fenológicos específicos.

Tasas de crecimiento en vivero

El rápido desarrollo es una particularidad reconocida de la moringa, citada por muchas revisiones (Pérez et al., 2010; Olson y Fahey, 2011; Martin et al., 2013; Olson y Alvarado-Cárdenas, 2016); sin embargo, entre tantos aspectos pendientes por investigar en el cultivo, tampoco está claro en que magnitud ocurre esta rapidez de crecimiento y sus modelos de ajuste en el tiempo (Padilla et al., 2017).

Medina et al. (2007) en condiciones de Venezuela, describieron para plántulas de moringa un crecimiento progresivo en longitud y diámetro del tallo, durante las primeras siete semanas (49 días) de cultivo en vivero, sin especificar ajustes de regresión y tasas de crecimiento. Por su parte, González-Rivas (2014) calculó tasas de crecimiento solo en función de la altura y obtuvo valores entre 6,75 y 5,04 cm/día, en las variedades Acriollada y PKM1, respectivamente. Por otro lado, Valdés-Rodríguez et al. (2014) consideran que el crecimiento de la plántula de moringa es de tipo logístico.

Planificación del cultivo en el estado Monagas

El conocimiento de las fenofases de esta especie, durante la fase de vivero, es de fundamental importancia, básicamente para establecer un plan de manejo del cultivo. Para las condiciones climáticas del estado Monagas, particularmente para el municipio Santa Bárbara, que representa una de las áreas con potencial para la cría y ceba del ganado vacuno y análogamente en ellas, podrían ser establecidos bancos de proteína con moringa, en la Figura 8 se puede visualizar, el balance hídrico de la Estación Experimental Santa Bárbara del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (Sanabria et al., 2006).

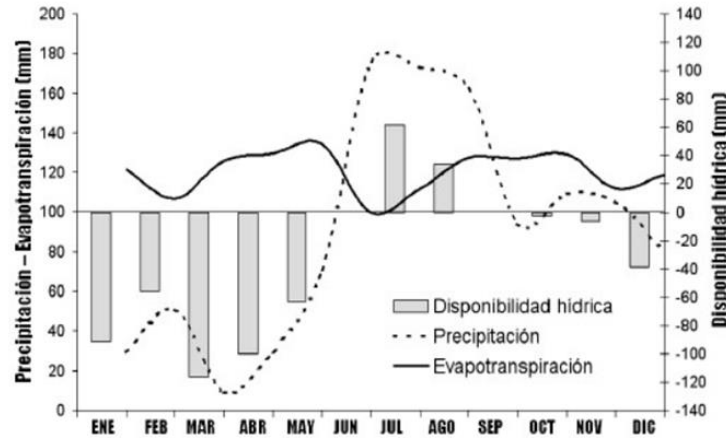


Figura 8. Disponibilidad hídrica en suelos de la Estación Meteorológica del Campo Experimental Santa Bárbara durante 1997-2000. Nota: Citado de Sanabria et al. (2006).

Para la localidad de Santa Bárbara, las precipitaciones pluviométricas son del orden de 1092,3 mm con picos de máxima en los meses de junio, julio y agosto. Se observa (Figura 8) que, aunque existen lluvias durante todo el año, es a partir del mes de julio cuando se detecta disponibilidad hídrica en el suelo, aunque a partir de junio se registran picos de precipitaciones pluviométricas, por tanto, ante la distribución de la humedad en el suelo, existen condiciones apropiadas para la siembra en campo de la moringa.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación sobre la fenología del cultivo de la moringa, y considerando que se requieren 46 días para la producción de las plántulas durante la etapa de vivero, donde están involucradas labores iniciales, tales como la preparación y obtención del sustrato, el respectivo tamizado y el colmado de los envases plásticos –labores que deben ser realizadas con el suelo seco–, las anteriores labores deben ser cumplidas desde el inicio de abril en función del volumen de plantas a producir y a partir de la tercera semana de ese mismo mes, las semillas deben estar soterradas en el sustrato contenido en los envases plásticos. La siembra en campo durante el mes de junio cuando hay precipitaciones pluviométricas garantizaría con mayor probabilidad, menores pérdidas de plantas durante el establecimiento del cultivo.

Conclusiones

En la etapa de germinación en moringa se identificaron seis fenofases: 1-Fase 00: Semilla seca; 2 y 3-Fases 05 y 06: Emisión de radícula y formación de pelos radiculares, 4-Fase 07: Formación del hipocótilo, y 5 y 6-Fases 08 y 09: Crecimiento y emergencia del hipocótilo, que acontecen en los primeros seis dds.

La etapa de desarrollo de hojas en plántulas de moringa involucró ocho fenofases: 1-Fase 10: Apertura inicial y total de hojas cotiledonares, y 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8-Fases 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17: Desarrollo del primer, segundo, tercer, cuarto, quinto, sexto y séptimo par de hojas verdaderas, a los 10, 13, 18, 23, 31, 35 y 39 dds, respectivamente.

A nivel de vivero, las fenofases descritas, son de fundamental importancia, para establecer un adecuado plan de manejo agronómico del cultivo.

Referencias

- ACPA (Asociación Cubana de Producción Animal). (2010). *Moringa oleifera* un árbol promisorio para la ganadería. *Rev. ACPA*, 2, 50-53.
- Arcila, P., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H. & Wicke, H. (2002). Application of the "extended BBCH-scale" for the description of the growth stages of coffee *Coffea* sp. *Annals of Applied Biology (Inglaterra)*, 141, 19-27.
- Balanzino, M. (2018). Moringa, el superalimento más codiciado. Recuperado de <https://www.thegourmetjournal.com/a-fondo/moringa/amp/>
- Barrios-Soto, N. (2016). Caracterización fenológica en etapa de vivero de moringa (*Moringa oleifera* Lam), trupillo (*Prosopis juliflora*), neem (*Azadirachta indica*), gualanday (*Jacaranda caucana* Pittier) y ceiba bonga (*Ceiba pentandra*), especies forestales adaptadas al trópico como estrategia de mitigación al cambio climático. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/17437/8785878.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bernabé-Limones, E. (2021). Características morfológicas de la *Moringa oleifera* Lam en la fase de prendimiento pos trasplante en río verde, Santa Elena. Recuperado de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ypbiXAKhoDQJ:https://repository.upse.edu.ec/bitstream/46000/6383/1/UPSE-TIA-2021-0085.pdf&cd=8&hl=es-419&ct=clnk&gl=ve>
- Climate-data.org. (2020). Clima Maturín (Venezuela). Recuperado de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/venezuela/estado-monagas/maturin-4021/>
- Coa, M., Silva-Acuña, R., Méndez-Natera, J. y Mundarain, S. (2015). Fenología de la floración del cafeto var. Catuaí Rojo en el municipio Caripe del estado Monagas, Venezuela. *IDESIA (Chile)*, 33(1), 59-67.

- De Cara-García, J., Ruiz-López, C. y Mestre-Barceló, A. (2008). Adaptación del código BBCH a la observación fenológica de la aemet. Recuperado de <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/5373>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dos Santos, J., Marengo, C., Viera, C., Gheyi, H., De Lima, G. y Lira, V. (2017). Crecimiento del girasol (*Helianthus annuus* L) en función de la salinidad del agua de riego con fertilización nitrogenada. *Agrociencia*, 51(6), 649-660.
- Garavito, U. (2008). *Moringa oleifera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. Recuperado de http://www.engormix.com/moringa_ole%C3%ADferalimento_ecologico_s_articulos_1891_AGR.htm
- García, E., Medina, M., Cova, L., Clavero, T., Torres, A., Perdomo, D. y Santos, O. 2009. Evaluación integral de recursos forrajeros para rumiantes en el estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 26(4), 555-582.
- González-Luna, H. (2017). Evaluación del comportamiento de siete progenies de *Moringa oleífera* Lam, en condiciones de plantación en la finca Santa Rosa Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. Recuperado de <https://repositorio.una.edu.ni/3681/1/tnf30g643c.pdf>
- González-Rivas, V. (2014). Comportamiento de dos poblaciones de *Moringa oleifera* (material acriollado y mejorado PKM1) en sus primeras etapas de crecimiento en condiciones de vivero, UNA, Managua, 2013. Recuperado de <https://repositorio.una.edu.ni/2749/1/tnf01g643cp.pdf>
- Hack, H., Bleiholder, H., Buhr, I., Meier, U., SchnockFricke, U., Weber, E. & Witzemberger, A. (1992). Einheitlichecodierung der phänologischenentwicklungsstadien mono- und dikotylerpflanzen-erweitertebbch-skala, *Allgemein-Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd*, 44, 265-270.
- Holguín, V., García, I. y Mora-Delgado, J. (2018). Árboles y arbustos para silvopasturas: uso, calidad y alometría. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima.
- Lardizábal, R. y Theodoracopoulos, M. (2007). Producción de Zanahoria. Recuperado de http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/102/EDA_Manual_Produccion_Zanahoria_12_07.pdf?sequence=1

- Laskowski, L. y Bautista, D. (2003). Estudio fenológico del crecimiento y desarrollo de la plántula de semeruco *Malpighia emarginata* DC. *Bioagro*, 15(3), 183-191.
- Marcano, C., Acevedo, I., Contreras, J., Jiménez, O., Escalona, A. y Pérez, P. (2012). Crecimiento y desarrollo del cultivo pepino (*Cucumis sativus* L) en la zona hortícola de Humocaro Bajo, estado Lara, Venezuela. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(8), 1629-1636.
- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E. y Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes*, 36(2), 137-149.
- Medina, M., García, D., Clavero, T. y Iglesias, J. (2007). Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 25(2), 83-93.
- Meier, U. (2001). Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas, BBCH Monografía. Alemania: Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura.
- Morales-Santos, M., Peña-Valdivia, C., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G. y Kohashi-Shibata, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62.
- Mundarain, S., Coa, M. y Cañizares, A. (2005). Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista UDO Agrícola*, 5(1), 62-67.
- Mundarain, S., Silva-Acuña, R. y Méndez-Natera, J. (2018). Fenología de la fructificación y maduración del cafeto var. Catuaí Rojo, en el municipio Caripe del estado Monagas, Venezuela. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela*, 30, 244-252.
- Navas, A. (2019). Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 207-218.
- Olson, M. y Alvarado-Cárdenas, L. (2016). ¿Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleifera*, en México? Un análisis de su distribución potencial. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1089-1102.
- Olson, M. y Fahey, J. (2011). *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1071-1082.
- Padilla, C., Valenciaga, N., Crespo, G., González, D., Rodríguez, I. (2017). Requerimientos agronómicos de *Moringa oleifera* (Lam.) en sistemas ganaderos. *Livestock Research for Rural Development*, 29(11), 218. Recuperado de <http://www.lrrd.org/lrrd29/11/idal29218.html>

- Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N. y Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*, 33(4), 3-8.
- Pinto-Ortega, C. (2016). Evaluación de diferentes tipos de sustrato en el establecimiento de *Moringa oleifera* L. en vivero. Recuperado de <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/20789/1/tesis%20carlos%20pinto%20definitiva%2021%2006%202016.pdf>
- Ramírez, V. (2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. Manizales, Colombia: CENICAFE.
- Rosas, J. y Young, R. (1991). El cultivo de la soya. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2416/3/01.pdf>
- Ruiz-Hernández, R., Pérez-Vázquez, A., García-Pérez, E., Landeros-Sánchez, C., Morales-Trejo, F. y Soto-Hernández, H. (2021). Caracterización morfológica de accesiones de *Moringa oleifera* provenientes del sur-sureste de México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.*, 12(7), 1209-1222.
- Sanabria, D., Silva-Acuña, R., Marciano, M., Barrios, R., Rivas, E. y Rodríguez, I. (2006). Evaluación de tres sistemas de labranza en la recuperación de una pastura degradada de *Brachiaria humidicola*. *Zootecnia Trop.*, 24(4), 417-433.
- Schwartz, M. (1999). Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. *International Journal of Biometeorology*, 42(3), 113-118.
- Silva-Acuña, R., Mundarain, S., Méndez-Natera, J. y Coa, M. (2021). Fenología del cafeto var. "Catuaí Rojo" en las etapas de germinador y vivero, en Boquerón, municipio Caripe, Monagas, Venezuela. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela*, 33, 136-150.
- Valdés-Rodríguez, O., Muñoz-Gamboa, C., Pérez-Vázquez, A. y Martínez-Pacheco, L. (2014). Análisis y ajuste de curvas de crecimiento de *Moringa oleifera* Lam. en diferentes sustratos. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 1(2), 7-11.
- Williams-Linera, G. y Meave, J. (2002). Patrones fenológicos. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/281348224>