

Effect of leaching time and seed position on the germination and vegetative characteristics of *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori

Efecto del tiempo de lixiviación y posición de las semillas en la germinación y características vegetativas de *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori

Maryam Moslehi*¹; Akram Ahmadi²;
Abdolhamid Hajebi¹; Malihe Sadeghi Bahmani³

¹Research Division of Natural Resources. Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO. Bandar Abbas, Iran.

²Research Division of Natural Resources. Golestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO. Gorgan, Iran.

³Seed and Plant Certification and Registration Division, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO. Bandar Abbas, Iran.

*Corresponding author: m.moslehi@areeo.ac.ir; tel.: +98 763 331 3809.

Abstract

Introduction: *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori seeds have good health promoting properties and considerable potential as a biofuel. However, cultivation is limited by variable seed quality.

Objective: To study the effect of seed position in the pod and leaching treatment on germination and vegetative characteristics of seedlings.

Materials and methods: The seeds numbered 1 to 6 (the position near the attached part to stem was No. 1). To study the effect of leaching on germination and the vegetative characteristics, seeds were exposed to running water for 0, 24 and 48 h. The experiment was performed in a completely randomized design as a factorial arrangement.

Results and discussion: The position of the seed had a significant effect ($P \leq 0.05$) on the variables, except for root fresh and dry weight and number of leaves; germination was higher for seeds in the middle position of the pod, which were also the heaviest (c. 0.73 g). There was a significant interaction between seed position and leaching, except for collar diameter and stem height. Leaching for 48 h increased germination to 88 %. This treatment produced the highest number of leaves (16.82) and the highest values for collar diameter (3.50 mm), dry weight of leaves (0.11 g), stem (0.08 g) and root (0.50 g), and root length (10.10 cm). The interaction of position and leaching was significant.

Conclusions: The overall germination performance and seedling growth can be improved by immersing seeds from the middle pod position in leaching treatment for 48 h.

Keywords: water immersion; germination rate; pod; seed quality.

Resumen

Introducción: Las semillas de *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori tienen propiedades beneficiosas para la salud y potencial considerable como biocombustible. No obstante, el cultivo está limitado por la calidad variable de las semillas.

Objetivo: Investigar el efecto de la posición de la semilla en la vaina y el tratamiento de lixiviación sobre la germinación y características vegetativas de las plántulas.

Materiales y métodos: Las semillas se numeraron del 1 al 6 (la posición cercana a la parte unida al tallo fue la número 1). Para investigar el efecto de lixiviación en la germinación y las características vegetativas, las semillas se expusieron a agua corriente durante 0, 24 y 48 h. El experimento consistió en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial.

Resultados y discusión: La posición de la semilla tuvo efecto significativo ($P \leq 0.05$) en las variables, excepto en el peso fresco de las raíces y número de hojas; la germinación fue mayor en las semillas de las posiciones medias de la vaina, que fueron también las más pesadas (0.73 g). La lixiviación durante 48 h aumentó la germinación al 88 %. Este tratamiento produjo el mayor número de hojas (16.82) y los valores más altos de diámetro del cuello (3.50 mm), peso seco de hojas (0.11 g), tallo (0.08 g) y raíz (0.50 g), y longitud de raíz (10.10 cm). La interacción de la posición y la lixiviación fue significativa.

Conclusiones: El rendimiento general de la germinación y el crecimiento de las plántulas pueden mejorarse mediante la inmersión de semillas de la posición media de la vaina en agua corriente durante 48 h.

Palabras clave: inmersión en agua; tasa de germinación; vaina; calidad de semilla.

Introduction

Moringa peregrina (Forssk.) Fiori belong to Moringaceae. It is medium sized (5 m to 15 m) and it is deciduous, perennial tree and its main root is thick. The leaves of *M. peregrina* are feathery, pale green, compound tripinnate, and 30 cm to 60 cm long with many small leaflets. Flowers are fragrant, creamy white to pale pinkish color, 2.5 cm in diameter, born in sprays, with five yellow stamens at the top of the flower. The fruits or pods of *M. peregrina* are pendulous ridged, brown and triangular. The pod splitting lengthwise into three parts containing about 20 to 25 trigonous seeds embedded in the pith.

M. peregrina is at risk of extinction and loss of its genetic resources in some regions (Hajebi, 2014). Overall, the International Union for Conservation of Nature's (IUCN) identifies the population patterns of the declining species (Oldfield, 2020). A similar trend is noted for *Moringa borziana* Mattei (Luke et al., 2018), *Moringa hildebrandtii* Engl. (Letsara et al., 2019), *Moringa drouhardii* Jum (Andriamanohera, 2019) and *Moringa rivae* Chiov (Musili et al., 2018).

To succeed in the development and breeding of moringa in harsh, arid and semi-arid habitats, it is necessary to develop appropriate propagation techniques. To accelerate germination and create high quality seedlings, chemical and mechanical pretreatments might be needed. Seed pretreatments might also be designed to increase seed tolerance to adverse environmental conditions, through germination to seedling growth (Nouman et al., 2012).

The main challenge in propagating moringa by seed is hardseededness. Moringa seeds germinate in 11 to 15 days after treatment in water for 24 h, i.e. a soaking treatment, with germination in control seeds being just as high (94 %) but taking longer (Padilla et al., 2012). Materechera (2017) applied several treatments to seeds of moringa and found that abrasion with sandpaper was the most effective, more so than sulfuric acid treatment for 2 min and soaking seeds in cold or warm water. These results suggest that moringa seeds have some form of physical dormancy that slows down the germination process. Even when the seed is committed to germinate, the efficiency of the process will depend on environmental conditions, particularly temperature. Hassanein and Al-Soqeer (2017) compared *M. oleifera* and *M. peregrina* and observed that high temperature led to an increase in germination speed but a decrease in germination percentage; and low temperature delayed germination. Moreover, the authors note that the response varies among species with *M. oleifera* and *M. peregrina* showing high germination totals under optimum temperatures, but *M. oleifera* showed the highest germination index (Hassanein & Al-Soqeer, 2017).

Introducción

Moringa peregrina (Forssk.) Fiori pertenece a la familia Moringaceae. El árbol es de tamaño medio (5 m a 15 m), caducifolio, perenne y con una raíz principal gruesa. Las hojas de *M. peregrina* son plumosas de color verde pálido, compuestas tripinnadas, de 30 cm a 60 cm de largo con muchos folíolos pequeños. Las flores son fragantes, de color blanco cremoso a rosáceo pálido, de 2.5 cm de diámetro, nacen en racimos, con cinco estambres amarillos en la parte superior de la flor. Los frutos o vainas de *M. peregrina* son colgantes estriados, marrones y triangulares. La vaina se divide longitudinalmente en tres partes que contienen de 20 a 25 semillas trigonas incrustadas en la médula.

M. peregrina está en peligro de extinción y de pérdida de sus recursos genéticos en algunas regiones (Hajebi, 2014). En general, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) identifica los patrones de población de la especie en declive (Oldfield, 2020). Una tendencia similar se observa en *Moringa borziana* Mattei (Luke et al., 2018), *Moringa hildebrandtii* Engl. (Letsara et al., 2019), *Moringa drouhardii* Jum (Andriamanohera, 2019) and *Moringa rivae* Chiov (Musili et al., 2018).

Para tener éxito en el desarrollo y la reproducción de la especie en hábitats hostiles, áridos y semiáridos, es necesario el uso de técnicas adecuadas de propagación. Con el fin de acelerar la germinación y obtener plántulas de alta calidad, podrían requerirse pretratamientos químicos y mecánicos. También podrían diseñarse tratamientos previos para aumentar la tolerancia de las semillas a condiciones ambientales adversas, desde la germinación hasta el crecimiento de las plántulas (Nouman et al., 2012).

El principal problema de la propagación de la moringa por semilla es su dureza. Las semillas de moringa germinan entre 11 y 15 días después de ser sumergidas en agua durante 24 h (tratamiento de remojo), mientras que la germinación de las semillas testigo es igual de alta (94 %), pero tarda más tiempo (Padilla et al., 2012). Materechera (2017) aplicó varios tratamientos a las semillas de moringa y encontró que el más eficaz fue la abrasión con papel de lija, más que el tratamiento con ácido sulfúrico durante 2 min y la inmersión de semillas en agua fría o templada. Estos resultados sugieren que las semillas de moringa tienen algún tipo de latencia física que ralentiza el proceso de germinación. No obstante, incluso cuando la semilla se compromete a germinar, la eficiencia del proceso dependerá también de las condiciones ambientales, en particular de la temperatura. Hassanein y Al-Soqeer (2017) compararon *M. oleifera* y *M. peregrina* y observaron que las temperaturas elevadas incrementan la velocidad de germinación, pero reducen el porcentaje, mientras que las temperaturas bajas la retrasan. Además, los autores señalan que

The outcome of treatments can be noticed after the initial germination phase per seed. For example, Njehoya et al. (2014) found that seedlings from *M. oleifera* seeds immersed in water for 36 h had higher stem length than that achieved with water immersion or scarification for 76 h. Similarly, when the water immersion pretreatment is extended to 48 h, germination may decrease (Padilla et al., 2012; Yerima et al., 2016). Therefore, excessive pretreatment of seeds can be detrimental to germination and seedling growth.

The experimental environment for evaluating germination and seedling growth is also important. Hassanein and Al-Soqeer (2017) indicate that the germination efficiency in greenhouse was different from that in the laboratory. On the other hand, not only the physiological condition of the seed can influence seedling performance, but also its physical condition that can be affected by the position in the pod. In *M. oleifera*, it has been observed that seeds in the middle part are heavier than those near the end of the pod, have the highest germination percentages (79.58 %) and the highest number of leaves (~18.44) (Bayé-Niwah & Mapongmetsem, 2014). Seed size also affects relative leaching rate, germination and vegetative characteristics (Padilla et al., 2012).

The lack of information on regenerative techniques, especially through seeds, is the main obstacle to the domestication of a species and its use as part of local agroforestry systems or plantations (Moupela et al., 2013). There is a clear need to better understand how seed physiology, physical characteristics and pretreatments affect seed quality in moringa species (Hajebi, 2014). In addition to water immersion, leaching can have effects on seed germination. Thus, in the present study on *M. peregrina*, the objective was to research the effect of seed position in the pod and leaching on germination and seedling growth.

Materials and methods

Study area

The habitat of *M. peregrina* is located in the Sahara-Sindi climate zone in the northwestern heights of Hormozgan province, near Bashagard (Sorheh heights) in Iran, at 26° 20' 42" LN and 57° 42' 48" LE. According to the Domarten climate classification (Keneshloo et al., 2014), the region has dry climate with hot summers and mild winters without glacial period, mean annual temperature of 24 °C to 27 °C, mean annual rainfall of 150 mm to 200 mm mainly in winter. The soils are alkaline, shallow to medium with light to medium texture. The main plant species are *Periploca aphylla* Decne., *Artemisia aucheri* Boiss, *Ficus glomerata* Roxb.,

la respuesta varía entre especies, ya que *M. oleifera* y *M. peregrina* presentaron totales altos de germinación bajo temperaturas óptimas, pero *M. oleifera* mostró el mayor índice de germinación (Hassanein & Al-Soqeer, 2017).

El resultado de los tratamientos puede notarse después de la fase inicial de germinación *per se*. Por ejemplo, Njehoya et al. (2014) encontraron que las plántulas provenientes de semillas de *M. oleifera* inmersas en agua durante 36 h tuvieron mayor longitud de tallo que la conseguida con inmersión en agua o escarificación durante 76 h. Del mismo modo, cuando el pretratamiento de inmersión en agua se prolonga hasta 48 h, la germinación puede disminuir (Padilla et al., 2012; Yerima et al., 2016). Por lo tanto, un pretratamiento excesivo de las semillas puede ser perjudicial para la germinación y el crecimiento de las plántulas.

El entorno experimental para evaluar la germinación y el crecimiento de las plántulas también es importante. Hassanein y Al-Soqeer (2017) indican que la eficiencia de la germinación en invernadero fue diferente de la del laboratorio. Por otra parte, no solo el estado fisiológico de la semilla puede influir en el rendimiento de la plántula, sino también su estado físico que puede ser afectado por la posición en la vaina. En *M. oleifera* se ha observado que las semillas de la parte media son más pesadas que las cercanas al final de la vaina, presentan los mayores porcentajes de germinación (79.58 %) y el mayor número de hojas (~18.44) (Bayé-Niwah & Mapongmetsem, 2014). El tamaño de las semillas también afecta a la tasa de lixiviación relativa, la germinación y las características vegetativas (Padilla et al., 2012).

La falta de información sobre técnicas regenerativas, especialmente a través de semillas, es el principal obstáculo para la domesticación de una especie y para su uso como parte de sistemas agroforestales locales o plantaciones (Moupela et al., 2013). Es evidente la necesidad de comprender mejor la forma en que la fisiología de la semilla, sus características físicas y los pretratamientos afectan la calidad de la semilla en las especies de moringa (Hajebi, 2014). Además de la inmersión en agua, la lixiviación puede tener efectos en la germinación de semillas. Así pues, en el presente estudio sobre *M. peregrina*, el objetivo fue investigar el efecto de la posición de la semilla en la vaina y la lixiviación sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El hábitat de *M. peregrina* se encuentra en la zona climática Sahara-Sindi, en las alturas del noroeste de la provincia de Hormozgan, cerca de Bashagard (alturas

M. peregrina, *Amygdalus scoparia* Spach. and *Pistacia atlantica* Desf. on the slopes and *Vitex agnus-castus* L. and *Nannorrhops ritchiana* within the waterways (Keneshloo et al., 2014).

Seedling production through seeds

After forest monitoring in Bashagard area (*Moringa* distribution point), 30 elite trees were identified for seed collection from three habitats of Sagan, Gafr and Parmon. Figure 1 shows the seeds of *Moringa*. Seeds pods were collected in mid-August 2018, packed in polyethylene bags (Bayé-Niwah & Mapongmetsem, 2014) and transferred to the laboratory. All pods of similar size were also grouped together.

The most frequent number of seeds per pods was six. These pods were used to determine the effect of seed position on germination and vegetative characteristics. The seeds were separated from 48 pods, the seeds numbered 1 to 6 (the position near the attached part to stem was No. 1) and weighed to ± 0.01 mg (Bayé-Niwah & Mapongmetsem, 2014). Thus, 48 seeds from each pod position were used in the experiments.

To investigate the effect of leaching on germination and the vegetative characteristics, seeds were placed in a leaching instrument (Moslehi et al., 2020). After placing in cotton bags, 16 seeds from each position were exposed to running water for 0, 24 and 48 h (Padilla et al., 2012). The seeds were dried on a cotton cloth in the shade, a posteriori, sown for germination. The experiment was performed in a completely randomized design as a factorial arrangement.

de Sorheh) en Irán, a 26° 20' 42" LN y 57° 42' 48" LE. De acuerdo con la clasificación climática Domarten (Keneshloo et al., 2014), la región tiene clima seco con veranos calurosos e inviernos suaves sin periodo glacial, temperatura media anual de 24 °C a 27 °C, precipitaciones medias anuales de 150 mm a 200 mm principalmente en invierno. Los suelos son alcalinos, poco profundos a medios con textura ligera a media. Las principales especies vegetales son *Periploca aphylla* Decne, *Artemisia aucheri* Boiss, *Ficus glomerata* Roxb, *M. peregrina*, *Amygdalus scoparia* Spach. y *Pistacia atlantica* Desf. en las laderas y *Vitex agnus-castus* L. y *Nannorrhops ritchiana* dentro de los canales (Keneshloo et al., 2014).

Producción de plántulas a partir de semillas

Tras el seguimiento forestal en la zona de Bashagard (punto de distribución de la moringa), se identificaron 30 árboles de élite para la recolección de semillas en tres hábitats de Sagan, Gafr y Parmon. La Figura 1 muestra las semillas de moringa. Las vainas se recolectaron a mediados de agosto de 2018, se envasaron en bolsas de polietileno (Bayé-Niwah & Mapongmetsem, 2014) y se trasladaron al laboratorio. Asimismo, se agruparon todas las vainas que presentaron tamaño similar.

El número más frecuente de semillas por vaina fue seis. Estas vainas se utilizaron para determinar el efecto de la posición de las semillas respecto a la germinación y las características vegetativas. Para ello, las semillas se extrajeron de 48 vainas, se numeraron del 1 al 6 (correspondiendo el número 1 a la posición cercana a la parte unida al tallo) y se pesaron con una precisión de ± 0.01 mg (Bayé-Niwah & Mapongmetsem, 2014). De esta



Figure 1. Samples of *Moringa peregrina* seeds in pod.

Figura 1. Muestras de semillas de *Moringa peregrina* en vaina.

In the standard germination test, 100 seeds of each treatment were placed in Petri dishes (9 cm diameter) with three replicates. Each plate included Whatman No. 1 filter paper, where 15 mL of sterile distilled water was added. The plates were transferred to an incubator at 25 °C. The test lasted 12 days and germination was recorded daily at the same time. This was necessary until day 8; thereafter, germination was slower (Agrawal, 2003). To determine germination quality, the following characteristics were evaluated: 1) germination percentage (GP) at the end of the trial; 2) mean daily germination (MDG) according to the equation of Hunter et al. (1984): $MDG = GP / \text{number of days to reach maximum germination}$; and 3) germination rate (GR), using Maguire's method (Maguire, 1962) which is based on the relationship $\Sigma TG = N_i / T_i$ in which N_i is the number of seeds germinated per day and T_i is the number of days after sowing (1 to 16 days).

To evaluate seedling quality, seeds from each position were sown in pots (18 × 12 cm) at a depth of 1 to 2 cm with a mixture of light soil (crop soil with perlite) (3/4) and sand (1/4). Seeds were watered daily for the first three weeks and then once every other day. For each seed position, four replicates (4 group of 4 seeds) ($n = 4$) were considered. For each leaching treatment, 96 seeds were sown (six seed positions × n). In total, 288 sowings were made for seed position and leaching (six seed positions × three leaching treatments × n). Pots were maintained in a greenhouse and seedling emergence above the mixed soil was recorded every day for two weeks (Figure 2). After 45 days, vegetative

forma, se utilizaron 48 semillas de cada posición de la vaina en los experimentos.

Para estudiar el efecto de lixiviación sobre la germinación y las características vegetativas, las semillas se colocaron en un instrumento de lixiviación (Moslehi et al., 2020). Después de colocarlas en bolsas de algodón, 16 semillas de cada posición se expusieron al agua corriente durante 0, 24 y 48 h (Padilla et al., 2012). Las semillas se secaron en un paño de algodón a la sombra y, *a posteriori*, se sembraron para su germinación. El experimento consistió en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial.

En la prueba de germinación estándar, se colocaron 100 semillas de cada tratamiento en placas de Petri (9 cm de diámetro) con tres repeticiones. Cada placa incluía papel filtro Whatman núm. 1, donde se añadieron 15 mL de agua destilada estéril. Las placas se transfirieron a una incubadora a 25 °C. La prueba duró 12 días y la germinación se registró diariamente a la misma hora. Esto fue necesario hasta el día 8; a partir de entonces, la germinación fue más lenta (Agrawal, 2003). Para determinar la calidad de la germinación se evaluaron las características siguientes: 1) porcentaje de germinación (PG) al final del ensayo; 2) germinación media diaria (GMD) según la ecuación de Hunter et al. (1984): $GMD = PG / \text{número de días para alcanzar la germinación máxima}$; y 3) tasa de germinación (TG), utilizando el método de Maguire (Maguire, 1962) que se basa en la relación $\Sigma TG = N_i / T_i$ en la que N_i es el número de semillas germinadas por día y T_i es el número de días después de la siembra (1 a 16 días).



Figure 2. Cultured *Moringa peregrina* seedlings in the nursery.
Figura 2. Plántulas de *Moringa peregrina* cultivadas en vivero.

characteristics of all seedlings from each group were measured: collar diameter (mm), seedling length (cm), number of leaves, root length (cm), fresh and dry weight of leaves, roots and stems (g).

Statistical analysis

The experimental design was a completely randomized design (CRD) with three replications. The experimental design had a 2×2 factorial arrangement. Data were stored in Excel and analyzed with SPSS version 24. The effects of treatments on vegetative characteristics were examined with two-way analysis of variance. Multiple comparisons were performed using Duncan's multiple range tests ($P \leq 0.05$). Normality of data was tested by Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests.

Results

Statistical analysis showed a normal distribution pattern of the data ($P \geq 0.05$) by Kolmogorov-Smirnov test for seed germination parameters (germination percentage, mean daily germination and germination rate). The results of the experiment with factorial design (treatment type and seed position) revealed significant differences in seed germination, mean daily germination and germination rate ($P \leq 0.05$) (Tables 2, 3 and 4).

Seed position in the pod

Seed weight was significantly ($P < 0.05$) affected by its position in the pod. Seed weight ranged from 0.60 g in the first position to 0.73 g in the middle position. The seeds from position 1 had the lowest weight (Table 1). Seed position in the pod also had significant ($P \leq 0.05$) effect on germination and overall germination rate (Tables 2 and 4), and mean daily germination ($P \geq 0.05$; Table 3 and Figure 3B). The results of mean comparisons, using Duncan's test, showed that the highest germination rate occurred in seedlings derived from seeds with positions 4 and 5 (Figure 3A); while the highest germination rate was observed in seeds of position 3 (Figure 3C).

Seed position in the pod also had a significant effect on vegetative characteristics, except for leaf number and root fresh weight. For most of the parameters measured, seeds positioned in the center of the pod produced the best seedlings (Table 5). Seeds from position 3, 4, and 5 had seedlings with significantly higher fresh (0.46 to 0.49 g) and dry (0.08 g) leaf weights. Seedlings from position 4 seeds had better neck diameter (3.51 mm) and stem length (19.48 cm) growth, while seeds from position 5 had greater length (10.55 cm) and root dry weight (0.46 g). As with other features, the highest stem weights corresponded to

Para evaluar la calidad de las plántulas, las semillas de cada posición se sembraron en macetas (18 × 12 cm) a una profundidad de 1 a 2 cm con una mezcla de tierra ligera (tierra de cultivo con perlita) (3/4) y arena (1/4). Las semillas se regaron diariamente durante las tres primeras semanas y después una vez cada dos días. Para cada posición de las semillas se consideraron cuatro repeticiones ($n = 16$). Para cada tratamiento de lixiviación se sembraron 96 semillas (seis posiciones de semillas × 16 n). En total, se realizaron 288 siembras para la posición de semilla y lixiviación (seis posiciones de semilla × tres tratamientos de lixiviación × 16 n). Las macetas se mantuvieron en un invernadero y la emergencia de las plántulas sobre el suelo mezclado se registró cada día durante dos semanas (Figura 2). Al cabo de 45 días, se midieron las características vegetativas de todas las plántulas de cada grupo: diámetro del cuello (mm), longitud de la plántula (cm), número de hojas, longitud de la raíz (cm), peso fresco y seco de hojas, raíces y tallos (g).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue un diseño completamente aleatorizado (DCA) con tres repeticiones. El diseño experimental tuvo arreglo factorial 2×2. Los datos se guardaron en el programa Excel y se analizaron con el programa SPSS versión 24. Los efectos de los tratamientos sobre las características vegetativas se examinaron con análisis de la varianza de dos vías. Las comparaciones múltiples se realizaron mediante las pruebas de rango múltiple de Duncan ($P \leq 0.05$). La normalidad de los datos se comprobó mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

Resultados

El análisis estadístico mostró un patrón de distribución normal de los datos ($P \geq 0.05$) mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov para los parámetros de germinación de las semillas (porcentaje de germinación, germinación media diaria y tasa de germinación). Los resultados del experimento con diseño factorial (tipo de tratamiento y posición de las semillas) revelaron diferencias significativas en la germinación de las semillas, la germinación media diaria y la tasa de germinación ($P \leq 0.05$) (Cuadros 2, 3 y 4).

Posición de la semilla en la vaina

El peso de la semilla fue afectado significativamente ($P < 0.05$) por su posición en la vaina. El peso osciló entre 0.60 g en la primera posición y 0.73 g en la posición intermedia. Las semillas de la posición 1 registraron el peso más bajo (Cuadro 1). La posición de las semillas en la vaina también tuvo efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre la germinación y la tasa de germinación global (Cuadros 2 y 4), pero no sobre la germinación media

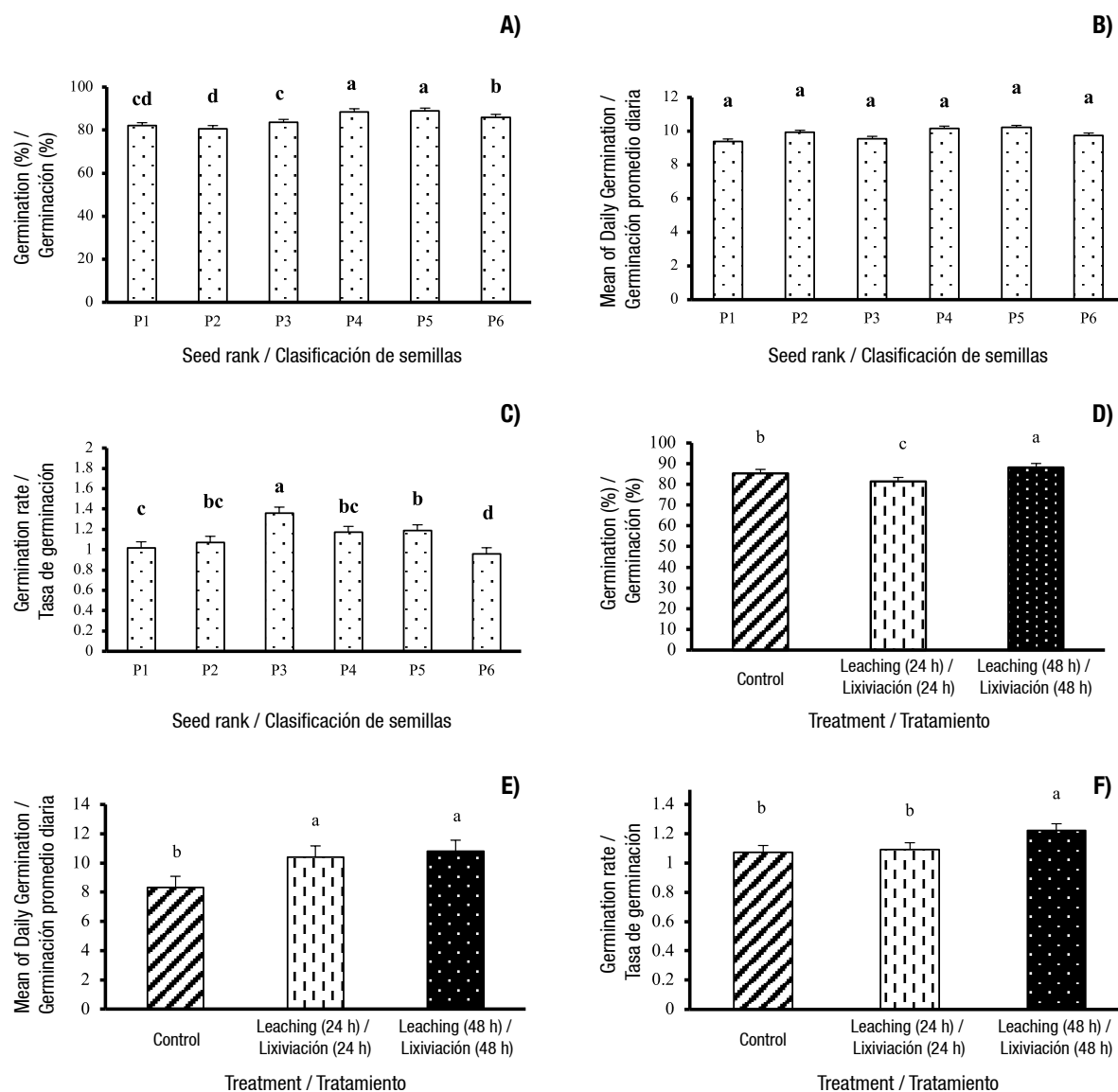


Figure 3. A) Germination percentage, average daily germination and germination rate according to seed position (position close to the part attached to the stem was number 1) and water treatments evaluated. Error bars denote standard deviation of the mean ($n = 72$); different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.05$).

Figura 3. Porcentaje de germinación, germinación promedio diaria y tasa de germinación de acuerdo con la posición de las semillas (la posición cercana a la parte unida al tallo fue la número 1) y los tratamientos hídricos evaluados. Las barras de error denotan desviación estándar de la media ($n = 72$); letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$).

seedlings grown from seeds of middle positions 3 and 5; i.e., 0.62 and 0.56 g (dry weights) and 0.99 and 0.88 g (fresh weights), respectively.

Effects of seed leaching

For all the measured characteristics, seed leaching with running water provided better conditions for seed germination. In particular, the highest germination level (i. e., 88.1 %) was observed when seeds had been subjected to 48 h of leaching in water (Figure 3D). The

diaria ($P \geq 0.05$; Cuadro 3 y Figura 1B). Los resultados de las comparaciones de medias, mediante la prueba de Duncan, mostraron que la mayor tasa de germinación se produjo en las plántulas derivadas de las semillas con posiciones 4 y 5 (Figura 3A); mientras que la mayor tasa de germinación se observó en las semillas de la posición 3 (Figura 3C).

La posición de las semillas en la vaina también tuvo efecto significativo sobre las características vegetativas, excepto en el número de hojas y el peso fresco de las

Table 1. *Moringa peregrina* seed weight according to the position in the pod. Seeds were numbered from 1 to 6; the position close to the part attached to the stem was number 1.

Cuadro 1. Peso de semilla de *Moringa peregrina* de acuerdo con la posición en la vaina. Las semillas se numeraron del 1 al 6; la posición cercana a la parte unida al tallo fue la número 1.

Seed position/Peso de la semilla (g)	Seed weight (g)/Posición de la semilla
0.60 ± 0.13 b	P1
0.65 ± 0.14 ab	P2
0.73 ± 0.14 a	P3
0.72 ± 0.114 a	P4
0.72 ± 0.13 a	P5
0.68 ± 0.10 a	P6
0.68 ± 0.14	Total

± standard deviation of the mean (n = 48).

± desviación estándar de la media (n = 48).

Table 2. Results of the experiment with factorial arrangement to determine the effect of seed position in the pod and leaching treatments on *Moringa peregrina* germination.

Cuadro 2. Resultados del experimento con arreglo factorial para determinar el efecto de la posición de las semillas en la vaina y los tratamientos de lixiviación sobre la germinación de *Moringa peregrina*.

Source/ Fuente	Type III Sum of Squares/ Suma de cuadrados Tipo III	Degrees of freedom/ Grados de libertad	Mean Square/ Cuadrado medio	F	P-value/ Valor P
Leaching treatment/Lixiviación	546.71	2	273.35	88.41	0.000
Pod/Vaina	682.99	5	136.59	44.18	0.000
Leaching × pod/Lixiviación × vaina	2 197.02	10	219.70	71.05	0.000
Error	166.95	54	3.09		
Total	523 227.18	72			

Table 3. Results of a factorial design experiment to determine the effect of seed position in the pod and leaching treatments on the mean of daily germination of *Moringa peregrina*.

Cuadro 3. Resultados del experimento con arreglo factorial para determinar el efecto de la posición de la semilla en la vaina y los tratamientos de lixiviación sobre la germinación promedio diaria de *Moringa peregrina*.

Source/ Fuente	Type III Sum of Squares/ Suma de cuadrados Tipo III	Degrees of freedom/ Grados de libertad	Mean Square/ Cuadrado medio	F	P-value/ Valor P
Leaching treatment/Lixiviación	84.25	2	42.12	136.84	0.000
Pod/Vaina	6.33	5	1.26	4.11	0.003
Leaching × pod/Lixiviación × vaina	29.78	10	2.97	9.67	0.000
Error	16.62	54	0.31		
Total	7 107.91	72			

Table 4. Results of the experiment with factorial arrangement to determine the effect of seed position in the pod and leaching treatments on the germination rate of *Moringa peregrina*.

Cuadro 4. Resultados del experimento con arreglo factorial para determinar el efecto de la posición de la semilla en la vaina y los tratamientos de lixiviación sobre la tasa de germinación de *Moringa peregrina*.

Source/ Fuente	Type III Sum of Squares/ Suma de cuadrados Tipo III	Degrees of freedom/ Grados de libertad	Mean Square/ Cuadrado medio	F	P-value/ Valor P
Leaching treatment / Lixiviación	0.32	2	0.16	9.73	0.000
Pod/Vaina	1.23	5	0.24	14.97	0.000
Leaching × pod / Lixiviación × vaina	0.75	5	0.07	4.55	0.000
Error	0.88	54	0.016		
Total	95.06	72			

average daily germination was highest (10.8) for seeds given 48 h leaching and was similar to that found in 24 h leached seeds (10.4), but significantly greater than the control (Figure 3E). The highest germination rate (1.22) was observed in 48 h leached seeds (Figure 3F). Also, the number of leaves per seedling (16.82) was significantly higher than that observed with the 24-hour treated seeds and the control (10.8 and 11.0, respectively). Collar diameter (3.50 mm) and stem dry weight (0.08 g), fresh (0.57 g) and dry weight of leaves (0.11 g), and fresh (3.60 g), dry (0.5 g) and length (10.10 cm) of roots of seedlings from seeds subjected to leaching for 48 h were significantly higher than those of the other treatments (Table 5). Finally, stem fresh weight (0.58 g) in the 48 h treatment was in the same group with the 24 h treatment (0.57 g) and had statistically significant difference compared to the control treatment (0.49 g).

In general, the analysis of variance showed that all characteristics measured after leaching treatments (0, 24 h and 48 h) with tap water were significantly different from the control treatments, with the exception of stem length (between 14.9 and 15.5 cm).

The main effects of pod position and leaching treatments ($P \leq 0.05$) are tabulated in Table 5 and their interactions are shown in Table 6, where it is observed that these were significant. The interaction was not significant for collar diameter and stem length. The results showed that the 48 h treatment on mid-position seeds caused positive effects on parameters.

Discussion

Moringa is a drought-resistant tree. The drought resistance characteristics of this tree, seed and seedlings enable the species to grow in arid and semi-arid areas where water shortage is one of the main problems (Mirdha, 2015). Consequently, moringa

raíces. Para la mayoría de los parámetros medidos, las semillas situadas en el centro de la vaina produjeron las mejores plántulas (Cuadro 5). Las semillas de la posición 3, 4 y 5 tuvieron plántulas con peso fresco (0.46 a 0.49 g) y seco (0.08 g) de la hoja significativamente mayores. Las plántulas de semillas de la posición 4 tuvieron mejor crecimiento del diámetro de cuello (3.51 mm) y de longitud del tallo (19.48 cm), mientras que las semillas de la posición 5 tuvieron mayor longitud (10.55 cm) y peso seco de la raíz (0.46 g). Al igual que otras características, los pesos más altos del tallo correspondieron a las plántulas cultivadas a partir de las semillas de las posiciones medias 3 y 5; es decir, 0.62 y 0.56 g (pesos secos) y 0.99 y 0.88 g (pesos frescos), respectivamente.

Efectos de lixiviación de semillas

Para todas las características medidas, la lixiviación de semillas con agua corriente proporcionó mejores condiciones para su germinación. En particular, el mayor nivel de germinación (88.1 %) se observó cuando las semillas se sometieron a 48 h de lixiviación en agua (Figura 3D). La germinación promedio diaria fue más alta (10.8) para semillas sometidas a 48 h de lixiviación y fue similar a la encontrada en las semillas lixiviadas por 24 h (10.4), pero significativamente mayor al testigo (Figura 3E). La mayor tasa de germinación (1.22) se observó en semillas lixiviadas por 48 h (Figura 3F); asimismo, el número de hojas por plántula (16.82) fue significativamente superior al observado con semillas tratadas por 24 h y el testigo (10.8 y 11.0, respectivamente). El diámetro del cuello (3.50 mm) y peso seco del tallo (0.08 g), peso fresco (0.57 g) y seco de las hojas (0.11 g), y peso fresco (3.60 g), seco (0.5 g) y longitud (10.10 cm) de raíces de las plántulas de semillas sometidas a lixiviación durante 48 h fueron significativamente superiores a los de los otros tratamientos (Cuadro 5). Por último, el peso fresco del tallo (0.58 g) en el tratamiento de 48 h se situó en el mismo grupo con el tratamiento de 24 h (0.57 g) y

Table 5. The effect of seed position in pod and leaching treatment on all of vegetative characteristics of *Moringa peregrina*.
Cuadro 5. Efecto de la posición de la semilla en la vaina y tratamiento con agua corriente sobre las características vegetativas de *Moringa peregrina*.

Treatment/ Tratamiento	Leaf/Hoja			Stem /Tallo			Root/Raíz				
	Quantity (g)/ Cantidad (g)	Leaf fresh weight (g)/ Peso fresco (g)	Leaf dry weight (g)/ Peso seco (g)	Collar diameter (mm)/ Diámetro del cuello (mm)	Stem length (cm)/ Longitud (cm)	Stem dry weight (g)/ Peso seco (g)	Stem fresh weight (g)/ Peso fresco (g)	Root length (cm)/ Longitud (cm)	Root fresh weight (g)/ Peso fresco (g)	Root dry weight (g)/ Peso seco (g)	
Seed position/ Posición de la semilla	1	13.47±0.83 a	0.39±0.03 b	0.07±0.00 ab	3.13±0.07 b	13.05±0.37 d	0.06±0.00 b	0.51±0.03 b	7.96±0.27 c	2.77±0.16 a	0.38±0.23 bc
	2	12.50±0.79 a	0.40±0.03 b	0.07±0.00 ab	3.14±0.11 b	13.03±0.54 d	0.07±0.00 b	0.51±0.03 b	9.31±0.24 b	2.88±0.16 a	0.43±0.24 ab
	3	11.87±0.67 a	0.46±0.23 ab	0.08±0.00 a	3.25±0.10 ab	14.57±0.51 c	0.09±0.00 a	0.62±0.02 a	9.35±0.4 b	2.98±0.19 a	0.44±0.24 ab
	4	14.03±1.00 a	0.42±0.03 ab	0.08±0.00 ab	3.51±0.08 a	19.48±0.47 a	0.07±0.00 b	0.55±0.03 b	7.86±0.29 c	2.55±0.13 a	0.34±0.23 c
	5	13.60±1.50 a	0.49±0.05 a	0.08±0.01 a	3.34±0.12 ab	17.01±0.42 b	0.08±0.00 a	0.56±0.02 ab	10.55±0.64 a	3.02±0.27 a	0.46±0.04 a
	6	11.70±0.89 a	0.40±0.04 b	0.06±0.00 b	3.14±0.08 b	13.73±0.28 cd	0.06±0.00 b	0.54±0.03 b	7.76±0.26 c	2.78±0.20 a	0.40±0.02 ab
Leaching treatment/ Agua corriente	Control/ Testigo	10.95±0.49 b	0.34±0.01 b	0.06±0.00 b	3.13±0.06 b	14.85±0.43 a	0.06±0.00 b	0.49±0.01 b	7.69±0.24 c	2.36±0.08 b	0.35±0.01 b
	24 h	10.81±0.54 b	0.37±0.01 b	0.06±0.00 b	3.13±0.07 b	14.84±0.47 a	0.07±0.00 b	0.57±0.01 a	8.61±0.22 b	2.53±0.12 b	0.37±0.01 b
	48 h	16.82±0.73 a	0.57±0.02 a	0.10±0.00 a	3.50±0.06 a	15.74±0.38 a	0.08±0.00 a	0.58±0.02 a	10.10±0.32 a	3.60±0.13 a	0.50±0.02 a

Seeds were numbered from 1 to 6; the position close to the part attached to the stem was number 1. In each treatment factor, values in the same column with different letters are significantly different according to Duncan's multiple range tests ($P \leq 0.05$). \pm standard error of the mean ($n = 72$)

Las semillas se numeraron del 1 al 6; la posición cercana a la parte unida al tallo fue la número 1. En cada factor de tratamiento, valores de una misma columna con letra distinta son significativamente diferentes de acuerdo con las pruebas de rango múltiple de Duncan ($P \leq 0.05$). \pm error estándar de la media ($n = 72$)

has attracted international interest in its economic potential for drylands (Mirdha, 2015). To realize the species' potential, it is important to be able to select trees that produce high quality seeds (Bayé-Niwah & Mapongmetsem, 2014) and to germinate the seeds efficiently and effectively (Eghobor et al., 2015; Materchera, 2017; Padilla et al., 2012).

The effect of leaching on germination and vegetative growth

Seed germination begins with water uptake that activates metabolic processes, leading to the emergence of radicles as the first visual signs. Water flow in a seed plays a key role in the efficiency of germination and, therefore, in the rate of seedling emergence. The present work demonstrates that immersion of moringa seeds in water is one of the factors that improves germination (Table 2-4; Figure 3), presumably, by initiating physiological changes in the embryo; furthermore, leaching for 48 h not only increased germination, but also improved mean daily germination and germination rate. Seed leaching also resulted in increased vegetative growth, which

tuvieron diferencia estadísticamente significativa en comparación con el tratamiento testigo (0.49 g).

En general, el análisis de varianza mostró que todas las características medidas después de los tratamientos de lixiviación (0, 24 h y 48 h) con agua corriente fueron significativamente diferentes de los tratamientos testigos, con excepción de la longitud del tallo (entre 14.9 y 15.5 cm).

Los efectos principales de la posición de la vaina y los tratamientos de lixiviación ($P \leq 0.05$) se tabulan en el Cuadro 5 y sus interacciones se muestran en el Cuadro 6, donde se observa que estas fueron significativas. La interacción no fue significativa para el diámetro del cuello y longitud del tallo. Los resultados mostraron que el tratamiento de 48 h en las semillas de posición media causó efectos positivos sobre los parámetros.

Discusión

La moringa es un árbol resistente a la sequía. Las características de resistencia a la sequía de este árbol, semillas y plántulas permiten a la especie crecer en zonas

Table 6. Effects of seed position × leaching treatment interaction on vegetative characteristics of *Moringa peregrina*.**Cuadro 6. Efectos de la interacción posición de la semilla × tratamiento de lixiviación con agua corriente sobre las características vegetativas de *Moringa peregrina*.**

Treatment / Tratamiento		Variable						
Leaching treatment / Agua corriente	Seed position / Posición de semilla	Root length (cm) / Longitud de raíz (cm)	Leaf fresh weight (g) / Peso fresco de hoja (g)	Leaf dry weight (g) / Peso seco de hoja (g)	Stem fresh weight (g) / Peso fresco de tallo (g)	Stem dry weight (g) / Peso seco de tallo (g)	Root fresh weight (g) / Peso fresco de raíz (g)	Root dry weight (g) / Peso seco de raíz (g)
Control / Testigo	1	7.41 ± 0.20 b	0.29 ± 0.03 a	0.057 ± 0.01 a	0.47 ± 0.02 ab	0.05 ± 0.01 cd	2.24 ± 0.25 a	0.29 ± 0.03 bc
	2	9.48 ± 0.42 a	0.35 ± 0.03 a	0.06 ± 0.01 a	0.48 ± 0.03 ab	0.06 ± 0.01 bcd	2.67 ± 0.24 a	0.41 ± 0.03 a
	3	7.34 ± 0.68 b	0.40 ± 0.04 a	0.08 ± 0.01 a	0.54 ± 0.02 a	0.08 ± 0.01 a	2.34 ± 0.17 a	0.38 ± 0.03 ab
	4	6.96 ± 0.64 b	0.34 ± 0.04 a	0.07 ± 0.01 a	0.57 ± 0.05 a	0.07 ± 0.01 ab	2.36 ± 0.21 a	0.27 ± 0.03 c
	5	7.92 ± 0.81 ab	0.32 ± 0.05 a	0.052 ± 0.01 a	0.51 ± 0.03 a	0.07 ± 0.01 abc	2.29 ± 0.20 a	0.38 ± 0.03 ab
	6	7.02 ± 0.39 b	0.31 ± 0.03 a	0.05 ± 0.01 a	0.40 ± 0.03 b	0.05 ± 0.01 d	2.24 ± 0.18 a	0.36 ± 0.03 ab
24 h	1	7.18 ± 0.42 c	0.42 ± 0.03 ab	0.08 ± 0.01 a	0.56 ± 0.06 b	0.06 ± 0.01 b	2.96 ± 0.24 a	0.42 ± 0.03 a
	2	8.80 ± 0.31 ab	0.35 ± 0.03 bc	0.07 ± 0.01 ab	0.49 ± 0.06 b	0.06 ± 0.01 b	2.70 ± 0.31 a	0.38 ± 0.05 a
	3	10.09 ± 0.59 a	0.50 ± 0.04 a	0.09 ± 0.01 a	0.73 ± 0.02 a	0.09 ± 0.00 a	2.89 ± 0.3 a	0.43 ± 0.04 a
	4	8.50 ± 0.46 bc	0.38 ± 0.05 ab	0.07 ± 0.01 ab	0.52 ± 0.03 b	0.05 ± 0.00 b	2.48 ± 0.31 a	0.36 ± 0.05 a
	5	9.14 ± 0.65 ab	0.33 ± 0.05 bc	0.05 ± 0.01 bc	0.62 ± 0.04 ab	0.10 ± 0.00 a	2.05 ± 0.39 a	0.29 ± 0.05 a
	6	7.95 ± 0.44 bc	0.24 ± 0.04 c	0.04 ± 0.01 c	0.54 ± 0.03 b	0.06 ± 0.00 b	2.10 ± 0.23 a	0.34 ± 0.04 a
48 h	1	9.29 ± 0.48 cd	0.47 ± 0.05 b	0.09 ± 0.01 b	0.50 ± 0.04 a	0.06 ± 0.01 b	3.12 ± 0.32 cd	0.41 ± 0.05 b
	2	9.63 ± 0.51 bc	0.49 ± 0.05 b	0.10 ± 0.01 b	0.58 ± 0.04 a	0.08 ± 0.01 b	3.26 ± 0.28 bcd	0.49 ± 0.04 b
	3	10.61 ± 0.29 b	0.48 ± 0.04 b	0.09 ± 0.01 b	0.60 ± 0.04 a	0.10 ± 0.01 a	3.70 ± 0.36 bc	0.50 ± 0.05 b
	4	8.13 ± 0.28 d	0.54 ± 0.06 b	0.11 ± 0.01 b	0.55 ± 0.07 a	0.08 ± 0.01 b	2.80 ± 0.17 d	0.39 ± 0.04 b
	5	14.60 ± 0.34 a	0.81 ± 0.08 a	0.15 ± 0.01 a	0.56 ± 0.05 a	0.08 ± 0.01 b	4.73 ± 0.19 a	0.71 ± 0.06 a
	6	8.32 ± 0.48 d	0.64 ± 0.04 b	0.10 ± 0.01 b	0.67 ± 0.04 a	0.08 ± 0.01 b	4.00 ± 0.29 ab	0.51 ± 0.04 b

Seeds were numbered from 1 to 6; the position close to the part attached to the stem was number 1. Values in the same column with different letters are significantly different according to Duncan's multiple range tests ($P \leq 0.05$). ± standard error of the mean ($n = 72$)

Las semillas se numeraron del 1 al 6; la posición cercana a la parte unida al tallo fue la número 1. Valores de una misma columna con letra distinta son significativamente diferentes de acuerdo con las pruebas de rango múltiple de Duncan ($P \leq 0.05$). ± error estándar de la media ($n = 72$)

contradicts the results of other studies (Padilla, 2012); for example, Yerima et al. (2016) found that germination, number of leaves, height and diameter of the seedling collar of *M. oleifera* in control seeds (without immersion) were 68.7 %, 3.9, 6.5 cm and 0.5 cm, respectively, being higher than in seeds immersed in water for 4, 8 and 12 days.

Increasing the hydration level promotes enzyme activation of carbohydrate metabolism (Gupta & Kaur, 2002) as well as liberates ATP (adenosine triphosphate) for root protrusion and consequently seed germination (Lobato et al., 2009). Pre-soaking seeds might also increase the vigor of the seeds (priming-like response) enable the seeds to germinate better under stress conditions (Kaur et al., 2002). The need to soak the seed before sowing depends on the level of hard seedness in the seed lot and this can vary between species, as with *M. oleifera* and *Leucaena leucocephala*, which means that the need for intervention may not always be necessary before planting (Medina et al., 2007). In the case of species in the genus *Moringa*, the findings are equivocal with some studies noting the

áridas y semiáridas, donde la escasez de agua es uno de los problemas principales (Mirdha, 2015). En consecuencia, la moringa ha despertado el interés internacional por su potencial económico para las zonas áridas (Mirdha, 2015). Para aprovechar el potencial de la especie, es importante la selección de árboles que produzcan semillas de alta calidad (Bayé-Niwah & Mapongmetsem, 2014) con germinación eficiente y eficaz (Eghobor et al., 2015; Materechera, 2017; Padilla et al., 2012).

Efecto de la lixiviación sobre la germinación y crecimiento vegetativo

La germinación de las semillas comienza con la absorción de agua que activa los procesos metabólicos, dando lugar a la emergencia de radículas como primeros signos visuales. El flujo de agua en una semilla desempeña un papel clave en la eficiencia de la germinación y, por tanto, en la tasa de emergencia de las plántulas. El presente trabajo demuestra que la inmersión de las semillas de moringa en agua es uno de los factores que mejora la germinación (Cuadros 2-4; Figura 3), presumiblemente, al iniciar cambios fisiológicos en

importance of soaking seeds before sowing (Eghobor et al., 2015) and others concluding that this is not needed to obtain good, high-quality germination (Hajebi, 2014). In some species, soaking the seeds in water is also needed for washing out inhibitors (Pardos, 2004), but we do not think this was a feature of the soaking response in *M. peregrina*. Despite of positive effect of leaching on germination, some of the differences in findings regarding the effects of pre-sowing soaking of seeds could relate to the growing conditions used in the experiments. In this regard, Padilla et al. (2012) and Medina et al. (2007) observed few evident benefits of seed soaking, which could be due to the fact that germination occurred under high irrigation conditions. In fact, for seeds of some tree species, excess soil moisture can decrease germination and root growth (Pardos, 2004)

Effect of seed position in the pod on germination and vegetative growth

Seed position of *M. peregrina* has a profound effect on weight, with the middle seeds being significantly superior to seeds 1 and 6 at the pod ends. These results are consistent with those of Bayé-Niwah and Mapongmetsem (2014).

There are several hypotheses to explain the variation in seed mass among seeds in the same pod. The trophic hypothesis states that there is competition among seeds for nutrients during fruiting and that those in the middle zone of the pod are favored. As an alternative, the structural hypothesis proposes that seeds in the middle zone have more room to grow than those in the distal and proximal poles (Mapongmetsem et al., 2004). The present study did not set out to resolve which of the two hypotheses is more likely; in fact, both could operate in parallel. Nevertheless, it can be concluded that seeds in the middle part of the pod are heavier than those at the ends (Mapongmetsem et al., 2004); moreover, larger seeds germinate quickly and produce stronger seedlings with higher biomass. In the case of average stem length of middle seeds, the observed response is close to that reported in this species by Bayé-Niwah and Mapongmetsem (2014). The efficiency of germination and seedling growth is important for the species to grow fast enough to outgrow competing plants in the same ecological niche in grassland ecosystems (Padilla et al., 2012).

Conclusions

Moringa peregrina seeds from the middle part of the pod are heavier and show better results in germination (percentage and total) and vegetative characteristics of seedlings (number of leaves and most biomass parameters). Overall germination performance and

el embrión; además, la lixiviación por 48 h no solo aumentó la germinación, sino que también mejoró la germinación media diaria y la tasa de germinación. La lixiviación de semillas también dio lugar a un mayor crecimiento vegetativo, lo cual contradice los resultados de otros estudios (Padilla, 2012); por ejemplo, Yerima et al. (2016) encontraron que la germinación, el número de hojas, la altura y el diámetro del cuello de la plántula de *M. oleifera* en las semillas testigo (sin inmersión) fueron del 68.7 %, 3.9, 6.5 cm y 0.5 cm, respectivamente, siendo mayores que en las semillas sumergidas en agua durante 4, 8 y 12 días.

El incremento del nivel de hidratación favorece la activación enzimática del metabolismo de los carbohidratos (Gupta & Kaur, 2002), así como la liberación de ATP (adenosin trifosfato) para la protrusión de raíces y, en consecuencia, la germinación de las semillas (Lobato et al., 2009). La inmersión previa de las semillas también podría aumentar su vigor (respuesta de imprimación) y permitirles germinar mejor en condiciones de estrés (Kaur et al., 2002). La necesidad de remojar las semillas antes de la siembra depende del nivel de endurecimiento del lote de semillas y esto puede variar entre especies, como sucede con *M. oleifera* y *Leucaena leucocephala*, lo que significa que la intervención puede no ser siempre necesaria (Medina et al., 2007). En el caso de las especies del género *Moringa*, los resultados son equívocos, ya que algunos estudios señalan la importancia de remojar las semillas antes de sembrarlas (Eghobor et al., 2015) y otros concluyen que esto no es necesario para obtener una germinación buena y de alta calidad (Hajebi, 2014). En algunas especies, el remojo de las semillas en agua también es necesario para eliminar los inhibidores (Pardos, 2004), pero no creemos que esta sea una característica de respuesta del remojo en *M. peregrina*. A pesar del efecto positivo de la lixiviación en la germinación, algunas de las diferencias en los resultados sobre los efectos del remojo de las semillas antes de la siembra podrían estar relacionadas con las condiciones de cultivo utilizadas en los experimentos. Al respecto, Padilla et al. (2012) y Medina et al. (2007) observaron pocos beneficios evidentes del remojo de semillas, lo que podría deberse a que la germinación ocurrió en condiciones de irrigación elevada. De hecho, para las semillas de algunas especies arbóreas el exceso de humedad en el suelo puede disminuir la germinación y el crecimiento de las raíces (Pardos, 2004).

Efecto de la posición de la semilla en la vaina sobre la germinación y crecimiento vegetativo

La posición de la semilla de *M. peregrina* tiene un efecto profundo en el peso, siendo las semillas centrales significativamente superiores a las semillas 1 y 6 de los extremos de la vaina. Estos resultados concuerdan con los de Bayé-Niwah y Mapongmetsem (2014).

seedling growth can be improved by immersing seeds from the middle position of the pod in leaching treatment for 48 h. Therefore, to increase the production of good quality seedlings in nurseries or forest plots, it is recommended to select seeds by size and pre-treat them in water before planting them in pots or directly into the landscape.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge Prof. Hugh W. Pritchard and Dr. Fikret Isik for helpful commenting on a draft of this paper.

End of English version

References / Referencias

- Agrawal, R. (2003). *Seed technology*. Publishing Company Pvt. Limited.
- Andriamanohera, A. M. (2019). *Moringa drouhardii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T69222127A69228933. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T69222127A69228933.en>
- Bayé-Niwah, C., & Mapongmetsem, P. (2014). Seed germination and initial growth in *Moringa oleifera* Lam. 1785 (Moringaceae) in Sudano-Sahelian zone. *International Research Journal of Plant Science*, 5(2), 23–29. <https://www.interestjournals.org/articles/seed-germination-and-initial-growth-in-moringa-oleiferalam-1785-moringaceae-in-sudanosahelian-zone.pdf>
- Eghobor, S., Umar, A. A., Munir, G., Abuakbar, A., & Collins, O. (2015). Comparative study of *Moringa oleifera* seed germination enhancement using gibberellic acid in varying concentrations. *International Journal of Applied Research*, 1(13), 79–80. www.allresearchjournal.com/archives/2015/vol1issue13/PartB/1-12-56.pdf
- Hajebi, H. (2014). Investigation on *Moringa peregrina* seedling production methods. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IR2012070046>
- Hassanein, A. M. A., & Al-Soqeer, A. A. (2017). Evaluation of seed germination and growth characteristics of *Moringa oleifera* and *M. peregrina* under laboratory, greenhouse and field conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19(4), 873–879. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0381>
- Hunter, E. A., Glasbey, C. A., & Naylov, R. E. L. (1984). The analysis of data from germination tests. *Journal of Agriculture Science, Cambridge*, 102, 207–213. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/analysis-of-data-from-germination-tests/A30E5E05B9DE0B1F3D9275F1CF5BCE36>
- Kaur, S., Gupta, A. K., & Kaur, N. (2002). Effect of osmo- and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37, 17–22. <https://doi.org/10.1023/A:1020310008830>

Existen varias hipótesis para explicar la variación de la masa entre semillas de una misma vaina. La hipótesis trófica afirma que existe competencia entre las semillas para recibir nutrientes durante la fructificación y que se favorece a las que se encuentran en la zona media de la vaina. Alternativamente, la hipótesis estructural propone que las semillas de la zona media tienen más espacio para crecer que las de los polos distal y proximal (Mapongmetsem et al., 2004). En el presente estudio no se propuso resolver cuál de las dos hipótesis es más probable; de hecho, ambas podrían operar en paralelo. No obstante, se puede concluir que las semillas de la parte media de la vaina son más pesadas que las de los extremos (Mapongmetsem et al., 2004); además, las semillas más grandes germinan rápidamente y producen plántulas más fuertes y con mayor biomasa. En el caso de la longitud promedio del tallo de las semillas centrales, la respuesta observada se aproxima a la señalada en esta especie por Bayé-Niwah y Mapongmetsem (2014). La eficiencia de la germinación y el crecimiento de las plántulas es importante para que la especie crezca lo suficientemente rápido como para superar el crecimiento de las plantas competidoras en el mismo nicho ecológico en los ecosistemas de pastizales (Padilla et al., 2012).

Conclusiones

Las semillas de *Moringa peregrina* procedentes de la parte central de la vaina son más pesadas y presentan mejores resultados en la germinación (porcentaje y total) y características vegetativas de las plántulas (número de hojas y la mayoría de los parámetros de biomasa). El rendimiento general de la germinación y el crecimiento de las plántulas puede mejorarse mediante la inmersión de semillas de la posición media de la vaina en agua corriente durante 48 h. Por lo tanto, para aumentar la producción de plántulas de buena calidad en viveros o en terrenos forestales, se recomienda seleccionar las semillas por tamaño y pretratarlas en agua antes de plantarlas en macetas o directamente en el paisaje.

Agradecimientos

Los autores agradecen al profesor Hugh W. Pritchard y al Dr. Fikret Isik sus útiles comentarios sobre el borrador de este artículo.

Fin de la versión en español

- Keneshloo, H., Damizadeh, G. R., & Achak, M. Y. (2014). Investigation on some autecology characteristics of *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori in south of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(3), 481–494. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=442074>
- Letsara, R., Razafindrahaja, V., & Razanatsoa, J. (2019). *Moringa hildebrandtii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T65523618A66155121. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T65523618A66155121.e>
- Lobato, A. K. S., Santos Filho, B. G., Costa, R. C. L., Gonçalves-Vidigal, M. C., Moraes, E. C., Oliveira Neto, C. F., Rodrigues, V. L. F., Cruz, F. J. R., Ferreira, A. S., Pita, J. D., & Barreto, A. G. T. (2009). Morphological, physiological and biochemical responses during germination of the cowpea (*Vigna unguiculata* Cv. Pitiuba) seeds under salt stress. *Agricultural Sciences*, 5(5), 590–596. [https://www.idosi.org/wjas/wjas5\(5\)/12.pdf](https://www.idosi.org/wjas/wjas5(5)/12.pdf)
- Luke, W. R. Q., Musili, P., Bahdon, J., Barasa, J., Mathenge, J., & Kalema, J. (2018) *Moringa borziana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T128048774A128048806. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T128048774A128048806.en>
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination in selection and evaluation for seedling vigor. *Crop Science*, 2, 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Mapongmetsem, P. M., Nkongmeneck, B. A., & Denedoumba, D. (2004). Germination et premiers stades de croissance de *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. Une Mimosacées alimentaire locale. *Procédés Biologiques et Alimentaires-PBA*, 2(1), 37–52.
- Materechera, S. A. (2017). Influence of pre-sowing seed treatments on the germination of moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *Acta Horticulturae*, 1158, 149–158. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1158.18>
- Medina, M. G., García, G., Clavero, T. Y., & Iglesia, J. M. (2007). Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 25(2), 83–93. <http://www.bioline.org.br/pdf?zt07011>
- Mirdha, M. A. U. (2015). Prospects of Moringa cultivation in Saudi Arabia. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 5(3), 39–46. <https://www.semanticscholar.org/paper/Prospects-of-Moringa-Cultivation-in-Saudi-Arabia-Mridha/5efc951e86bd92fb7fed23ab85dae4dc69bf57f6>
- Moslehi, M., Ahmadi, A., & Sadeghi, M. (2020). Seed leaching instrument, Iran Patent, No. 102063, A01C 1/00, A01G 31/00. Intellectual Property Center.
- Moupela, C., Doucet, J. L., Dainou, K., Meunier, Q., & Vermeulen, C. (2013). Essais de propagation par semis et marcottage aérien de *Coula edulis* Baill. et perspectives pour sa domestication. *Bois et Forêts des Tropiques*, 318(4), 3–13. <https://doi.org/10.19182/bft2013.318.a20516>
- Musili, P., Nemomissa, S., Luke, W. R. Q., Barasa, J., Kalema, J., Mathenge, J., & Bahdon, J. (2018). *Moringa rivae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T128046685A128046688. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20182.RLTS.T128046685A128046688.en>
- Njehoya, C. A., Bourou, S., Awono, P. M. D., & Bouba H. (2014). Evaluation du potentiel de-germination de *Moringa oleifera* dans la zone soudano-guineenne du Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, 74, 6141–6148. <https://doi.org/10.4314/jab.v74i1.5>
- Nouman, W., Siddiqui, M. T., Basra, S. M. A., Afzal, I., & Rehman, H. U. (2012). Enhancement of emergence potential and stand establishment of *Moringa oleifera* Lam. by seed priming. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(2), 227–235. <https://doi.org/10.3906/tar-1103-39>
- Oldfield, S. (2020). *Moringa peregrina*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T19369362A110850389. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T19369362A110850389.en>
- Padilla, C., Fraga, N., & Suarez, M. (2012). Effect of the soaking time of moringa (*Moringa oleifera*) seeds on the germination and growth indicators of the plant. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 46(4), 419–421. https://www.researchgate.net/publication/291994613_Effect_of_the_soaking_time_of_moringa_Moringa_oleifera_seeds_on_the_germination_and_growth_indicators_of_the_plant
- Pardos, J. A. (2004). Respuesta de las plantas al anegamiento del suelo. *Forest Systems*, 13, 101. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1023219>
- Park (YWHRGP) Nkwen-Bamenda, North-West Cameroon. *American Journal of Plant Sciences*, 7(15), 2173–2185. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.715192>
- Yerima, B. P. K., Ayuk, G. M., Enang, R. K., Guehjung, N., & Tiamgne, Y. A. (2016). Germination and early seedling growth of *Moringa oleifera* lam with different seeds soaking time and substrates at the Yongka Western Highlands Research Garden