

EFFECTO DEL TIEMPO DE IMBIBICIÓN EN AGUA EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Hura crepitans* L.

EFFECT OF IMBIBITION TIME IN WATER ON THE GERMINATION OF SEEDS OF *Hura crepitans* L.

Vale-Montilla, Cesar*

Universidad de Los Andes - Venezuela

Resumen

La especie *Hura crepitans* L. (jabillo) es una planta que tiene alto potencial para diferentes usos (medicinal, carpintería, alimentación faunística, arborización, entre otros). El objetivo de este trabajo fue evaluar tiempos de imbibición de semillas de jabillo en agua, sobre la germinación. El experimento fue realizado en envases de polietileno, evaluado mediante un diseño de bloques al azar, cinco tratamientos, cinco repeticiones de diez envases con 2 semillas cada una. Los tratamientos consistieron de inmersión de semillas en agua durante 6, 12, 18 y 24 horas, además del testigo, sin inmersión en agua. La germinación diaria se evaluó durante 30 días y se analizó mediante índices de germinación (Germinación acumulada, VG, TMG e IVG) y por modelos de crecimiento no lineal para describir el comportamiento germinativo de las semillas. Se analizó en SAS 9.1® mediante ANAVAR de dos vías (DDS – tratamientos), con diferencias altamente significativas en todas las variables y por el procedimiento NLIN, utilizando el modelo Logístico, el cual presentó una adecuada interpretación biológica a través de sus coeficientes, al indicar que la germinación máxima, tuvo la tendencia a decrecer con el tiempo de remojo, revelando que al restringir la inmersión hasta 12 horas, se incrementa la proporción de semillas en germinación, con menor tiempo para alcanzar el 50 % de germinación acumulada, El inicio de la germinación estuvo entre 11 - 14 días. El tratamiento de 12 horas, logró el mayor porcentaje de germinación promedio (79 %), mayor valor de germinación (17,5), menor TMG (17,8 días) y mayor IVG (4,6).

Palabras clave: inmersión, escarificación, germinación, modelo logístico.

Abstract

The species *Hura crepitans* L. (jabillo) is a plant that has high potential for different uses (medicinal, carpentry, fauna feeding, arborization, etc.). The objective of this work was to evaluate times of imbibition of jabillo seeds in water, on germination. The experiment was carried out in polyethylene containers, evaluated through a random block design, five treatments, five repetitions of ten containers with 2 seeds each. The treatments consisted of immersion of seeds in water for 6, 12, 18 and 24 hours, in addition to the control, without immersion in water. Daily germination was evaluated for 30 days and analyzed by germination indices (cumulative germination, VG, TMG and IVG) and by non-linear growth models to describe the germination behavior of the seeds. It was analyzed in SAS 9.1® by two-way ANAVAR (DDS - treatments), with highly significant differences in all variables and by the NLIN procedure using the Logistic model, which presented an adequate biological interpretation through its coefficients, by indicating that the maximum germination, had a tendency to decrease with the soaking time, revealing that by restricting the immersion to 12 hours, the proportion of seeds in germination increases, with less time to reach 50 % of accumulated germination. germination was between 11 - 14 days. The 12-hour treatment achieved the highest average germination percentage (79 %), the highest germination value (17.5), the lowest TMG (17.8 days) and the highest IVG (4.6).

Keywords: immersion, scarification, germination, logistic model.

Recibido: 21-02-2022 / **Aprobado:** 06/05/2022

*Ingeniero Forestal de la Universidad de Los Andes, Magister en Entomología de la Universidad Central de Venezuela, Profesor de la Universidad de Los Andes. E-mail: cvale@ula.ve - cesarva2003@gmail.com

Introducción

El Jabillo, *Hura crepitans* L., con sinónimo *Sterculia crepitans* L., pertenece a la Familia Euphorbiaceae. Es un árbol monoico que alcanza alturas entre 15 y 25 m y diámetros entre 50 y 60 cm. Las flores femeninas y masculinas se encuentran en el mismo árbol, pero separadas entre sí; son carnosas y no tienen pétalos. El fruto es una cápsula grande en forma discoidal de 7,2 a 9,0 cm de diámetro y de 3,6 a 4,2 cm de altura, verde y luego castaño oscuro al madurar, dividida en 15 a 16 lóculos semicirculares por donde se abre, y explota violentamente, liberando una semilla por cada celda. El peso de 1000 semillas es de 1088 gramos y en un kilo se pueden encontrar de 700 a 910 semillas (Gómez y Toro, 2008; Aristeguieta, 2003; Hoyos, 1994; Oliva, 1969).

En bosques secos tropicales del departamento de Antioquia, Colombia, los árboles de jabillo presentan generalmente dos períodos de floración al año, los cuales coinciden con la temporada lluviosa. El primer período durante los meses de abril a junio y el segundo de septiembre a noviembre, este último con algunas variaciones de año en año. La fructificación se registra durante casi todo el año, sin embargo, se pueden diferenciar dos etapas principales: la primera se registra entre los meses de junio a septiembre correspondiendo a la primera floración del año, y la segunda etapa entre los meses de noviembre a marzo como resultado de la segunda floración. De acuerdo a lo observado en campo, los frutos empiezan a madurar entre tres y cuatro meses después de haberse formado. En Venezuela, la floración principal se presenta entre diciembre y marzo y la fructificación entre marzo y abril (Gómez y Toro, 2008; MARNR, 1994).

La forma de propagación de muchas especies vegetales es por semilla; sin embargo, algunas consideradas viables para germinar, son incapaces de

germinar por latencia de sus semillas, lo cual resulta poco ventajoso cuando se pretende cultivarlas. Por esta razón, se recurre a tratamientos de escarificación haciéndolas permeables para permitir la imbibición y el intercambio gaseoso (Sobrevilla et al., 2013).

Un método sencillo y práctico de romper la latencia es por inmersión de semillas en agua. Por ejemplo, Martins (2013) en una investigación con *Genipa americana* L. (Rubiaceae), evalúa la germinación en diferentes tiempos de inmersión y posterior trasplante en diferentes sustratos para evaluar caracteres morfofisiológicos. De igual manera, Barraza (2017) con semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam., Moringaceae), motivado al bajo porcentaje de germinación de sus semillas maduras, investiga el efecto de su imbibición en agua sobre la germinación. Otra especie a considerar es, *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae: Papilionoideae), especie forestal tropical amenazada que, para evaluar la respuesta germinativa de sus semillas almacenadas en refrigeración durante 17 meses, fueron sujetas a tratamientos pregerminativos, entre ellos remojo en agua durante 24 horas (Vargas, 2017; Vargas, Domínguez y Martínez, 2017).

Con las semillas de balsamina (*Momordica charantia* L.), por presentar dificultad en la germinación, se evaluó la respuesta de las semillas respecto a su energía de germinación, tasa absoluta de germinación e índice de germinación, en relación con el tratamiento de imbibición en agua (Barraza, 2015; Barraza, Benavides y Torres, 2016). La imbibición de semillas en agua, también ha dado resultados satisfactorios en otras especies, tales como, *Solanum melongena* L. (Barraza, 2013)

Según Gómez y Toro (2008), las semillas de jabillo con un contenido de humedad de 11,5 %, almacenadas en cuarto frío, dentro de bolsa de polietileno, con temperaturas que oscilaron entre 7–10

°C, presentaron porcentajes de germinación entre 73 y 87 % a los 7,5 y 11,5 meses de almacenamiento, respectivamente. Según los autores, las semillas no requieren ningún tratamiento pregerminativo, además de que la hidratación durante 4 y 8 horas es contraproducente en semillas almacenadas por más de 11 meses, ya que la germinación puede disminuirse hasta en un 47 % con respecto a semillas no tratadas.

Por lo señalado anteriormente, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes tiempos de imbibición en agua sobre la germinación de semillas de Jabillo (*H. crepitans* L., Euphorbiaceae) de reciente colección en condiciones a campo abierto, analizando la germinación acumulada por dos métodos analíticos: análisis tradicional en el que se calculan índices de germinación (valor de germinación, tiempo medio de germinación e índice de germinación) y un análisis con modelos de crecimiento no lineal o funciones logísticas que describen el comportamiento germinativo de las semillas. Con ello se espera determinar la eficiencia de los tratamientos en semillas de reciente colección al momento de implementarlos en la producción de plantas y contribuir a la mejora de sus procesos.

Materiales y métodos

Sistema de recolección y procesamiento de frutos

Se utilizaron semillas extraídas de frutos colectados de árboles plantados en los jardines de la Villa Universitaria del Núcleo Rafael Rangel, Universidad de Los Andes, municipio Pampanito, parroquia la Concepción, estado Trujillo, Venezuela, a 392,49 msnm. La recolección de los frutos de Jabillo se llevó a cabo durante el mes de marzo de 2020, con la ayuda de una podadora de extensión. Para extraer las semillas y culminar el secado, las cápsulas se colocaron dentro de una caja con fondo de malla

metálica para permitir la aireación y puestos al sol hasta el secado y dehiscencia. Luego de la dehiscencia, las semillas se mantuvieron a temperatura ambiente en el interior de bolsas de papel, hasta la siembra realizada en el mes de abril de 2020.

Diseño experimental

Para la instalación del ensayo, se adoptó metodología propuesta por la ISTA (International rules for seed testing, 2012). Antes de la siembra, las semillas se sometieron a diferentes tratamientos de tiempos de inmersión en agua, los cuales fueron:

T1: Sin inmersión de semillas en agua (testigo, 0 tiempo);

T2: Inmersión de semillas en agua durante 6 horas;

T3: Inmersión de semillas en agua durante 12 horas;

T4: Inmersión de semillas en agua durante 18 horas;

T5: Inmersión de semillas en agua durante 24 horas;

El experimento fue realizado mediante un diseño de bloques al azar, cinco tratamientos y cinco repeticiones de diez envases de polietileno cada una.

Siembra de semillas

La siembra de semillas se hizo por siembra directa en envases de polietileno (6 cm de diámetro x 14 cm de altura), colocando dos (02) semillas por envase, sembradas a una profundidad de 0,5 cm. Los envases contenían suelo de textura franco arenoso. El procedimiento a seguir fue el siguiente:

En un envase plástico limpio, se colocaron las semillas y luego la cantidad de agua suficiente para

cubrir las 100 semillas de cada tratamiento. Posterior al remojo por tiempo de inmersión de cada tratamiento, se extendieron las semillas en un lugar sombreado y se dejaron secar durante 30 minutos. Luego de la siembra, el primer riego se hizo con una solución del fungicida Orthocide 50 - Penco (50 gramos de producto comercial en 10 litros de agua). Los envases conteniendo las semillas para germinación se mantuvieron a campo abierto (intemperie) durante la evaluación del experimento, los envases recibieron 6 horas de luz diaria (9 am a 3 pm). Mientras las semillas estuvieron en germinación, los riegos con agua se continuaron 2 veces por día.

Variables evaluadas durante la germinación

Para el procesamiento de los datos se utilizó la metodología propuesta por la FAO (Guía para la Manipulación de Semillas Forestales, 1991). Para efectos prácticos, se consideró que una semilla había germinado al emerger el talluelo de la plántula, llevando un registro diario de semillas germinadas por tratamiento, consistente en el conteo de las plántulas emergidas durante 30 días después de la siembra (DDS). Con esta información, se realizaron las determinaciones del número de semillas germinadas acumuladas por tratamiento y repetición, además de los siguientes indicadores indirectos de vigor:

1) Porcentaje de germinación (G %): Referido como porcentaje de germinación diario y acumulado para cada tratamiento, calculado mediante la fórmula:

$$G (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas diariamente}}{\text{N}^\circ \text{ de semillas puestas a germinar}} \times 100$$

2) T_0 : Inicio de la germinación: número de días requeridos para que el proceso de germinación inicie (Rossini et al. 2006).

3) T_{50} : número de días requeridos para alcanzar el 50% de las semillas que germinaron.

4) $T_{\text{máx}}$: número de días requeridos para alcanzar el valor máximo de las semillas que germinaron.

5) Valor de germinación (VG): El valor de la germinación es un valor numérico dado a la germinación que ocurre dentro de un periodo de energía. Se calculó, para cada tratamiento, a través del método de Djavanshir y Pourbeik (1976). La fórmula propuesta por estos autores es la siguiente:

$$VG = ((\sum VGD / N) \times (PG / 100)) \times 10$$

Donde:

VG: Valor de la germinación diario o final

PG: Porcentaje de germinación diario o al final del ensayo

VGD: Velocidad de germinación diaria, que se obtiene dividiendo el porcentaje de germinación acumulado por el número de días transcurridos desde la siembra

$\sum VGD$: Total que se obtienen sumando todas las cifras de VGD obtenidas en los recuentos diarios

N: Número de recuentos diarios, empezando a contar a partir de la fecha de la primera germinación.

El producto de la aplicación del método es adimensional y es un valor absoluto, sea de un número entero o decimal, es el valor numérico sin tener en cuenta si su signo es positivo o negativo. En este caso, cuanto más se acerque al cero esta expresión numérica de la germinación, se considera bajo y cuanto más se aleje de éste, tiende a ser alto y refleja la efectividad del tratamiento pregerminativo (Mendoza y Suarez, 2013).

6) Tiempo medio de germinación (TMG): Mediante este parámetro se busca medir la velocidad y dispersión de la germinación a través de la expresión:

$$TMG = (T1G1 + T2G2 + \dots + TnGn) / N$$

Donde

T_n = número de días transcurridos desde el inicio de la germinación hasta el día n , G_n = número de semillas germinadas en el día n , y N número total de semillas germinadas.

7) El Índice de Velocidad de Germinación (IVG) propuesto por Maguire (1962) es uno de los más utilizados (Villagra, 1997; Nakagawa,1999) y se expresa como número de semillas germinadas por día. Su fórmula de cálculo es:

$$IVG = G_1/T_1 + G_2/T_2 + \dots G_n/T_n = \sum G_i/T_i$$

T_1, T_2, \dots, T_n : representan número de días desde la iniciación del ensayo de germinación,

G_1, G_2, \dots, G_n : representan número semillas germinadas en el día i -ésimo.

Análisis exploratorio de los datos

El análisis exploratorio de los datos se hizo con SAS®, versión 9.1 (SAS 2003), utilizando un valor de Alpha = 0,05 %. Para las pruebas de normalidad, se utilizó el procedimiento UNIVARIATE con la opción MEANS, que incluye la estadística descriptiva y pruebas de normalidad y valores de “p”, para Shapiro – Wilk (para tamaños de muestra < 2000). Entre otros análisis, se realizaron las pruebas de homogeneidad de varianza de Levene, Brown y Forsythe.

Transformación de variables

Los valores porcentuales de germinación [G (%)] se transformaron con la función $\arcsen [\sqrt{G} (\%)/100]$, transformación utilizada cuando se trata de estudiar proporciones de semillas que germinan (Steel y Torrie, 1985).

Para valor de germinación (VG), tiempo medio de

germinación (TMG) e índice de velocidad de germinación (IVG), al correr el procedimiento UNIVARIATE (PROC GLM) y determinar que las variables no siguen una distribución normal, se aplicó el procedimiento TRANSREG que permite el cálculo de valores de lambda (λ), con el cual se establece una transformación de Box y Cox adecuada a los datos. Al utilizar Box-Cox con valores de λ , variando de - 3 a 3 (cada unidad de 0,125), resultó un valor de $\lambda = 0,50$, lo cual determina que las transformaciones a raíz cuadrada son más adecuadas (Diem, 2012). Así, el procedimiento TRANSREG ajusta los datos a la que alcance mejor normalidad.

De esta manera, los datos diarios de valor de germinación (VG), tiempo medio de germinación (TMG) e índice de velocidad de germinación (IVG), se realizó una transformación del tipo $X' = (X)^{\frac{1}{2}}$ (raíz cuadrada del número diario, en cada variable). Para la tasa de crecimiento absoluta (AGR) se utilizó una transformación logarítmica ($\text{Log}(x + 1)$).

Análisis de datos

Con el objeto de obtener análisis de varianza con germinación diaria y curvas sigmoides correctamente ajustadas, fueron eliminados o descartados los datos de germinación igual a cero, valores correspondientes desde el inicio de siembra hasta la germinación de la primera semilla. La germinación acumulada se analizó por dos métodos analíticos (González y Orozco, 1996): un análisis tradicional en el que se calculan índices de germinación (valor de germinación, tiempo medio de germinación e índice de germinación) y, un análisis con modelo de crecimiento no lineal que describe el comportamiento germinativo de las semillas, utilizando el modelo logístico para realizar el ajuste.

A su vez, esta función se corresponde, por derivación con ecuaciones que representan a la tasa de crecimiento absoluta (AGR), las cuales se expresan en el Cuadro 1 (Barraza, Benavides y Torres, 2016;

Barraza, 2017; Di Benedetto y Tognetti, 2016; Pommerening y Muszta 2015).

Cuadro 1. Funciones para calcular las tasas de crecimiento absoluta de germinación de semilla del modelo Logístico.

| Función de crecimiento (G) | Tasa de crecimiento absoluta (dG/dt) |
|--|--|
| $G=A / (1+B*EXP(-C*DDS))$ | $G'=A*B*C*e^{-c*DDS} / (1+B*e^{-c*DDS})^2$ |
| G= germinación en el tiempo t, A = número máximo de semillas germinadas, B= parámetro de estabilización, correspondiente al tiempo en el cual G alcanza la mitad de su valor máximo, C = tasa a la cual la función G cambia (punto de inflexión, velocidad de germinación); DDS: días después de la siembra; e: constante matemática base del logaritmo natural = 2,718281828. | |

La germinación acumulada se ajustó con el procedimiento NLIN (SAS 9.1®). Los parámetros del modelo se estimaron utilizando el algoritmo de Levenberg - Marquardt. Para la aproximación de los datos experimentales a los modelos logísticos obtenidos, se utilizó el coeficiente de determinación ajustado R^2_{ajust} : que significa la proporción de la variabilidad presente en los datos experimentales, que es explicada por el modelo de análisis de la varianza.

También se utilizó el programa SAS® 9.1, para análisis de varianza de dos vías de las cuatro variables dependientes (G, VG, TMG e IVG) y para las tasas de crecimiento absoluta (AGR), tomando en cuenta los días después de la siembra y tratamientos, como variables independientes de un diseño de bloques al azar y pruebas de comparaciones múltiples de Duncan con un nivel de significación α del 5 % para detectar diferencias entre los promedios del número de semillas germinadas acumuladas.

Resultados y discusión

Análisis del proceso germinativo mediante índices de germinación

Germinación de la semilla

Para el presente ensayo, los valores porcentuales acumulados de germinación (hasta los 30 DDS) se presentan en la Figura 1, la cual revela una primera aproximación a la interpretación del proceso germinativo, al observar que el tratamiento T3 (Inmersión en agua durante 12 horas) es superior en la ruptura de la latencia de la semilla, reflejado por mayor porcentaje acumulado de semillas germinadas diariamente. El segundo lugar en el aumento del porcentaje acumulado de semillas germinadas, lo ocupa el tratamiento T4 (Inmersión en agua durante 18 horas).

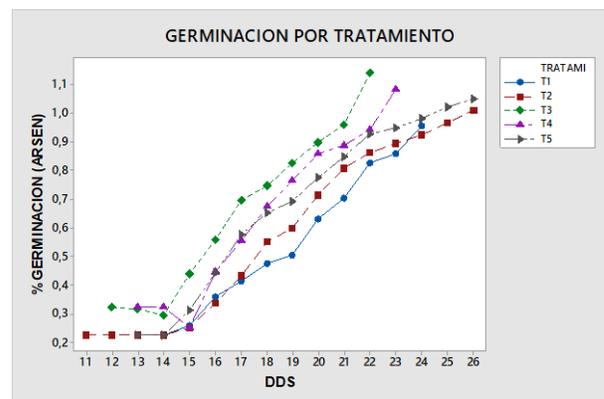


Figura 1. Variación en el porcentaje diario acumulado de semillas germinadas (valores observados) en los cinco tratamientos, durante los días después de la siembra.

Aunque el análisis gráfico es útil para ilustrar el comportamiento de la germinación en el tiempo, se requiere respaldar este análisis con las pruebas de comparación de medias como resultado del análisis de la varianza.

Los resultados obtenidos con respecto al comienzo de la germinación (T_0), al número de días requeridos

para alcanzar el 50 % de germinación (T_{50}) y días para alcanzar el máximo valor de semillas que germinaron ($T_{m\acute{a}x}$), así como los valores acumulados totales (desde el inicio hasta el final de la germinación) del porcentaje de germinación (G %), velocidad de germinación, tiempo medio de germinación e índice de velocidad de germinación por tratamiento, se encuentran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resumen acumulado por tratamiento del número de días para lograr T_0 , T_{50} y $T_{m\acute{a}x}$, porcentaje de germinación final, velocidad de germinación, tiempo medio de germinación e índice de velocidad de germinación en *H. crepitans*.

| Tratamientos | Tiempos | | | G (%) | VG | TMG | IVG |
|---|---------|----------|-------------------|-------|------|------|------|
| | T_0 | T_{50} | $T_{m\acute{a}x}$ | | | | |
| T ₁ : Sin inmersión en agua (testigo) | 14 | 20 | 22 | 68 | 11.0 | 20,3 | 3.5 |
| T ₂ : Inmersión en agua durante 6 horas | 11 | 20 | 20 | 74 | 13.0 | 20,0 | 3.8 |
| T ₃ : Inmersión en agua durante 12 horas | 12 | 17 | 17 | 79 | 17.5 | 17.8 | 4.6 |
| T ₄ : Inmersión en agua durante 18 horas | 13 | 18 | 16 | 73 | 15.8 | 18.5 | 4,02 |
| T ₅ : Inmersión en agua durante 24 horas | 13 | 18 | 16 | 75 | 17,0 | 18,8 | 3,97 |

T_0 : días para el inicio de la germinación; T_{50} : días para alcanzar el 50 % de semillas que germinaron; $T_{m\acute{a}x}$: días para alcanzar el máximo valor de semillas que germinaron; G%: porcentaje de germinación final; EG: energía germinativa; PE: periodo de energía; VG: Valor de Germinación; TMG: Tiempo medio de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación

Se observa que en el tratamiento de 6 horas se presenta el inicio de la germinación a los 11 días, iniciándose en los demás tratamientos entre 12 y 14 días. También se observa que, en el tratamiento de 12 horas de inmersión, para el día 17 alcanza el 50 % de las semillas que lograron germinar, tiempo en el cual alcanza el valor máximo de las semillas que germinaron, indicando mayor vigor de germinación que los demás tratamientos, que lo completan entre 18 y 20 días. Según Gómez y Toro (2008), la germinación de jabillo se inicia de 18 a 20 días luego de la siembra y

se completa de 10 a 12 días después y la potencia germinativa de semillas frescas varía entre 77 y 90 %.

En el Cuadro 3, se presentan valores acumulados por tratamiento y replica de velocidad de germinación (VG), tiempo medio de germinación (TMG) e índice de velocidad de germinación (IVG).

Cuadro 3. Valores acumulados por tratamiento y replica de velocidad de germinación (VG), tiempo medio de germinación (TMG) e índice de velocidad de germinación (IVG) en *H. crepitans*.

| Tratamiento | Replica | VG | TMG | IVG |
|---|---------|--------|--------|--------|
| T1 | 1 | 2,4806 | 3,9412 | 0,7502 |
| | 2 | 2,3072 | 4,8235 | 0,7947 |
| | 3 | 1,9203 | 4,3382 | 0,6734 |
| | 4 | 1,2512 | 2,7941 | 0,436 |
| | 5 | 3,0423 | 4,3615 | 0,8206 |
| TOTAL | | 11,002 | 20,258 | 3,4749 |
| T2 | 1 | 1,9662 | 3,6486 | 0,6491 |
| | 2 | 3,0074 | 4,527 | 0,8845 |
| | 3 | 2,3095 | 3,6351 | 0,6481 |
| | 4 | 2,9696 | 4,2973 | 0,9406 |
| | 5 | 2,7498 | 3,8919 | 0,6991 |
| TOTAL | | 13,003 | 19,999 | 3,8214 |
| T3 | 1 | 3,7098 | 2,8987 | 0,887 |
| | 2 | 3,0802 | 3,481 | 0,8311 |
| | 3 | 3,5384 | 3,962 | 0,9395 |
| | 4 | 3,2445 | 4,5316 | 1,0321 |
| | 5 | 3,9579 | 2,8861 | 0,8807 |
| TOTAL | | 17,531 | 17,759 | 4,5704 |
| T4 | 1 | 3,4113 | 4,2192 | 0,8437 |
| | 2 | 2,436 | 3,1233 | 0,6449 |
| | 3 | 3,1675 | 4,6301 | 0,9851 |
| | 4 | 3,3427 | 3,4384 | 0,7901 |
| | 5 | 3,4449 | 3,1096 | 0,7555 |
| TOTAL | | 15,802 | 18,521 | 4,0193 |
| T5 | 1 | 3,6885 | 3,8 | 0,8049 |
| | 2 | 3,1193 | 3,6533 | 0,7289 |
| | 3 | 2,5275 | 3,68 | 0,7321 |
| | 4 | 3,3203 | 3,7333 | 0,8268 |
| | 5 | 4,3058 | 3,9733 | 0,8825 |
| TOTAL | | 16,961 | 18,84 | 3,9752 |
| T ₁ : Sin inmersión en agua (testigo); T ₂ : Inmersión en agua durante 6 horas; T ₃ : Inmersión en agua durante 12 horas; T ₄ : Inmersión en agua durante 18 horas; T ₅ : Inmersión en agua durante 24 horas; | | | | |

Porcentaje de número de semillas germinadas acumuladas (G)

Al analizar el proceso germinativo diariamente, se observa que la germinación es directamente proporcional con el tiempo de inmersión, con

diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$) entre los tiempos de inmersión, lo cual confirma que el período de inmersión provocó un aumento en la capacidad de germinación de las semillas, con germinación decreciente a partir del mayor tiempo de inmersión (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza del porcentaje de germinación acumulada (G), velocidad de germinación diaria (VG), tiempo medio de germinación diario (TMG) e índice de velocidad de germinación diario (IVG) de semillas de *H. crepitans* L., en diferentes tratamientos de imbibición en agua.

| Fuente de variación | GL | Cuadrados medios y significancia estadística | | | |
|---------------------|-----|--|-----------|------------|-------------|
| | | G (%) | VG | TMG | IVG |
| Tratamientos | 4 | 0,41014 ** | 1,5669 ** | 0,4261 ** | 0,165481 ** |
| DDS | 15 | 0,98982 ** | 1,3360 ** | 3, 7673 ** | 0,58762 ** |
| Error | 244 | 0,01295 | 0,0433 | 0,03539 | 0,009372 |
| CV (%) | | 16,85 | 15,48 | 14,48 | 14,8 |

G (%): Porcentaje de numero de semillas germinadas acumuladas; VG: Valor de germinación; TMG: Tiempo medio de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación; GL: Grados de libertad; DDS: Días después de siembra; CV(%): Coeficiente de variación; **diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,0001$).

El acumulado de la germinación diaria al final del período de evaluación indica que el tratamiento con mayor porcentaje de germinación promedio diaria, resulto el de inmersión por 24 horas (47,5 %), seguido de los tratamientos de inmersión por 18 y 12 horas (42,2 y 41,7 %, respectivamente).

La germinación de las semillas sin inmersión en agua (T1), fue de 33,7 %, resultando el tratamiento con menor germinación (Cuadro 5). Las diferencias de germinación (%) entre el Cuadro 2 y el Cuadro 5 se deben a que en el primero es sobre el total de semillas sembradas y germinadas y en el segundo es por promedios de germinación diaria.

Cuadro 5. Comparación de medias de porcentaje de germinación acumulada (G), velocidad de germinación diaria (VG), tiempo medio de germinación diario (TMG) e índice de velocidad de germinación diario (IVG) de semillas de *H. crepitans* L., en diferentes tratamientos de imbibición en agua.

| Tratamientos | Índices de germinación | | | |
|----------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | G (%) | VG | TMG | IVG |
| T ₁ | (0,60) 33,7 ^C | 1,2964 ^C | 1,5611 ^C | 0,3353 ^B |
| T ₂ | (0,64) 37,9 ^C | 1,4324 ^C | 1,5585 ^C | 0,3792 ^B |
| T ₃ | (0,68) 41,7 ^B | 2,0896 ^B | 1,4862 ^C | 0,4763 ^A |
| T ₄ | (0,70) 42,2 ^B | 2,0470 ^B | 1,8023 ^B | 0,4625 ^A |
| T ₅ | (0,76) 47,5 ^A | 2,3431 ^A | 2,0544 ^A | 0,5095 ^A |

G: Porcentaje de numero de semillas germinadas acumuladas; VG: Valor de germinación; TMG: Tiempo medio de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación; T₁: Sin inmersión en agua (testigo); T₂: Inmersión en agua durante 6 horas; T₃: Inmersión en agua durante 12 horas; T₄: Inmersión en agua durante 18 horas; T₅: Inmersión en agua durante 24 horas; Medias con diferentes letras en las columnas, difieren estadísticamente (Duncan, p ≤ 0,05).

En relación a los días después de la siembra, también se presentan diferencias altamente significativas entre ellos (Cuadro 4). En la germinación se presentan tres etapas: la primera de ellas el inicio de la germinación, entre el día 11 y 15, sin diferencias significativas entre los días; la segunda etapa ocurre entre los días 16 y 20, etapa en la cual la germinación

es ascendente y lineal, presentando diferencias significativas entre los días y, la tercera etapa desde el día 21 hasta el final de la germinación, en la cual se está llegando a la asíntota superior o plateau. Durante la tercera etapa del proceso germinativo, no ocurren diferencias significativas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias de porcentaje de germinación acumulada (G), velocidad de germinación diaria (VG), tiempo medio de germinación diario (TMG) e índice de velocidad de germinación diario (IVG) de semillas de *H. crepitans* L., durante los días después de siembra (DDS).

| DDS | Índices de germinación | | | |
|-----|------------------------|-----|-----|-----|
| | G (%) | VG | TMG | IVG |
| 11 | I | f | H | g |
| 12 | I | ef | H | g |
| 13 | I | f | H | g |
| 14 | I | f | H | g |
| 15 | Hi | f | H | fg |
| 16 | Gh | ef | G | ef |
| 17 | Fg | ed | F | de |
| 18 | Ef | cd | Ef | cd |
| 19 | Cd | bcd | De | bc |
| 20 | Cd | abc | Cd | bc |
| 21 | Bc | abc | Bc | ab |
| 22 | Ab | ab | Ab | a |
| 23 | Ab | ab | Ab | a |
| 24 | Ab | ab | A | a |
| 25 | A | a | A | a |
| 26 | A | a | A | a |

G: Porcentaje de numero de semillas germinadas acumuladas; VG: Valor de germinación; TMG: Tiempo medio de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación; DDS: Días después de siembra; Medias con diferentes letras en las columnas, difieren estadísticamente (Duncan, p ≤ 0,05).

La capacidad germinativa puede acelerarse por la aplicación de tratamientos pregerminativos, entre los cuales se incluye el remojo o inmersión en agua, que resulta un método sencillo y práctico de romper la latencia. Para Gómez y Toro (2008), en un boletín técnico sobre manejo y propagación de especies tropicales, las semillas de jabillo con un contenido de humedad de 11,5 %, almacenadas en cuarto frío (7 – 10 °C), presentan porcentajes de germinación de 73 y 87 % a los 7,5 y 11,5 meses de almacenamiento, respectivamente. Según los autores, las semillas no requieren ningún tratamiento pregerminativo, incluso la hidratación durante 4 y 8 horas es adverso en semillas almacenadas por más de 11 meses, ya que la germinación puede disminuirse hasta en un 47 % con respecto a semillas no tratadas. Por el resultado de esta publicación, parece que lo que favorece la germinación de esta especie son tratamientos de bajas temperaturas para semillas con tiempos de almacenamiento largos.

En el caso anterior, resulta contradictoria la hidratación de las semillas y la germinación con los resultados de la presente investigación, en la que se favorece la germinación con el tiempo de imbibición, en una semilla nueva, con un tiempo de recolección de 30 – 40 días. La semilla se recolectó en abril de 2020 y se sembró en mayo del mismo año.

La práctica de imbibición en agua, también se ha utilizado en semillas de otras especies, con resultados opuestos (inhiben o mejoran la germinación). Por ejemplo, Barraza (2017) con semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam., Moringaceae), debido al bajo porcentaje de germinación de semillas maduras, realizó una investigación para establecer el efecto de la imbibición de semillas en agua sobre el porcentaje de germinación. Aplicó tres tratamientos: semillas embebidas en agua durante 24, 48 y 72 horas, y sin imbibición en agua. Estableció que, a mayor tiempo de imbibición, se disminuyó el porcentaje de germinación, desde 66 hasta 29 %. Estos resultados también son contrarios a la germinación de *H. crepitans* en la investigación actual.

Otra especie a considerar es, *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae: Papilionoideae), especie forestal tropical amenazada. Para evaluar la respuesta germinativa de semillas almacenadas en refrigeración durante 17 meses, fueron sujetas a tratamientos pregerminativos, entre ellos remojo en agua durante 24 h. En el caso de los tratamientos control y remojo en agua, presentaron retrasos en el inicio de germinación y el tiempo de iniciación del proceso fue más largo que en las semillas escarificadas. Atribuyen que una posible explicación para este retraso sería por la lenta imbibición de agua y del intercambio gaseoso, lo cual conlleva que la emergencia de la radícula se obstaculice (Vargas, 2017; Vargas, Domínguez y Martínez, 2017). De igual manera, con las semillas de balsamina (*Momordica charantia* L.), por presentar testa gruesa y dura, se evaluó la respuesta de las semillas en relación con el tratamiento de imbibición en agua. Encuentran que semillas embebidas en agua a 22 °C durante 24 horas, mejoró la energía de germinación (48 %) en relación a tratamientos sin inmersión y a semillas embebidas en agua a 50 °C durante 60 minutos (Barraza, Benavides y Torres, 2016). Con la misma especie, *M. charantia*, Barraza (2015) obtuvo 76 % de germinación, con la imbibición de las semillas en agua durante 24 horas, en comparación con 62 % para el tratamiento de control (sin imbibición).

Con *Sideroxylon capiri* (A.DC.) Pittier (Sapotaceae), especie mexicana, Lazos *et al.*, (2015), lograron un 55 % de germinación en el tratamiento de remojo en agua por 24 h en 40 días, mientras que en el testigo (sin tratamiento previo), 39 % de germinación, en 55 días, 33 % en remojo en H₂O₂ a los 57 días, y 23 % con escarificación mecánica en 53 días.

Velocidad de germinación (VG)

El valor pico de germinación VG es la variable de laboratorio más cercana a lo que realmente ocurrirá en la siembra, por lo cual se lo considera como un indicador de las semillas que darán origen a nuevas plantas (Czabator, 1962; Djavanshir y Pourbeik, 1976;

Buamscha *et al.*, 2012). En la investigación, se utiliza la fórmula propuesta por Djavanshir – Pourbeik, porque se puede utilizar para la mayoría de semillas, mientras que la fórmula de Czabator tiene como crítica que su mejor uso es para germinación en coníferas, además de que el valor de germinación obtenido por Djavanshir y Pourbeik se acerca más a la sobrevivencia de las plantas en el campo, demostrado por pruebas de laboratorio y campo para ambas fórmulas (Djavanshir y Pourbeik, 1976). Dicho índice se expresa sin unidades. Cuanto mayor es su valor, mayor es la velocidad de germinación y consecuentemente mayor el vigor, pues el índice calculado estima el número medio de días empleados en la germinación. El tiempo de inmersión ejerce un efecto significativo y positivo en el valor de germinación, es decir, a mayor tiempo, mayor velocidad de germinación, razón por la cual los tratamientos de inmersión en agua durante 12 y 24 horas, logran los mayores valores totales (17,5 y 17,0, respectivamente), lo cual significa que aceleran la germinación y vigor de las semillas (Cuadro 3).

Los resultados descritos anteriormente, concuerdan con Vásquez *et al.* (2015), para *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Bent, quienes evaluaron el efecto de la imbibición durante 24 horas sobre la germinación y algunos índices germinación. Para el caso de la velocidad de germinación (VG) en semillas imbibidas tuvo un incremento de 28,6 % con respecto a las semillas sin remojo previo.

El análisis de la varianza de este índice para los diferentes tiempos de inmersión, proporcionó resultados altamente significativos entre los promedios ($p < 0,0001$), con la inmersión de semilla durante 24 horas con el mayor y más significativo de los tratamientos (2,3431). Según este índice, este tratamiento sería el de mayor vigor por tener el mayor valor promedio. Los tratamientos por 12 y 18 horas no presentan diferencias significativas (2,0896 y 2,0470,

respectivamente). Los menores promedios y sin diferencias entre ellos, los presentan los tratamientos de inmersión por 6 horas y el testigo (1,4324 y 1,2964, respectivamente (Cuadro 5).

En relación a los días después de la siembra, también se presentan diferencias altamente significativas entre ellos. En la velocidad de germinación se presentan tres etapas: la primera de ellas, entre el día 11 y 15; la segunda etapa ocurre entre los días 16 y 19 y la tercera etapa desde el día 20 hasta el final de la germinación (Cuadro 6).

Tiempo medio de germinación (TMG)

Es una medida del tiempo promedio de germinación que necesitan las semillas para germinar. A medida que aumentó el tiempo de imbibición, este índice también incrementó su valor. A partir del tratamiento sin imbibición, este índice se incrementó continuamente, es decir, entre las 18 y 24 horas, se registraron valores de TMG entre 1,8 – 2,1 días. El análisis de varianza indica que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) entre tratamientos y días después de la siembra. Entre los días 11 al 15 no existen diferencias significativas. Estas diferencias comienzan a manifestarse a partir del día 16 (Cuadro 6).

Estos resultados son opuestos a los obtenidos por Vásquez *et al.* (2015), para *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Bent, quienes para evaluar el efecto de la imbibición durante 24 horas sobre el tiempo medio de germinación (TMG), encuentran una disminución en esta variable (4) con respecto a las semillas no imbibidas (5,3), lo cual representó una disminución del 24,5 %. Consideran que el tiempo medio de germinación observado para *L. acapulcense* fue muy corto, comparado con el de otras especies forestales, que presentaron un valor mayor a una semana.

Para el caso de aquellas especies con valores mayor a cuatro se les considera que presentan latencia (Sautu *et al.*, 1999; Aroche, 2005). Respecto a este índice, Bonner (1998) lo considera como buen parámetro para evaluar especies arbóreas. En la presente investigación, los mayores TMG se encuentran en los tratamientos con imbibición por 18 y 24 horas, sin embargo, si se toma en cuenta las investigaciones anteriormente señaladas, se podría considerar que *H. crepitans* no experimenta latencia ya que se obtienen valores de TMG menores a 4 días.

Índice de velocidad de germinación (IVG)

Este índice expresa la velocidad en número de semillas germinadas por día. Por lo tanto, cuanto mayor es, mayor es la velocidad e indirectamente mayor el vigor del tratamiento aplicado. En el análisis de la varianza se encontraron diferencias altamente significativas entre los días después de la siembra y entre tratamientos. De esta manera, se observa que los tratamientos de inmersión en agua durante 12, 18 y 24 horas, no presentan diferencias significativas, lo que significa mayor vigor de germinación. Para este índice, también se pueden considerar tres etapas. La primera entre los días 11 – 14, sin diferencias significativas; la segunda entre los días 15 – 21, con diferencias significativas. La tercera etapa se presentó entre los días 22 – 26, sin diferencias significativas en el índice de velocidad de germinación para esta etapa (Cuadro 6).

Para Vásquez *et al.* (2015), con *L. acapulcense* (Kunth) Bent., el índice de germinación (IG) relaciona el tiempo de germinación con la capacidad germinativa de la semilla; su investigación revela diferencias entre los tratamientos ($p \leq 0,05$) y evidencia que el IG se vio influenciado por la imbibición durante 24 horas,

disminuyendo su valor en un 32 %, con respecto a las semillas no imbibidas.

Para González y Orozco (1996), no es recomendable el uso de los índices para relacionar capacidad de germinación con el tiempo, a fin de obtener valores relativos de la tasa de germinación, ya que se confunde el efecto que pueden tener los diferentes parámetros. Según estos autores, los índices pueden dar el mismo valor a dos poblaciones con comportamiento diferente. Ponen el ejemplo de que se podría dar el mismo valor a una población que germina el 90 % el primer día y 10 % el décimo, que a una población que no germina en los primeros 9 días, pero germina el 100 % el décimo día. Opinan que es difícil definir exactamente cuál es la importancia de los índices en términos fisiológicos. Además, recomiendan el uso de las funciones logísticas, por ser modelos que analizan el comportamiento germinativo en el tiempo y proporcionan los valores de los principales parámetros de la germinación.

Análisis del proceso germinativo mediante la función Logística

El modelo Logístico fue ajustado individualmente para la germinación en los cinco tratamientos. Para cada modelo, los valores observados están próximos a la curva de los valores estimados, ajustados de forma muy semejante, con coeficientes de determinación ajustado mayor a 0,96 ($R^2_{ajust} \geq 0,96$), indicando que los datos en cada modelo explicaron más del 96 % de la variabilidad de la información (Cuadro 7).

Cuadro 7. Modelos Logísticos sigmoidales para el porcentaje de germinación acumulado de semillas de *H. crepitans*, en cinco tratamientos de imbibición en agua.

| Modelo por tratamiento | R ² ajust |
|--|----------------------|
| $GT1 = 1,52/(1 + 13,3 * EXP(-0,223 * DDS));$ | 0,9950 |
| $GT2 = 1,08/(1 + 13,5 * EXP(-0,321 * DDS));$ | 0,9863 |
| $GT3 = 1,36/(1 + 8,9 * EXP(-0,293 * DDS));$ | 0,9979 |
| $GT4 = 1,15/(1 + 13,7 * EXP(-0,361 * DDS));$ | 0,9907 |
| $GT5 = 1,07/(1 + 12,2 * EXP(-0,359 * DDS));$ | 0,9537 |
| T ₁ : Sin inmersión en agua (testigo); T ₂ : Inmersión en agua durante 6 horas; T ₃ : Inmersión en agua durante 12 horas; T ₄ : Inmersión en agua durante 18 horas; T ₅ : Inmersión en agua durante 24 horas; DDS: días después de siembra; EXP=2,718281828; R ² ajust: Coeficiente de determinación ajustado. | |

La germinación máxima, estimada por A, tuvo la tendencia a decrecer con el tiempo de remojo, indicando que, restringiendo esta variable hasta 12 horas, se incrementa la proporción de semillas en germinación, con porcentajes de germinación de 98 – 83 – 77 % para 12, 18 y 24 horas, respectivamente. Con 6 horas de inmersión la germinación estimada fue de 78 % (1,0852). El modelo sin inmersión sobreestima la germinación con un valor de germinación de 109% (1,5203). El parámetro (B), relacionado con el día en que la germinación acumulada gira alrededor del 50 %, indica que el tratamiento de inmersión por 12 horas obtiene el menor tiempo para obtener la mitad del potencial de germinación (8,86 días), lo que puede estar relacionado con alto poder de germinabilidad de las semillas que ocasiona este tratamiento. Los demás tratamientos obtuvieron la mitad porcentual de germinación en tiempos superiores a 12 días, lo cual indica que existe un tiempo de inmersión óptimo (12 horas), por arriba o por debajo del cual, se incrementó el parámetro B, lo cual pudiera ser indicio de ocurrir disminución de procesos metabólicos requeridos durante la germinación.

El parámetro (C), representando la velocidad de germinación para alcanzar el valor asintótico de germinación, tiene en el tratamiento inmersión por 18 horas el mayor valor (0,3934), lo que indica que el porcentaje de germinación acumulada fue atendida en un menor tiempo que los demás tratamientos. Estos

estimados de C, obtuvieron un tiempo de remojo ideal entre 18 y 24 horas, al aumentar la velocidad de germinación para alcanzar el valor máximo de germinación (asíntota), lo cual puede ser indicio de ocurrir incrementos de procesos metabólicos requeridos durante la germinación. Lo anterior indica que los parámetros estimados por el modelo Logístico son consistentes con los datos observados, alcanzando relevantes interpretaciones biológicas.

Estos resultados confirman otras investigaciones en las que modelos de regresión de tipo logístico y Gompertz, han sido útiles para el estudio de diferentes etapas y procesos del crecimiento, resaltando en estudios de germinación de semillas (Carvalho, 1996; Sallum *et al.*, 2010; Tomaz *et al.*, 2010; Gazola *et al.*, 2011; Sousa, 2012; Tomaz *et al.*, 2015; Tomaz *et al.*, 2016).

Los valores de los parámetros de los modelos por tratamiento especificados en el Cuadro 7, originan los modelos matemáticos para estimar las tasas de crecimiento absoluta (AGR) de germinación de semillas en los diferentes tratamientos de inmersión en agua (Cuadro 8).

Cuadro 8. Modelos Logísticos sigmoidales para estimar las tasas de crecimiento absoluta (AGR) de germinación de semillas de jabillo en diferentes tratamientos de imbibición en agua.

| Tasa | Modelo por tratamiento | R ² Ajust |
|---|---|----------------------|
| AGR | $T1: AGR1 = 1,52 * 13,3 * 0,223 * EXP(-0,223 * DDS) / (1 + 13,3 * EXP(-0,223 * DDS) ** 2);$ | 0,9487 |
| | $T2: AGR2 = 1,08 * 13,5 * 0,321 * EXP(-0,321 * DDS) / (1 + 13,5 * EXP(-0,321 * DDS) ** 2);$ | 0,8953 |
| | $T3: AGR3 = 1,36 * 8,9 * 0,293 * EXP(-0,293 * DDS) / (1 + 8,9 * EXP(-0,293 * DDS) ** 2);$ | 0,9565 |
| | $T4: AGR4 = 1,15 * 13,7 * 0,361 * EXP(-0,361 * DDS) / (1 + 13,7 * EXP(-0,361 * DDS) ** 2);$ | 0,9424 |
| | $T5: AGR5 = 1,07 * 12,2 * 0,359 * EXP(-0,359 * DDS) / (1 + 12,2 * EXP(-0,359 * DDS) ** 2);$ | 0,8695 |
| AGR: tasas de crecimiento absoluta; T ₁ : Sin inmersión en agua (testigo); T ₂ : Inmersión en agua durante 6 horas; T ₃ : Inmersión en agua durante 12 horas; T ₄ : Inmersión en agua durante 18 horas; T ₅ : Inmersión en agua durante 24 horas; R ² ajust: Coeficiente de determinación ajustado. | | |

Los mejores ajustes para las tasas de crecimiento, se presentan para los tratamientos de inmersión durante 12 horas y para el tratamiento sin inmersión, con mayores valores del coeficiente de determinación ajustado para AGR (R²Ajust = 0,9565 y R²Ajust = 0,9487, respectivamente). El tratamiento de inmersión por 18 horas tiene coeficiente de determinación muy cercano a ambos tratamientos para AGR (R²Ajust = 0,9424).

Los tres tratamientos explican más del 94 % de la variabilidad de información.

Las tasas de crecimiento absoluta presentan altas correlaciones negativas con los días transcurridos del proceso germinativo, es decir tienen como característica relaciones descendentes con el tiempo (a mayor tiempo menor tasa), con correlaciones superiores a $r \geq -0,93$ (Cuadro 9), originando como patrón de las tasas de germinación la Figura 2.

Cuadro 9. Coeficientes de correlación (r) entre el tiempo transcurrido desde el inicio de germinación y las tasas absoluta (AGR) de germinación.

| Tasas de germinación | Tratamientos | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ |
| AGR | - 0,9746 | - 0,9471 | - 0,9785 | - 0,9715 | - 0,9337 |
| AGR: tasa absoluta de germinación; T ₁ : Sin inmersión en agua (testigo); T ₂ : Inmersión en agua durante 6 horas; T ₃ : Inmersión en agua durante 12 horas; T ₄ : Inmersión en agua durante 18 horas; T ₅ : Inmersión en agua durante 24 horas. | | | | | |

El concepto de la tasa absoluta (AGR), mide el incremento de germinación por unidad de tiempo y durante un período infinitamente pequeño (dt). (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

AGR puede permanecer constante o con incremento constante (Sillett *et al.* 2010).

Tasa de crecimiento absoluta de germinación (AGR)

En la Figura 2, se observa que la tasa absoluta de germinación (AGR), aumentó desde el inicio de la germinación hasta alcanzar valores máximos en todos los tratamientos y luego descendió a valores cercanos a cero, con un comportamiento de distribución normal en forma de campana, que concuerda con otros autores, quienes también ajustaron las curvas de germinación por la función logística, con la primera derivada del modelo en función del tiempo, para obtener la tasa absoluta de germinación (AGR), las cuales fueron crecientes y positivas llegando a un máximo en el punto de inflexión de la curva, a partir del cual, la concavidad de la curva cambia y la tasa de germinación comienza a disminuir en virtud de factores que inhiben progresivamente la germinación (Moravec *et al.*, 2008; Sousa, 2012; Hegazi, 2015; Barraza, Benavides y Torres, 2016 y Barraza 2017).

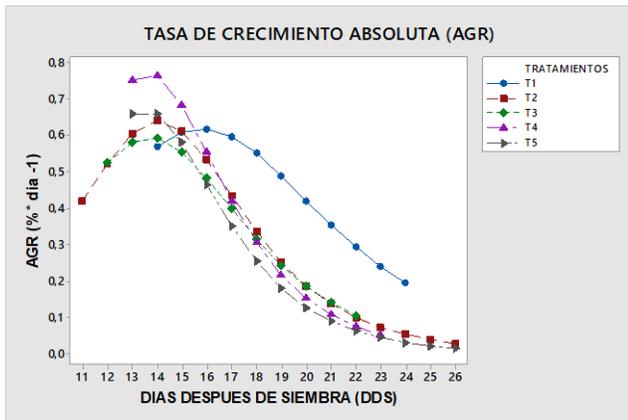


Figura 2. Tasa de crecimiento absoluta de germinación (AGR) de semillas de jabillo (*Hura crepitans* L.), con diferentes tratamientos de imbibición en agua.

De esta manera, se presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos (Cuadro 10) y se encontró que el tratamiento sin inmersión (T1), mostró a los 16 días (6^{to} día del inicio de germinación) su mayor AGR (0,61625 %*día⁻¹), con promedio de 0,436685 %*día⁻¹, superior a los tratamientos T3, T4, T2 y T5 (Cuadro 11), permitiendo que su vigor de

germinación se pudiera expresar a una velocidad más rápida, en comparación con los tratamientos con imbibición en agua. Este resultado coincide con Barraza (2017) en semilla de moringa (*M. oleifera* Lam.), donde el tratamiento sin imbibición fue estadísticamente superior a los tratamientos con 24, 48 y 72 horas de imbibición, obteniendo la mayor AGR, a los 4 días y mayor RGR a los 2 días.

Cuadro 10. Análisis de varianza para las tasas de crecimiento absoluta (AGR) de germinación de semillas de *H. crepitans* L., en diferentes tratamientos de imbibición en agua.

| Fuente de variación | GL | Cuadrados medios y significancia estadística |
|---------------------|-----|--|
| | | AGR |
| Tratamientos | 4 | 0,352033 ** |
| DDS | 15 | 0,649316 ** |
| Error | 244 | 0,0015368 |
| CV (%) | | 12,78 |

AGR: Tasa de crecimiento absoluta; GL: Grados de libertad; DDS: Días después de siembra; CV (%): Coeficiente de variación; **diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,0001$).

Cuadro 11. Comparación de medias para las tasas de crecimiento absoluta (AGR) de germinación de semillas de *H. crepitans* L., en diferentes tratamientos de imbibición en agua.

| Tratamientos | Tasas de crecimiento |
|----------------|-----------------------|
| | AGR |
| T ₁ | 0,436685 ^A |
| T ₂ | 0,271850 ^D |
| T ₃ | 0,358973 ^B |
| T ₄ | 0,307743 ^C |
| T ₅ | 0,194649 ^E |

AGR: Tasa de crecimiento absoluta; T₁: Sin inmersión en agua (testigo); T₂: Inmersión en agua durante 6 horas; T₃: Inmersión en agua durante 12 horas; T₄: Inmersión en agua durante 18 horas; T₅: Inmersión en agua durante 24 horas; Medias con diferentes letras en las columnas, difieren estadísticamente (Duncan, $p \leq 0,05$).

En relación a los días después de la siembra (DDS), entre los días 3 – 4 y 5, ocurrieron las mayores tasas de crecimiento, sin diferencias significativas entre ellos, a partir de los cuales se presentó una disminución gradual al transcurrir el tiempo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias para las tasas de crecimiento absoluta (AGR) de germinación de semillas de *H. crepitans* L., en diferentes tratamientos de imbibición en agua, durante los días después de siembra (DDS).

| DDS | AGR | DDS | AGR |
|-----|---------|-----|----------|
| 1 | 0,420 C | 9 | 0,276 E |
| 2 | 0,523 B | 10 | 0,214 F |
| 3 | 0,621 A | 11 | 0,165 G |
| 4 | 0,627 A | 12 | 0,127 GH |
| 5 | 0,608 A | 13 | 0,107 H |
| 6 | 0,530 B | 14 | 0,085 H |
| 7 | 0,439 C | 15 | 0,029 I |
| 8 | 0,352 D | 16 | 0,022 I |

AGR: Tasa de crecimiento absoluta; DDS: Días después de siembra; Medias con diferentes letras en las columnas, difieren estadísticamente (Duncan, $p \leq 0,05$).

Las especies vegetales difieren notablemente en su capacidad de germinación cuando se cultivan en condiciones parecidas. ¿Cuáles son las causas que determinan variaciones en la germinación? Las especies de plantas leñosas exhiben una gran variación en el tiempo de germinación y en el tamaño de semilla, todo ello determina una gran variabilidad en la germinación.

La relación relativa de crecimiento es constante durante la fase exponencial y su declinación puede

explicarse si consideramos que, a medida que aumenta el tiempo de germinación, se irá haciendo cada vez menor la proporción de semillas en germinación.

La imbibición de agua por semillas, con cubierta seminal altamente permeables, ocurre rápidamente durante las primeras horas del comienzo del tratamiento de imbibición. La mayor parte de las semillas requieren para su germinación un medio aireado con una adecuada disponibilidad de O₂ (20 %)

y CO₂ (0,03%). La germinación disminuye si la tensión de oxígeno disminuye. En cambio, la mayoría de las semillas no germinará si aumenta la tensión del bióxido de carbono presentan tendencia a aumentar por tiempo de inmersión

Para que la germinación tenga éxito, el oxígeno disuelto en el agua de imbibición debe llegar hasta el embrión, sin embargo, la cantidad de oxígeno disminuye a medida que aumenta la disponibilidad de agua en la semilla y un exceso de la misma actuaría desfavorablemente para la germinación, pues dificultaría la llegada de oxígeno al embrión. y puede ocurrir sofocación del embrión afectando negativamente las tasas de germinación. De esta manera, el efecto negativo observado sobre AGR por efecto de la imbibición de semillas en agua durante diferentes tiempos, puede estar relacionado con lo indicado por Alves *et al.* (2005), en cuanto a que el proceso de germinación se vio afectado en el nivel crítico de hidratación, necesario para reactivar el metabolismo y producir el crecimiento embrionario, ya que la evolución del proceso de imbibición, a través del tiempo, afecta las diferentes fases de la germinación.

Conclusiones

El análisis de la germinación se limitó a obtener información básica sobre la germinación acumulada de *H. crepitans* L. y algunos índices relacionados, además de tratar de conocer la dinámica del proceso germinativo con modelos no lineales, con el fin de conocer parte del comportamiento germinativo de la especie. Para obtener esta información se utilizó un diseño experimental adecuado, con una metodología diseñada y aplicada en una población de semillas recientemente colectada (30 días) y almacenada en condiciones adecuadas, a fin de determinar su máxima capacidad germinativa y las características de su latencia, utilizando para el cese de latencia el tratamiento a base de agua y tiempos de imbibición.

Se observó que la germinación e índices evaluados (VG – TMG – IVG), son directamente proporcionales con el tiempo de inmersión, con diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$) entre los tiempos de

inmersión, confirmando que, a mayor período de inmersión, la germinación e índices de germinación presentan tendencia a aumentar por tiempo de inmersión.

La interpretación del modelo Logístico, indica que la germinación máxima, tuvo la tendencia a decrecer con el tiempo de remojo, indicando que, restringiendo la inmersión hasta 12 horas, se incrementa la proporción de semillas en germinación, y se logre el menor tiempo para alcanzar el 50 % de germinación acumulada, lo que puede estar relacionado con alto poder de germinabilidad de las semillas que ocasiona este tratamiento. De igual manera, la velocidad de germinación para alcanzar el valor asintótico de germinación, tiene entre 18 y 24 horas el periodo de inmersión ideal. La germinación de semillas de jabillo, descrita por el modelo no lineal Logístico, presentó una adecuada interpretación biológica a través de los parámetros descritos en las curvas de germinación. Sin embargo, tanto los índices de germinación como el ajuste de la germinación por la función logística son complementarios y ayudan a interpretar la dinámica del proceso germinativo.

Agradecimientos

El autor agradece al Departamento de Biología y Química del NURR – ULA y al Centro de Investigaciones Agrícolas, Biológicas, Educativas y Sociales (CIABES), por el uso de sus equipos de laboratorio y a los revisores anónimos, por su interés en mejorar la calidad del manuscrito.

Referencias

- Alves M, Filho S, Bezerra A y Oliveira V. 2005. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição. *Ciênc. Agrotec.* (Brasil). 29(5):1083-1087.
- Aristeguieta L. 2003. Estudio dendrológico de la flora de Venezuela. Volumen XXXVIII. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Caracas, Venezuela. 572 p.

- Aroche M. 2005. Estudio de germinación de seis especies forestales en el Municipio de la Libertad, Departamento de Peles. Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. pp. 34.
- Barraza F. 2017. Germinación de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en diferentes tiempos de imbibición en agua. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 20 (1): 71 – 77
- Barraza F, Benavides O y Torres F. 2016. Calidad fisiológica y energía de germinación de semillas de balsamina (*Momordica charantia* L.). *Rev. Cienc. Agri.* 33(1):43 - 52.
- Barraza F. 2015. Physical characteristics and germination of bitter melon (*Momordica charantia* Linn.) seeds. *Indian J Res.* 4:3 - 5.
- Barraza F. 2013. Crecimiento y calidad morfológica de berenjena (*Solanum melongena* L.) en fase de semillero. *Tem Agr.* 8:7 - 20.
- Bonner F. 1998. Testing tree seeds for vigor a review. *Seed Technol.* 20: 5-17.
- Buamscha M, Contardi L, Kasten R, Enricci J, Escobar R, Gonda H, Jacobs D, Landis T, Luna T, Mexal J y Wilkinson K. 2012. Producción de plantas en viveros forestales. En: Consejo Federal de Inversiones; Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco UNPSJB; Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Argentina. 220 p.
- Carvalho L. 1996. Métodos para comparação de curvas de crescimento. Tese Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 172 p.
- Czabator F. 1962. Germination value; and index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*, 8 (4): 386 – 396.
- Di Benedetto A y Tognetti J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA* 42 (3): 258 – 282.
- Diem T. 2012. The steps to follow in a multiple regression analysis. Paper 333-2012, SAS Global Forum 2012, Statistics and Data Analysis. 12 p.
- Djavanshir K y Pourbeik H. 1976. Germination value. A new formula. *Silvae Genetica* 25 (2): 79 - 83.
- FAO.1991. Guía para la manipulación de semillas forestales con especial referencia a los trópicos. Compilado por R. L. Willan para el Centro de Semillas Forestales de Danida. Versión electrónica <http://www.fao.org/3/AD232S/ad232s00.htm#TOC>
- Gazola S, Scapim C, Guedes T y Braccini A. 2011. Proposta de modelagem não-linear do desempenho germinativo de sementes de milho híbrido. *Ciência Rural*, Santa Maria, 41 (4): 551 – 556.
- Gómez R y Toro J. 2008. Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque seco. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA. *Boletín Técnico Biodiversidad*, No. 3. 73 p.
- González L y Orozco A. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 58: 15 – 30.
- Hegazi M. 2015. Influence of soil type, sowing date and diluted seawater irrigation on seed germination, vegetation and chemical constituents of *Moringa oleifera* Lam. *J. Agr. Sci. (Canadá)*, 7(3):138 – 147.
- Hoyos J. 1994. Guía de los árboles de Venezuela. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Monografía N° 32. Caracas, Venezuela. 384 p.
- ISTA. 2012. International rules for seed testing. *Seed Sci. Tech.*, 24: 243 p.
- Lazos F, Orantes C, Farrera O, Verdugo A, Sánchez M y Ruíz L. 2015. Evaluación de la viabilidad y germinación de tempisque (*Sideroxylon capiri* (A.DC.) Pittier Sapotaceae]. *Revista Internacional de Botánica Experimental, FYTON*, 84: 138 – 143.

- Maguire J. 1962. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, 2(2): 176 – 177.
- MARNR 1994. Jabillo. Autoecología de la especie. Cartilla N°15. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Servicio Autónomo Forestal Venezolano, Dirección de Investigación Forestal, División de Capacitación y Extensión Forestal (SEFORVEN). Caracas, Venezuela. 8 p.
- Martins Dos Santos G. 2013. Avaliação de caracteres morfofisiológicos de *Genipa americana* L. (Rubiaceae): submersão e substrato. Tesis Maestrado em Biologia Geral/ Bioprospecção, Universidade Federal da Grande Dourados Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais Programa de Pós-Graduação em Biologia Geral/ Bioprospecção 48 p.
- Mendoza O y Suárez S. 2013. Evaluación del comportamiento de Falso roble (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.), Genízaro (*Phitecellobium saman* (Jacq.) Benth.) y Guanacaste negro (*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.) en ensayo de germinación y sembrados en dos tipos de sustrato orgánico Trabajo de Grado Ingeniero Forestal, Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Managua, Nicaragua. 53 p.
- Moravec C, Bradford K y Laca, E. 2008. Water relations of drumstick tree seed (*Moringa oleifera*): imbibition, desiccation, and sorption isotherms. *Seed Sci. & Technol.*, 36: 311 – 324.
- Nakagawa J. 1999. Testes de vigor baseados no desenvolvimento das plântulas. In Krzyzanowski FCH, RD Vieira, JB França Neto eds. Vigor de sementes. Conceitos e testes. Londrina, Brasil. *ABRATES*. p. 2 – 24.
- Oliva F. 1969. Arboles ornamentales y otras plantas del trópico (Venezuela). Ediciones Armitano. Caracas, Venezuela. 368 p.
- Pommerening A y Muszta A. 2015. Methods of modeling relative growth rate. *Forest Ecosystems*, 2 (1): 1 – 9.
- Rossini O, Valdés B, Andrés M, Márquez C y Bueso L. 2006. Germinación de las semillas en algunas especies americanas de Fabaceae y Bignoniaceae cultivadas en Sevilla (SO España). *Lagasalia*, 26: 119 – 129.
- Sallum M, Alves D, Agostini E y Machadoneto N. 2010. Neutralização da escarificação química sobre a germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. 'Marandu'. *Rev. Bras. Ciênc. Agr.*, 5(3): 315 – 321.
- SAS Institute Inc. 2003. SAS/STAT Guide for personal computers, version 9.1 edition. Ed. SAS Institute, Cary, NC. U S A.
- Sautu A, Deago J y Condit R. 1999. Recolección y manejo semillas de 50 especies arbóreas nativas de Panamá. En: R. Salazar (ed.). II Simposio Avances en la producción de semillas forestales de América Latina. Santo Domingo, República Dominicana. pp. 129 – 134.
- Sillett S, Van Pelt R, Koch G, Ambrose A, Carroll A, Antoine M y Mifsud B. 2010. Increasing wood production through old age in tall trees. *Forest Ecology and Management*, 259, 976 – 994.
- Sobrevilla J, López M, López A y Romero L. 2013. Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd). M. C. Johnston. En: Pulido Flores, G. y Monks, S. (Eds.) Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas, Volumen II. Nebraska: Zea Books, 83 – 95.
- Sousa I. 2012. Ajuste de modelos não lineares na descrição de germinação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí. Lavras: UFLA, 72 p.
- Steel R y Torrie J. 1985. Bioestadística. Principios y procedimientos. Segunda edición, Editorial McGraw – Hill Latinoamericana, Bogotá, Colombia. 622 p.

Tomaz C, Martins C, da Silva G. y Vieira R. 2016. Period taken by *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick seed to complete germination. *Ciências Agrárias*, 37: 693 – 700.

Tomaz C, Martins C, Sanches M y Vieira R. 2015. Time reduction for Surinam grass seed germination test. *Ciênc. Agrotec.*, 39: 488 – 497.

Tomaz C, Martins C, de Carvalho L y Nakawama J. 2010. Duração do teste de germinação do capim-Tanzânia. *Rev. Bras. Sementes*, 32 (4): 80 – 87.

Vargas G. 2017. Germinación y crecimiento de especies nativas potenciales para reforestación en el estado de Tabasco, México. Tesis Doctoral en Conservación y Uso Sostenible de Sistemas Forestales por la Universidad de Valladolid, Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible, Palencia, España. 190 p.

Vargas G, Domínguez M, Martínez P y Pire R. 2017. Seed germination in *Ormosia macrocalyx*, an endangered tropical forest tree. *Botanical Sciences*, 95: 329-341.

Vásquez J, Coello M, Pliego L, Zárate G y Córdova G. 2015. Potencial germinativo de *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Bent, una especie de la selva baja caducifolia de la mixteca oaxaqueña. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 2(2): 49 – 61.

Villagra P. 1997. Germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* seeds under saline conditions. *Journal of Arid Environments*, 37:261- 67.