ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA EXPLORATORIO EN GERMINACIÓN DE *Swietenia macrophylla King* CON APLICACIÓN DE HORMONAS VEGETALES

EXPLORATORY SURVIVAL ANALYSIS IN GERMINATION OF *Swietenia macrophylla* King WITH APPLICATION OF PLANT HORMONES

Vale-Montilla, Cesar*

Universidad de Los Andes

Resumen

Uno de los métodos para analizar la germinación de semillas, es el análisis de sobrevivencia. Dentro de ellos, en la germinación de *Swietenia macrophylla* King, se aplicaron los métodos de Kaplan-Meier, con pruebas de Wilcoxon y Log-rank, el modelo de riesgo proporcional de Cox y el modelo de tiempo de falla acelerada (ATF). Las semillas se sembraron individualmente en gaveras para germinación, en un diseño completamente aleatorizado. Los tratamientos probados fueron a base de giberelina y auxina, con los productos comerciales ***ProGibb***® y ***Giber Grop***®, con inmersión de semillas durante 24 horas en concentraciones de 200, 400 y 800 ppm de ***ProGibb***® y 600 ppm de ***Giber Grop***®. El testigo fue el tratamiento con inmersión de semilla en agua durante 24 horas. La germinación se evaluó diariamente durante 30 días. Con LIFETEST(SAS), las pruebas de Wilcoxon indicaron que con $p < 0,05$, no se tiene evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula entre tratamientos ($p = 0,4407$). Al ajustar el modelo de Cox, utilizando PROC PHREG (SAS®), la interacción entre las covariables y el tiempo no resultaron estadísticamente significativas ($p > 0,05$), lo que implicó aceptar el modelo. Además, se propuso un modelo ATF, implementado con PROC LIFEREG (SAS) y por Criterio de Información Akaike, se seleccionó la distribución Log logística para describir la supervivencia en el tiempo. La inmersión en agua resultó el tratamiento que más prolongó el tiempo de germinación. Por el contrario, el tratamiento con Giber Grop 600 ppm, aceleró el proceso. En los tratamientos con Pro Gibb, resultó notable que, a mayor concentración, la germinación obtuvo menor prolongación de la germinación.

Palabras clave: germinación; giberelinas, auxinas; análisis de sobrevivencia; estimador Kaplan Meier; modelo de riesgo proporcional de Cox; modelo de tiempo de falla acelerada.

Recibido: 01 - 02 - 2026 / **Aprobado:** 23 - 04 - 2026

* Ingeniero Forestal de la Universidad de Los Andes, Magíster en Entomología de la Universidad Central de Venezuela. Profesor de la Universidad de Los Andes. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6528-7231. e-mail: cvale@ula.ve - cesarva2003@gmail.com

Abstract

One of the methods to analyze seed germination is survival analysis. Within them, in the germination of *Swietenia macrophylla* King, the Kaplan-Meier methods were applied, with Wilcoxon and Log-rank tests, the Cox proportional hazard model and the accelerated time to failure (ATF) model. The seeds were sown individually in drawers for germination, in a completely randomized design. The treatments tested were based on gibberellin and auxin, with the commercial products **ProGibb®** and **Giber Grop®**, with seed immersion for 24 hours in concentrations of 200, 400 and 800 ppm of **ProGibb®** and 600 ppm of **Giber Grop®**. The control was the treatment with seed immersion in water for 24 hours. Germination was evaluated daily for 30 days. With LIFETEST (SAS), the Wilcoxon tests indicated that with $p < 0.05$, there is not enough evidence to reject the null hypothesis between treatments ($p = 0.4407$). When adjusting the Cox model, using PROC PHREG (SAS®), the interaction between the covariates and time were not statistically significant ($p > 0.05$), which implied accepting the model. In addition, an ATF model was proposed, implemented with PROC LIFEREG (SAS) and by Akaike Information Criterion, the Log logistic distribution was selected to describe survival over time. Immersion in water was the treatment that prolonged the germination time the most. In contrast, treatment with Giber Grop 600 ppm accelerated the process. In the treatments with Pro Gibb, it was notable that, at a higher concentration, germination obtained less prolongation of germination.

Keywords: germination; gibberellins, auxins; survival analysis; Kaplan Meier estimator; Cox proportional hazard model; accelerated failure time model.

Introducción

Las caobas pertenecen a la familia Meliaceae, que incluye cerca de 50 géneros y 1000 especies distribuidas en América, África y Asia. En el Neotrópico se han descrito ocho géneros: *Cabralea, Carapa, Cedrela, Guarea, Ruegea, Schmardea, Swietenia y Trichilia,* siendo *Swietenia* y *Cedrela* los más importantes desde el punto de vista de la industria forestal (Navarro 1999; Negreros et al. 2014). El género *Swietenia* cuenta con tres especies que se encuentran distribuidas en América, *S. mahagoni* Jacq., *S. macrophylla* King y *S. humilis* Zucc. Además, existen dos híbridos naturales, uno producto de la cruza de *S. macrophylla* x *S. humilis* y el otro obtenido por la cruza de *S. macrophylla* x *S. mahagoni.* El primero de estos híbridos se originó en áreas donde la distribución de ambas especies coincide, mientras que el segundo se originó en áreas de proximidad a plantaciones de ambas especies, y se ha denominado *S. x aubrevilleana* (Pennington 1981).

Para Venezuela, su área de distribución se reporta para los estados Barinas (Ciudad Bolivia, Barrancas, Barinitas, Reserva Forestal Caparo), Cojedes (alrededores de El Amparo, Hato Piñero), Mérida (vía Tovar), Portuguesa (río Portuguesa) y Zulia (Perijá). Crece en selvas de galería y bosques tropófilos en suelos bien drenados, entre 20 y 500 msnm (Pennington 1981).

Las auxinas, utilizadas como fitorreguladores, tienen numerosas aplicaciones comerciales, tanto agronómicas como biotecnológicas. Los fitorreguladores sintéticos constituyen un grupo de sustancias que, añadidas en cantidades muy pequeñas, modifican las pautas normales de desarrollo de las plantas y pueden ayudar a incrementar la productividad, mejorar la calidad del cultivo, facilitar la recolección, etcétera. Actualmente se comercializan en diversas formulaciones con numerosas posibilidades de empleo según las circunstancias agrícolas, los tipos de cultivo y las formas de aplicación que existen, entre sus usos tradicionales: enraizamiento, cuajado de frutos. En la germinación de la semilla, las primeras hormonas que actúan son las giberelinas. El ácido giberélico (AG_3) activa el crecimiento vegetativo del embrión durante la germinación y promueve la producción o secreción de enzimas hidrolíticas principalmente α-amilasa, enzima involucrada en la solubilización de las reservas del endospermo (Azcón & Talón 2013; Taiz & Zeiger 2003).

Existen pocos estudios que relacionan la germinación de semillas de caoba con hormonas vegetales. Uno de ellos consistió en utilizar agua de coco (*Cocos nucifera* L) en tres especies: *S. macrophylla* King, *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. En el estudio, la germinación a temperatura alta fue mayor que en agua de coco a temperatura ambiente. Se concluyó que, si el fruto es tierno, el agua de coco puede ser un promotor de la germinación en las tres especies (Quinto et al. 2009).

Para Acosta *et al. (*2011), la inmersión de semillas de caoba en ácido giberélico (3 ppm) durante 24 horas, logró un 92 % de germinación y un índice de velocidad de germinación de 21 días y de 26,1 días el testigo.

Para analizar los datos, el análisis de sobrevivencia incluye métodos no paramétricos (estimadores de tabla de vida - LT y Kaplan-Meier - KM), métodos semiparamétricos (modelo de riesgos proporcionales de Cox, con inclusión de covariables categóricas y cuantitativas, efectos fijos y aleatorios) y métodos paramétricos (Romano & Stevanato 2020; McNair et al. 2012).

El análisis de sobrevivencia se ha utilizado en las ciencias agrícolas o de cultivos, por ejemplo, para

modelar el tiempo hasta la floración (Ritz et al. 2010), el tiempo hasta la emergencia (Onofri et al. 2010) o el tiempo de germinación (Romano & Stevanato 2020; Onofri et al. 2018; Camargo et al. 2018; Hay et al. 2014; Ritz et al. 2013; Manso et al. 2013; McNair et al. 2012; Onofri et al. 2011). Sin embargo, estos métodos siguen siendo poco utilizados en todas las disciplinas relacionadas con el crecimiento de las plantas.

Los objetivos del presente trabajo consistieron en investigar el efecto de tratamientos de imbibición en hormonas vegetales sobre la supervivencia y riesgo de germinación de semillas de *S. macrophylla* King, con aplicación de modelos no paramétricos, semiparamétricos y paramétricos, comparando el significado biológico de los parámetros estimados.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó bajo condiciones a cielo abierto, con semillas colectadas de árboles ubicados en la Plaza Sucre (municipio Trujillo, estado Trujillo, Venezuela), ubicada a 820 msnm. La siembra de semillas se hizo en gaveras para germinación, con tierra de textura franco arenosa.

Hormonas sintéticas utilizadas.

Giber Grop®.

Es un concentrado soluble en agua como regulador fisiológico de las plantas, para floración y engruese de flores y frutos. Es un producto que contiene auxinas y giberelinas (Ácido alfanaftalenacético 17,2% y Giberelina (AG_3) 10%).

ProGibb®.

Es un regulador de crecimiento de las plantas, cuyo principio activo es el ácido giberélico 10 % p.p e ingredientes inertes 90 % p.p. Esta hormona produce incremento en el crecimiento de la planta, la interrupción de la latencia de la semilla, tubérculo y/o bulbos, la inducción de la floración, el retraso en la maduración de algunos frutos, mejora la calidad de planta, etc.

Diseño experimental y tratamientos pregerminativos.

El experimento fue realizado mediante un diseño de bloques al azar. Antes de la siembra, las semillas se sumergieron en diferentes concentraciones y tipos de hormonas sintéticas y a temperatura ambiente, durante 24 horas. Se remojaron 50 semillas en cada tratamiento. Los tratamientos pregerminativos a evaluar fueron:

T_1: inmersión de semillas en agua durante 24 horas;

T_2: inmersión de semillas en ácido giberélico a 200 ppm (***ProGibb***®) durante 24 horas;

T_3: inmersión de semillas en ácido giberélico a 400 ppm (***ProGibb***®) durante 24 horas;

T_4: inmersión de semillas en ácido giberélico a 800 ppm (***ProGibb***®) durante 24 horas;

T_5: inmersión de semillas en ***Giber Grop***® a 600 ppm durante 24 horas.

El procedimiento a seguir fue el siguiente:

En un envase plástico limpio, se mezcló un litro de agua, con un surfactante, en dosis de 4 cc por litro de agua y la hormona del tratamiento correspondiente y en cada uno de ellos se colocaron las semillas, cubiertas completamente por la solución. Antes de sumergir las semillas en los tratamientos, se eliminó el "ala" de cada semilla. Luego de la inmersión en el tratamiento correspondiente, se extendieron las semillas en una superficie limpia y se dejaron secar

durante 30 minutos. Este procedimiento se realizó en un lugar sombreado, a primeras horas de la mañana.

Siembra de semillas y evaluación de la germinación.

La siembra de semillas se hizo por siembra directa en gaveras para germinación, colocando una (01) semillas por abertura, sembradas a una profundidad de 1,0 cm. Las gaveras para germinación se mantuvieron bajo iluminación permanente a campo abierto (intemperie) durante la evaluación del experimento. Mientras las semillas estuvieron en germinación, los riegos con agua se continuaron 2 veces por día. 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 durante 30 días después de la siembra (DDS). Cada semilla individual seleccionada para la germinación por tratamiento se consideró una unidad experimental. Con esta información, se realizaron las determinaciones del número de semillas germinadas diariamente y acumuladas por tratamiento.

Hipótesis y nivel de significación.

Debido a que las hipótesis de interés se refieren a las diferencias entre tratamientos de inmersión en diferentes concentraciones y tipo de hormona sintética en tiempo de germinación, las semillas se consideraron como unidades experimentales. Afortunadamente, los métodos utilizados para analizar los datos de tiempo de falla pueden manejar correctamente los datos censurados y no requieren datos distribuidos normalmente (Fox 2001; Allison 2010).

¿Qué prueba estadística utilizar para comparar las curvas de supervivencia? La prueba t de Student o la prueba de rangos de Wilcoxon en algunos casos no resultan apropiados. Para la prueba t de Student, la razón es que los datos de germinación no siguen una distribución normal, lo cual es un requisito necesario para realizar esta prueba. En el caso del test de Wilcoxon, sí se podría utilizar, sólo como aproximación, considerando que los datos censurados, donde los fallos iniciales tengan más peso que los datos de fallos posteriores, como en la germinación. Esto significa, que en los casos en los que un tratamiento tenga mayor efecto en las fases iniciales, la prueba de Wilcoxon dará una aproximación válida (McNair *et al.* 2012; Scherm &Ojiambo 2004; Fox 2001).

El procedimiento LIFETEST permite comparar pares de curvas de supervivencia y detectar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas y probar la hipótesis nula de que las funciones de supervivencia son iguales entre curvas. La hipótesis nula (H_0) es una hipótesis que la investigación trata de refutar, rechazar o anular, mientras que la hipótesis alternativa es lo que la investigación plantea que es la causa de un fenómeno, indicando que las funciones de supervivencia no son iguales. El nivel de significancia del análisis de la función de supervivencia se ajustó al nivel $p < 0,05$.

Análisis de datos.

Se utilizaron tres métodos estadísticos diferentes (análisis de supervivencia): análisis de las tablas de vida (LIFETEST o métodos de Kaplan-Meier), modelo de riesgo proporcional de Cox y por el modelo de tiempo de falla acelerada (ATF). Los valores de media del tiempo, tiempo medio de germinación y otros índices del tiempo de germinación, se obtienen con la salida de resultados del procedimiento PROC LIFETEST.

Se adoptó un esquema de “observación continua” durante la duración del ensayo, asumiendo que los

tiempos de germinación tuvieran un "dato exacto" para cada semilla (McNair *et al.* 2012). El tiempo de germinación para la semilla no germinada se consideró como "censurada a la derecha".

Las variables tratamientos de inmersión en hormona sintética, se consideraron como covariables categóricas. Para el análisis, en cada medición se asignaron valores de 1 o 0 para las semillas germinadas y no germinadas, respectivamente. Luego de cada conteo diario, cada semilla germinada fue removida del experimento. Se utilizaron códigos para discriminar entre los tratamientos (T_1=1, T_2=2, T_3=3, T_4=4 y T_5=5).

Los datos de germinación se analizaron por análisis de supervivencia con el programa SAS (SAS 2003; Fox 2001), de la manera siguiente:

a. Análisis no paramétrico.

Los datos de germinación fueron descritos y modelados bajo dos probabilidades relacionadas: supervivencia y función de riesgo, ambas dependientes del tiempo. Este análisis se hizo con el procedimiento PROC LIFETEST, que imprime por defecto, los estadísticos Log-rank y Wilcoxon para cada grupo o tratamiento. Las diferencias de supervivencia entre covariables, se analizaron a partir de curvas de supervivencia construidas por el método Kaplan – Meier, en el que se define la función de supervivencia como:

$$S\,(t)\;=\;P\,(T\;\geq t)$$

Donde S (t) es la probabilidad de que una semilla no germinada ocurra en un tiempo T al menos tan grande como el tiempo t (Kaplan & Meier 1958); para ello, se tomó en cuenta el estatus de cada semilla (germinada o no) al final del periodo de evaluación, así como el tiempo de germinación de la misma en días. Así, el tiempo de falla se representa en días, la variable para representar el evento de germinación o censura es STATUS: status 1 = germinación, status 0 = censura debido a pérdida durante el experimento o falla en la germinación al final del experimento. La opción METHOD= especifica los métodos para computar las funciones de supervivencia. En este caso, se utilizaron las opciones KM (Kaplan – Meier), y la opción LT (Klein et al. 2001; Gómez et al. 2009). Para la comparación entre tratamientos de inmersión, se agregó una declaración STRATA que origina estadísticas log-rank y de Wilcoxon y valores de chi-cuadrado.

Este análisis compara la respuesta de las curvas de germinación por el método de máxima verosimilitud o probabilidad, para el cual se utilizó la prueba de Wilcoxon en caso de presentarse cruzamientos entre curvas de germinación y, en caso contrario, la prueba de Log-Rank (Bárcenas et al. 2013; SAS 2003; Fox 2001). La prueba Log-Rank otorga igual peso al principio y final de fallas y asume que las funciones de riesgo para los tratamientos son paralelas, sin cruzamiento entre curvas, indicando que las razones de riesgo son constantes o proporcionales en todos los períodos de tiempo. Solo en esta situación es una prueba eficaz (Fleming et al. 1987; Lee 1996; Buyske et al. 2000; Lee & Wang 2003). Cuando la razón de riesgo no es constante, las pruebas de Gehan – Wilcoxon y la prueba Tarone – Ware pueden ser más eficaces (Tarone & Ware 1977; Pepe & Fleming 1989). La prueba Peto-Peto también es eficiente cuando se viola la suposición de riesgo proporcional (Kleinbaum & Klein 2005).

Según Onofri et al. (2010), los tiempos de germinación se usan para calcular la probabilidad de "germinación/emergencia", es decir, la probabilidad que una semilla individual germine después de un tiempo específico t, considerando el evento inicial (imbibición) en tiempo t = 0.

b. Análisis semiparamétrico.

La razón de riesgo debe ser constante con respecto al tiempo, razón por la cual el modelo de Cox es llamado modelo de riesgo proporcional y se considera una suposición importante que debe analizarse. El modelo examina la influencia de potenciales covariables sobre el riesgo de sobrevivencia de un individuo (semilla). El riesgo en el tiempo t, es la probabilidad que un individuo, quien ha sobrevivido al tiempo t, germine en el siguiente menor período de tiempo. El modelo asume que el riesgo para dos grupos es proporcional. La forma general del modelo es h (t, xt) = e f(xi)*h0 (t), donde e f(xi) indica cómo diferentes covariables afectan la germinación, comparando el riesgo a la línea base y, h0(t) es una función de riesgo de una línea base arbitraria que asume ser igual para todos los grupos (Dixon & Newman 1991; Collett 2003).

El modelo de regresión de Cox tiene en cuenta la información proporcionada por todas las semillas de los diferentes tratamientos que intervienen en el estudio, incluidas aquellas que no germinaron durante el seguimiento (los denominados datos censurados). El período de seguimiento se divide en intervalos temporales, calculándose la tasa de riesgo como la probabilidad, no habiendo presentado el suceso hasta ese momento, de presentarlo en el periodo temporal subsiguiente. Esta tasa de riesgo va variando a lo largo de la duración del estudio, por lo que el modelo calcula una hipotética tasa instantánea media cuando el periodo de tiempo tiende a cero. La HR no es más que el cociente de las tasas instantáneas entre el tratamiento y el control (tratamiento de referencia). Por lo tanto, la HR final calculada por el modelo de regresión es un promedio de las razones de tasas instantáneas en cada momento durante la duración del estudio y representa la relación de probabilidades de producción del suceso en tratados frente a no tratados en un momento dado (Molina 2015).

Para ajustar el modelo a los datos, se utilizó el procedimiento PHREG en SAS, con los términos de interacción entre la covariable tratamientos y el tiempo, además de la covariable por separado (Cox 1972). En caso de resultar el término de interacción estadísticamente significativo, el modelo no es apropiado (Lee & Wang 2003). Se utilizaron dos métodos para verificar y avalar las suposiciones de riesgo proporcional. El primero, un análisis grafico de Kaplan – Meier, utilizando las curvas de log(-log(S(t))) versus log (t). El segundo, mediante el análisis de residuales de Schoenfeld. También se corrió una prueba para analizar la multicolinealidad entre las variables, basado en el diagnóstico VIF. Un valor de VIF > 5 se considera evidencia de multicolinealidad.

Cuando hay múltiples niveles de una variable de clase (en este caso, tratamientos), SAS toma un nivel (el último) como nivel de referencia, con un coeficiente con valor de cero (0) y todos los demás se comparan con este nivel. Un valor significativo de chi cuadrada para un nivel particular indica que solo este nivel es significativamente diferente del nivel de referencia y puede o no, ser significativamente diferente de otros niveles, requiriendo múltiples comparaciones (Allison 2010).

Por tanto, el tratamiento ***Giber Grop*** a 600 ppm, se consideró de referencia en virtud de su orden y los coeficientes de otros tratamientos, se compararon con él, y finalmente, las pruebas de significancia para cada ´tratamiento se probaron para evaluar sus diferencias. Se utilizó la prueba de razón de probabilidad para las comparaciones, con una prueba de chi cuadrada (χ^2) para determinar si los modelos con covariables adicionales significativamente mejoran el modelo nulo.

El valor nulo para la HR es 1, que indica igualdad

de probabilidad de producción del suceso en los dos grupos en el siguiente intervalo de tiempo. Una HR > 1 indica más riesgo de producción en el tratamiento y una HR < 1 menor riesgo en el tratamiento de intervención que en el control (tratamiento de referencia). En este sentido, una HR = 2 no significa que las semillas bajo un tratamiento desarrollan el suceso dos veces más rápido, sino que, si una semilla no ha presentado todavía el suceso (germinación), tiene el doble de probabilidad de presentarlo que un control (tratamiento de referencia) durante el siguiente periodo de tiempo.

c. Análisis paramétrico.

En este caso, para la distribución de supervivencia se asumió el modelo de tiempo de falla acelerado (AFT, por sus siglas en inglés), que postula una relación directa entre predictores y tiempo de supervivencia (George et al. 2014). Para determinar la distribución más apropiada y mejorar el potencial del modelo AFT, se ajustaron y compararon con PROC LIFEREG, cuatro distribuciones paramétricas (Weibull, Lognormal, Log-Logística y Exponencial). Para establecer el mejor ajuste entre las distribuciones, se utilizó el Criterio de Máxima Verosimilitud (ML).

Cuando hay múltiples niveles de una variable de clase (en este caso, tratamientos), SAS elige arbitrariamente uno de los niveles como nivel o tratamiento de referencia, con coeficiente de regresión igual a 0 y todos los demás tratamientos se comparan con este nivel y las pruebas de significancia para cada tratamiento prueban si difiere o no del tratamiento de referencia. Un valor significativo para un nivel particular indica que solo este nivel es significativamente diferente del nivel de referencia.

Resultados y discusión.

Los datos de germinación presentan un especial problema estadístico: no se conoce si las semillas remanentes (no germinadas) son capaces de germinar, están latentes, germinaron y luego murieron sin emerger el talluelo de la plántula o siempre fueron inviables. En el presente caso, las muestras presentaron baja a mediana germinación, sin saber en cual condición de las anteriores se encontraban. La solución alternativa es examinar las semillas no germinadas mediante una prueba de viabilidad con tetrazolio, y luego clasificar correctamente cada semilla. En el presente caso, al proceso de germinación se le hizo seguimiento durante 30 días continuos y las semillas que no germinaron al final de este período se trataron como no censuradas (censura a la derecha).

a. Análisis no paramétrico.

Comparación entre tratamientos de inmersión.

Uno de los principales propósitos de la germinación para describir el proceso biológico, consiste en estimar algunos indicadores del lote de semillas, que permiten comparar tratamientos o cuantificar los efectos de factores experimentales sobre el proceso de germinación/emergencia. Entre ellos, la media y la mediana del tiempo de germinación (tiempo medio de germinación (T50): número de días transcurridos después de la incubación, para alcanzar el 50% del porcentaje de germinación final). En algunos casos también se requieren otros tiempos para caracterizar mejor la primera y última fase del proceso, los tiempos para el 25 % o 75 % de germinación (T25 – T75), (Onofri et al. 2010).

Son indicadores utilizados para comparar la energía de germinación al registrar la “tasa de germinación”, es decir, el número de días que se

necesitan para conseguir el 50 por ciento de la capacidad de germinación. Cuanto más breve sea ese período, tanto mayor será la energía de germinación.

En las condiciones del ensayo, el único tratamiento que logró el 50 % de germinación, fue Giber Grop a 600 ppm, con tiempo medio de germinación de 15 días. Por este motivo, los valores estimados para los tiempos T50 y T75, no se reflejan para la totalidad de tratamientos. Los valores de la media del tiempo de germinación son muy similares, donde inmersión en agua y ProGibb 400 ppm presentaron igual valor de media (17,9 días). El tratamiento ProGibb 200 ppm con mayor valor (> 19,2 días) y Giber Grop 600 ppm, con menor tiempo promedio (13,9 días). También se aprecia que para la primera fase de germinación (T25), los tratamientos de inmersión en Giber Grop 600 ppm y ProGibb 800 ppm, lograron el menor tiempo para alcanzar el 25 % de germinación, con un tiempo estimado de 14 días. Otra observación importante es que, al aumentar la concentración de ProGibb®, disminuye la media del tiempo de germinación (19,2 – 17,9 – 15,2 días, respectivamente).

En el Cuadro 1, se presentan estos indicadores para caracterizar los tratamientos de inmersión. Es un lote de semillas con germinación mediana a baja, dependiendo del tratamiento. Los tratamientos con más alta germinación fueron inmersión en Giber Grop® a 600 ppm e inmersión solo en agua (47,0 % vs 37,5 %, respectivamente); los tratamientos con ProGibb® la germinación más baja (31,3 – 33,3 – 33,3 %). Los valores de la media del tiempo de germinación resultaron variables, entre 13,9 – 19,2 días.

Cuadro 1. Cuantiles estimados para cada tratamiento de inmersión de semillas de *Swietenia macrophylla* King, en días de germinación.

Tratamiento de inmersión	Media + Ee	Porcentaje	Valor estimado	Intervalo de confianza (95%)	
				Bajo	Alto
T_1	17,9±0,46	75	-	-	-
		50	-	-	-
		25	15,0	12,0	-
T_2	19,2±0,47	75	-	-	-
		50	-	-	-
		25	20,0	15,0	-
T_3	17,9±0,48	75	-	-	-
		50	-	-	-
		25	15,0	12,0	-
T_4	15,2±0,21	75	-	-	-
		50	-	-	-
		25	14,0	14,0	-
T_5	13,9±0,40	75	-	-	-
		50	-	15,0	-
		25	14,0	12,0	16,0

T_1: Inmersión en agua durante 24 horas; T_2: Inmersión en ácido giberélico a 200 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_3: Inmersión en ácido giberélico a 400 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_4: Inmersión en ácido giberélico a 800 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_5: Inmersión en Giber Grop® a 600 ppm durante 24 horas; Ee: Error estándar

También se observa en el Cuadro 1, que la interacción hormonal entre giberelinas y auxinas favorece la capacidad de germinación de caoba, indicado por el tratamiento T_5 (Giber Grop® a 600 ppm), producto que contiene ácido giberélico al 10% y auxina al 17,2%.

El ácido giberélico (AG_3) se utiliza en semillas con bajo porcentaje de germinación, siendo útil en la determinación de los tiempos de germinación (25 – 50 – 75 %). Por ejemplo, López et al. (2017) en semillas de *Asclepias Subulata* Decne., una especie originaria de zona desértica, probaron seis concentraciones de AG_3 (0,125, 250, 500, 1000 y 2000 ppm) a dos tiempos de remojo (24 y 48 horas) y un testigo sin ningún tratamiento. Encuentran que la escarificación con AG_3 ejerce influencia positiva en la germinación. El mayor porcentaje de germinación lo obtuvieron en concentración de 250 a 2000 ppm, a 24 y 48 horas de remojo. El tiempo de germinación se vio afectado por la concentración de AG_3, siendo favorecido a una concentración de 1000 y 2000 ppm a 24 y 48 horas de remojo; en tanto que en los demás tratamientos no se alcanzó el 75% de germinación.

La germinación en caoba es variable, dependiendo de características fenotípicas, procedencia, tamaño del fruto, aun en semilla de reciente colección. Por ejemplo, Acosta et al. *(*2012) midieron el largo y ancho de una muestra de semillas de tres procedencias y evaluaron el porcentaje de germinación. Encontraron diferencias significativas para el largo y ancho de las semillas entre procedencias y entre árboles dentro de procedencias. El porcentaje de germinación resulto diferente entre procedencias, siendo de 2% en una de ellas, de 15,67 % en otra, mientras que otra de las procedencias sin germinación. Asumieron que fue motivado por multitud de genotipos y variaciones en la edad de las semillas al momento de la siembra. Por otra parte, Acosta et al. (2011) estudiaron la germinación y el crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) en condiciones de vivero, utilizando cuatro tratamientos pregerminativos (ácido giberélico, agua caliente, peróxido de hidrógeno y testigo). Los parámetros considerados fueron porcentaje de germinación, velocidad e índice de germinación acumulada. Estos resultados mostraron que con el ácido giberélico obtuvieron un 92% de germinación, y de acuerdo con el índice de velocidad, el ácido giberélico y el peróxido de hidrógeno aceleran el proceso germinativo en 21,02 y 22,28 días en promedio y el testigo en 26,07 días.

De igual manera, Marzalina et al. (1997), llevaron a cabo estudios sobre el tamaño y la madurez de los frutos de caoba. Encontraron que frutos de tamaño grande produjeron semillas con más alto porcentaje de germinación, en comparación con las semillas de frutos de tamaño mediano y pequeños. Para Macusaya (2012), la germinación de semillas de *S. macrophylla*, con tratamientos pregerminativos de inmersión en agua por 24 y 48 horas y sin inmersión de semillas, la germinación fue de 83 %,81 % y 82 %, respectivamente.

Por otra parte, Saldaña (2015), para evaluar el efecto de las características fenotípicas sobre la calidad y cantidad de semillas de los individuos seleccionados, además de determinar el efecto de diferentes métodos de cosecha sobre la calidad de semillas de *S. macrophylla*, encuentra que el porcentaje promedio de germinación fue de 64 %, con máximos y mínimos que variaron entre 78% y 34,7%. La germinación de las semillas fue mayor según la procedencia y el método de cosecha utilizado ($p<0,0001$).

Las anteriores investigaciones determinan que la germinación de *S macrophylla* puede resultar variable, siendo dependiente de condiciones naturales, ambientales y de procedencia de la semilla, sobre

todo al incluir tratamientos pregerminativos a base de hormonas. Se observa que la germinación para las condiciones del ensayo, sugiere semillas de mediano vigor y mediana capacidad germinativa.

Al comparar las respuestas de las curvas de germinación individual, por efecto de los tratamientos, se observan cruzamientos de las curvas de germinación entre los tratamientos T_1, T_3 y T_4, alrededor de los 12 – 14 días. Los únicos tratamientos sin cruces son T_2 y T_5. Por esta razón, se utiliza la prueba de Wilcoxon para la comparación de tratamientos, lo que indica que no existen diferencias entre tratamientos (Wilcoxon $\chi 2$ =3,7511; gl=4; p=0,4407; Figura 1).

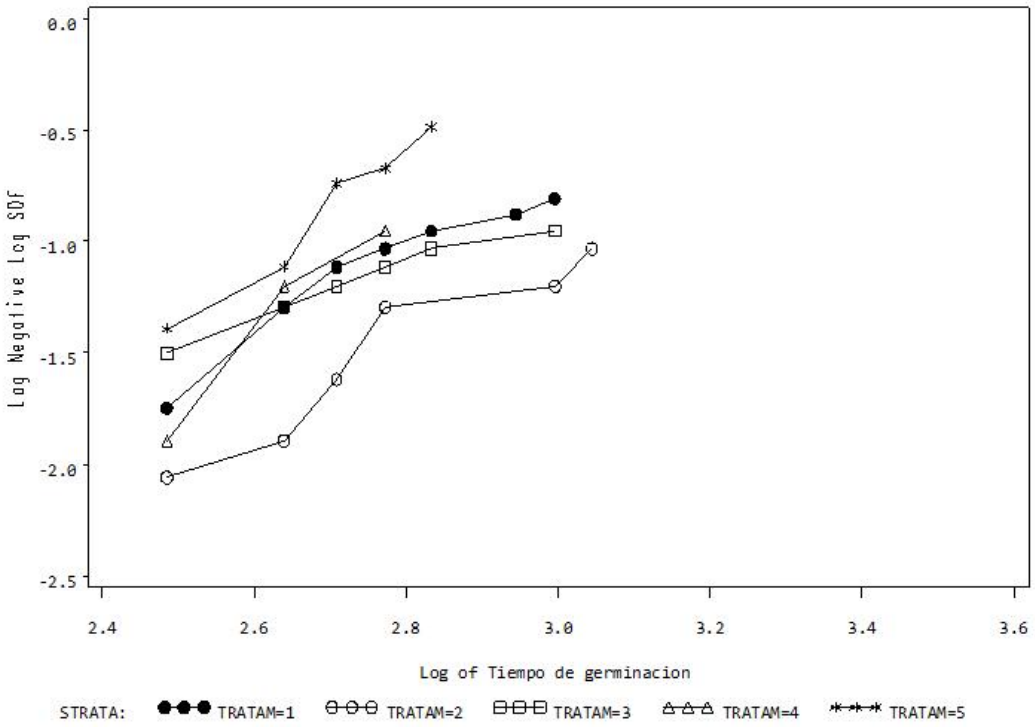


Figura 1. Función de Log (-Log (S (t))) versus log de tiempo con suposición PH violada de las funciones de germinación de *S. macrophylla* King, en cinco tratamientos de inmersión en hormonas.

En el **Cuadro 2,** se indican los resultados de las pruebas que comparan las respuestas de las curvas de germinación. Las pruebas de Wilcoxon indicaron que no existen diferencias significativas entre tratamientos (p = 0,4407). Las pruebas indican que los cinco tratamientos son homogéneos, pero no indican cuales difieren entre ellos. Para resolverlo, se puede utilizar la matriz de covarianzas de la prueba Wilcoxon generada por el SAS (LIFETEST) y se calculan estadísticos Z para cada par de comparaciones, requiriendo cálculos manuales.

Cuadro 2. Resultado de las pruebas de comparación para las funciones de sobrevivencia entre tratamientos de inmersión de semillas de *S. macrophylla* King.

Covariable	Prueba	χ^2	GL	Pr > χ^2
Tratamientos de inmersión	Log-Rank	3,8031	4	0,4333
	Wilcoxon	3,7511	4	0,4407 ^{ns}
	-2Log(LR)	3,5620	4	0,4685

X^2: Chi cuadrado; GL: Grados de libertad; Pr: Probabilidad; ^{ns} no significativo

Las funciones de supervivencia estimada en la Figura 2, sugiere que el patrón temporal de germinación es diferente para la totalidad de tratamientos. Presentan variación en los eventos de germinación, con 7 eventos para el tratamiento T_1, 6 eventos para los tratamientos T_2 y T_3, 3 eventos para el tratamiento T_4 y 5 eventos para el tratamiento T_5. Los cinco tratamientos no presentaron fallas en la germinación durante los primeros intervalos (0 – 15 días). A partir de estos primeros intervalos, los tratamientos presentaron probabilidades variables. Por ejemplo, el tratamiento testigo de inmersión en agua (T_1) y el tratamiento T_3 (inmersión en ProGibb a 400 ppm), disminuyen la probabilidad a 0,76 (76 %) en el siguiente intervalo entre 15 – 20 días, con una razón de riesgo de 0, 028169 fallas/día y 0,016438 fallas/día, respectivamente. Las probabilidades de germinación en los tratamientos, disminuyeron en el intervalo final (30 – 35 días), a 0,64 - 0,70 - 0,68 – 0,68 y 0,54, respectivamente, con una razón de riesgo de 0,00 fallas/ día, hasta el final del periodo de evaluación.

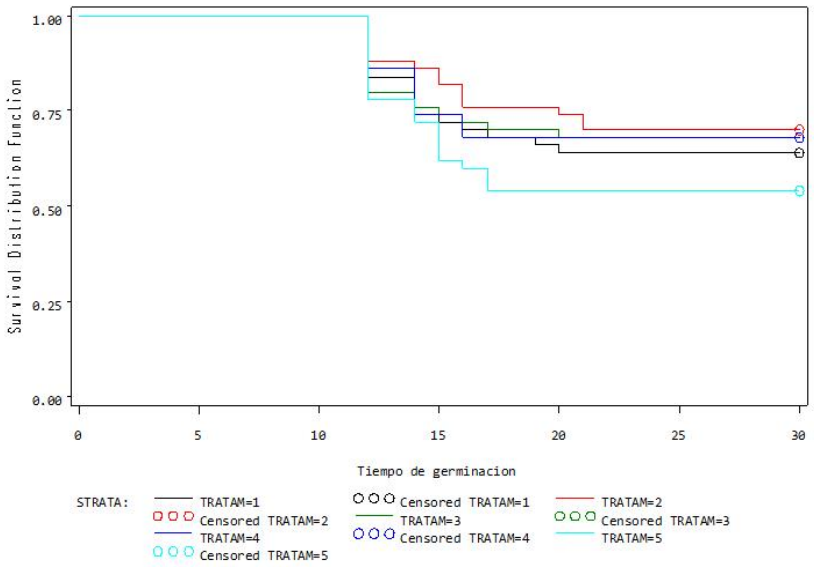


Figura 2. Estimados de Kaplan–Meyer de las funciones de germinación de *S. macrophylla* King, en cinco tratamientos de inmersión en hormonas.

En la Figura 3 se observa que los tratamientos presentaron las más altas razones de riesgo en el intervalo 10 – 15 días, con el tratamiento T_5 con mayor razón de riesgo (0,0651 fallas/día), disminuyendo a 0,057 fallas/día, en el intervalo 15 – 20 dias; T_4 de 0,059 fallas/día, a 0,0169 fallas/día, en el intervalo 20 – 25 dias); T_1 y T_3, con 0,055 fallas/día, en el intervalo 10 – 15 días. El tratamiento T_2 logró la más baja razón de riesgo (0,030 – 0,016 fallas/día, en ambos intervalos.

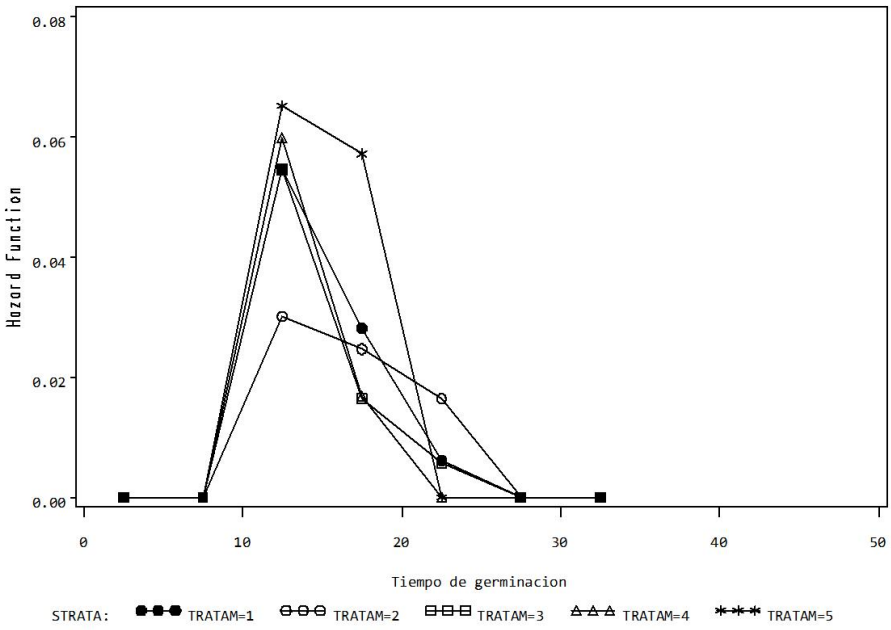


Figura 3. Valores estimados de la función de riesgo para germinación de *S. macrophylla* King, en cinco tratamientos de inmersión en hormonas.

Las hormonas vegetales influyen en la germinación de algunas especies. Son características que difieren para cada especie, dependiendo del tipo de hormona o producto comercial y las concentraciones. Por ejemplo, Abril et al. (2017), para conocer las características de germinación de las especies Eugenia stipitata McVaugh y Stachyatrpheta cayennensis (Rich.) Vahl, investigan su respuesta en función de 2 diámetros de semilla y ácido giberélico (AG3) como tratamiento pregerminativo, en dosis de 0 (testigo), 50 y 100 ppm. Encuentran que, estas especies presentaron diferentes características de germinación. En E. stipitata, el mayor diámetro de la semilla y la aplicación de 100 ppm de ácido giberélico, mejoró el porcentaje de germinación. Para S. cayenennsis, la interacción de diámetro < 2mm y aplicación de 100 ppm de ácido giberélico, incrementaron la velocidad de germinación, y las aplicaciones de 50 y 100 ppm de AG3, independiente del diámetro de semilla, permitieron alcanzar niveles satisfactorios de germinación.

Para Orantes et al (2013), en una investigación sobre viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas (Cordia alliodora, Terminalia amazonia y Bursera bipinnata) encuentran diferencias altamente significativas entre los tratamientos

(p<0,0001) para la germinación acumulada, observando que las semillas de las tres especies aceleran su tiempo de emergencia con la aplicación de ácido giberélico (300 ppm y remojo de 12 horas). Al aplicar los tratamientos pregerminativos obtuvieron más del 90% de germinación final, lo que favoreció la germinación, ya que sin ellos el porcentaje de germinación disminuye (B. bipinnata, 63%; C. alliodora, 62% y T. amazonia, 54%). Además, la aplicación de ácido giberélico promovió que las semillas de las tres especies germinaran más rápido (44,7 días en promedio para T. amazonia, 32,5 para C. alliodora y 41,5 para B. bipinnata), en comparación con el testigo (T. amazonia germinó en 67,3 días, C. alliodora, en 46,0 y B. bipinnata, en 61,8 días).

Otro ejemplo del uso de hormonas, lo presentan Latsague et al (2010) para Myrceugenia exsucca (Myrtaceae), cuyo objetivo fue evaluar viabilidad de cuatro tratamientos: remojo con agua destilada por 24 h; remojo en ácido giberélico, 250 mg L-1 por 12 h; remojo en ácido giberélico, 250 mg L-1 por 24 h y estratificación fría a 5 °C por 15 días. Encuentran que en los dos últimos tratamientos la germinación fue nula. El remojo con agua destilada por 24 h presentó mayor germinación que el tratamiento control (P < 0,05). Los valores más bajos se obtuvieron en el tratamiento con ácido giberélico por 12 h. Sin embargo, este tratamiento presentó el valor más alto de velocidad germinativa, presentando diferencias significativas con el tratamiento control y remojo con agua por 24 h (P < 0,05).

Para Salisbury & Roos (2000), el ácido giberélico tiene propiedades estimulantes de germinación, además de favorecer la elongación y emergencia de la radícula a través del endospermo, la cubierta seminal o la cubierta del fruto que restringen su crecimiento, además de producir enzimas hidrolíticas durante la germinación.

a. Análisis semiparamétrico.

b.1. Análisis de multicolinealidad.

La prueba de colinealidad diagnosticó que la covariable tratamientos, alcanzó valores menores de 1,00 (VIF<5), lo que indica que no existe evidencia de colinealidad en la variable.

b.2. Análisis de supuestos del modelo.

Las curvas de log (-log(S(t))) versus log (t) para tratamientos, presentaron líneas razonablemente paralelas para algunos de ellos (Figura 1). Además, los resultados de los residuos de Schoenfeld, para satisfacer la suposición, deben ser independientes del tiempo, es decir, no estar correlacionados con el tiempo o con alguna función del tiempo (Allison 2010). Los resultados mostrados en el Cuadro 3, indican que no existen problemas de violación de supuestos de riesgo proporcional con la covariable tratamientos para las funciones de tiempo (Días, Dias1 y Dias2), con valores de p > 0,05. Por lo tanto, se ajusta al modelo, sin problemas de violación de supuestos. El número de observaciones es de 88, ya que los residuales de Schoenfeld no están definidos para casos censurados (162 valores censurados, de un total de 250 valores), donde el 64,8 % resultó censurado (semilla sin germinar).

b.3. Análisis del modelo con variables tiempo dependientes.

En este modelo, la variable de respuesta es el "riesgo". El modelo asume que la tasa de riesgo subyacente, en lugar del tiempo de supervivencia, es una función de las variables independientes o covariables. Significa que un cambio de una unidad en una variable explicativa, causa cambios proporcionales en el riesgo. Para un análisis detallado,

la germinación se analizó por etapas. En una primera etapa, se analizaron los primeros 15 dias del proceso germinativo (entre 0 y 15 dias), luego el período entre 16 y 30 dias y finalmente, para el tiempo total. Para cada una de estas evaluaciones, se consideró al tratamiento T_5 como grupo de referencia (Giber Grop® a 600 ppm) y todos los tratamientos se compararon con él (Romano & Stevanato 2020; McNair et al. 2012).

Cuadro 3. Prueba de suposiciones de riesgo proporcional con residuales de Schoenfeld, indicando coeficientes de correlación de Pearson, Prob > |r|.

Variables de tiempo	Residuales de Schoenfeld
	Tratamientos
Días	- 0,10476
	0,3314
	88
Días1	- 0,09002
	0,4042
	88
Días2	- 0,1196
	0,2671
	88

Días: Días de germinación; Días1: log (Días); Días2: Días^2.

b.3.1. Primera etapa del proceso de germinación (0 – 15 dias).

Los coeficientes exponenciados, exp (β_i) representan las razones de riesgo y dan el tamaño del efecto de cada covariable. Pueden considerarse como el cambio predictivo en el riesgo para un aumento de una unidad en el predictor. El signo positivo del coeficiente de regresión indica que para una covariable las probabilidades de germinación aumentan durante los primeros 15 días. También significa que la covariable aumenta el riesgo, lo que reduce el tiempo de falla. El efecto contrario se produce con los coeficientes negativos. En este caso, los tratamientos disminuyen las probabilidades de germinación y, en consecuencia, aumentan el tiempo de falla. El análisis mostró un efecto no significativo en la totalidad de tratamientos ($p > 0,05$), indicando que no existe relación entre la covariable tratamientos y el cambio decreciente de germinación (Cuadro 4). En esta primera etapa del proceso de germinación, también se observa que la interacción de los tratamientos con el tiempo tiene un impacto positivo

en la germinación. Es decir, la interacción aumenta las probabilidades de germinación en el tiempo (βi= 0,03326), aunque de manera no significativa (p=0,8274).

Cuadro 4. Análisis de covariables con interacciones con el tiempo por el método de máxima verosimilitud (ML) para la primera etapa del proceso de germinación (0 – 15 dias).

Variable	GL	Parámetro estimado	Error standard	χ2	P > χ2	Razón de riesgo (HR)	Intervalo confianza (HR)
T_1	1	-0,23240	0,51484	0,2038	0,6517 ^{ns}	0,793	0,29 - 2,17
T_2	1	-0,50312	0,45273	1,2350	0,2664 ^{ns}	0,605	0,25 - 1,47
T_3	1	-0,38802	0,38831	0,9985	0,3177 ^{ns}	0,678	0,32 - 1,45
T_4	1	-0,42267	0,34373	1,5120	0,2188 ^{ns}	0,655	0,33 - 1,29
T5		0	0				
TRATAM* DIA	1	0,03326	0,15254	0,0475	0,8274 ^{ns}	1,034	0,77-1,39

T_1: Inmersión en agua durante 24 horas; T_2: Inmersión en ácido giberélico a 200 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_3: Inmersión en ácido giberélico a 400 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_4: Inmersión en ácido giberélico a 800 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_5: Inmersión en Giber Grop® a 600 ppm durante 24 horas; GL: Grados de libertad; χ2: Chi cuadrada; TRATAM: Tratamientos; DIA: Días de germinación; ^{ns} no significativo.

En el caso de tratamientos, presentaron signos negativos en sus coeficientes y significa que, en este período, tienen más baja probabilidad de germinación que el tratamiento de referencia (T_5, Giber Grop® a 600 ppm). El valor de la razón de riesgo para los diferentes tratamientos, resultó de 0,793; 0,605; 0,678 y 0,655, revelando que la probabilidad de experimentar germinación se incrementa por estos factores con el tratamiento Giber Grop® a 600 ppm (12 horas), comparado con los demás tratamientos. Es decir, el riesgo de germinar de las semillas es alrededor de 79,3 %, 60,5 %, 67,8 % y 65,5 % de la razón de riesgo de las semillas del tratamiento de referencia. Este resultado revela que las semillas de estos tratamientos tendrán tendencia a germinar posteriormente que las semillas con inmersión en Giber Grop® a 600 ppm (Cuadro 4). El intervalo de confianza de la razón de riesgo (HR) de cada tratamiento, define si dentro del intervalo se incluye o no el valor nulo (1) que indica la igualdad entre cada tratamiento y el tratamiento de referencia, tal como sucede en este primer periodo de evaluación. Al incluir el intervalo de confianza el valor nulo (1), se determina que el riesgo de germinación fue similar en los dos grupos bajo comparación (T1=T5; T2=T5; T3=T5 y T4=T5). Por lo tanto, no existen diferencias significativas del riesgo temporal de germinación entre las semillas de los tratamientos bajo comparación. La interpretación correcta sería que las semillas de los tratamientos T_1, T_2, T_3 y T_4 que no hubiesen

germinado tenían igual probabilidad de presentarla en el siguiente intervalo de tiempo que las semillas del grupo control o tratamiento de referencia (T_5).

De manera equivalente, los valores inversos de 1 / exp (βi) igual a 1,26; 1,65; 1,47 y 1,53 revela que la probabilidad de experimentar germinación disminuyó en estos factores para los tratamientos de inmersión en agua y con ProGibb (200 – 400 – 800 ppm, respectivamente), al compararse con Giber Grop® a 600 ppm, aunque los resultados no son significativos ($p > 0,05$). Además de la comparación de los demás tratamientos con Giber Grop® a 600 ppm, se realizaron pruebas de hipótesis para comparar entre tratamientos, originando una prueba, donde todos los coeficientes asociados con esta covariable tienen valor de 0. Para la primera etapa, con un valor de chi cuadrado de 3,7978 y 5 grados de libertad, la prueba no resulto estadísticamente significativa (p=0,5789). Entre los tratamientos comparados no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 5)

Cuadro 5. Resultados de las pruebas de hipótesis entre tratamientos, para la primera etapa del proceso de germinación (0 – 15 dias).

Tratamientos	χ^2 Wald	GL	Pr > χ^2
T1 vs T2	0,5545	1	0,4565
T1 vs T3	0,1548	1	0,6940
T1 vs T4	0,1754	1	0,6754
T2 vs T3	0,0957	1	0,7571
T2 vs T4	0,0385	1	0,8445
T3 vs T4	0,0089	1	0,9249

T_1: Inmersión en agua durante 24 horas; T_2: Inmersión en ácido giberélico a 200 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_3: Inmersión en ácido giberélico a 400 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_4: Inmersión en ácido giberélico a 800 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; GL: Grados de libertad; χ2: Chi cuadrada

b.3.2. Segunda etapa del proceso de germinación (16 – 30 dias).

En esta segunda etapa del proceso de germinación, la interacción de los tratamientos con el tiempo también tiene un impacto positivo en la germinación. Es decir, la interacción de los tratamientos con el tiempo, aumentaron las probabilidades de germinación (βi= 0,13291) en el tiempo. De manera individual, el signo negativo de los coeficientes de regresión para cada tratamiento, indica que las probabilidades de germinación también disminuyeron durante este período, con más baja probabilidad de germinación que el tratamiento de referencia (T_5, Giber Grop® a 600 ppm).

El valor de la razón de riesgo para los diferentes tratamientos, resultó menor que durante el primer período, con valores de 0,645; 0,520; 0,617 y 0,627, revelando que la probabilidad de experimentar

germinación se incrementa por estos factores con el tratamiento Giber Grop® a 600 ppm. Es decir, el riesgo de germinar de las semillas es alrededor de 64,5 %, 52,0 %, 61,7 % y 62,7 % de la razón de riesgo de las semillas del tratamiento de referencia. Al comparar con el primer período, los tratamientos presentaron disminución de las probabilidades de germinación por el orden de 14,8 %, 8,5 %, 6,1 % y 2,8 %. Este resultado también deja ver que las semillas de estos tratamientos tuvieron tendencia a germinar posteriormente que las semillas con inmersión en Giber Grop® a 600 ppm, durante el segundo período (Cuadro 6).

Igual que en el primer periodo, todos los tratamientos incluyen en el intervalo de confianza el valor nulo (1), indicando que el riesgo de germinación fue similar en los dos grupos (T1=T5; T2=T5; T3=T5 y T4=T5). Por lo tanto, tampoco existen diferencias significativas del riesgo temporal de germinación entre las semillas de los tratamientos bajo comparación. La interpretación correcta sería que las semillas de los tratamientos T_1, T_2, T_3 y T_4 que no hubiesen germinado durante este periodo, tenían igual probabilidad de presentarla en el siguiente intervalo de tiempo que las semillas del grupo control o tratamiento de referencia (T_5).

De manera equivalente, los valores inversos de 1 / exp (βi) igual a 1,55; 1,92; 1,62 y 1,59 revela que la probabilidad de experimentar germinación disminuyó en estos factores para los tratamientos de inmersión en agua y con ProGibb (200 – 400 – 800 ppm, respectivamente), al compararse con Giber Grop® a 600 ppm, aunque los resultados no son significativos (p > 0,05).

Cuadro 6. Análisis de covariables con interacciones con el tiempo por el método de máxima verosimilitud (ML), para la segunda etapa del proceso de germinación (16 – 30 dias).

Variable	GL	Parámetro estimado	Error standard	χ^2	P > χ^2	Razón de riesgo (HR)	Intervalo confianza (HR)
T_1	1	-0,43865	0,3519	1,554	0,213 ^{ns}	0,645	0,32 - 1,29
T_2	1	-0,65335	0,3487	3,512	0,061 ^{ns}	0,520	0,26 - 1,03
T_3	1	-0,48356	0,3311	2,132	0,144 ^{ns}	0,617	0,32 - 1,18
T_4	1	-0,46724	0,3265	2,048	0,152 ^{ns}	0,627	0,33 - 1,19
T5		0	0				
TRATAM*DIA	1	0,13291	0,1746	0,579	0,446 ^{ns}	0,876	0,62-1,23

T_1: Inmersión en agua durante 24 horas; T_2: Inmersión en ácido giberélico a 200 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_3: Inmersión en ácido giberélico a 400 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_4: Inmersión en ácido giberélico a 800 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_5: Inmersión en Giber Grop® a 600 ppm durante 24 horas; GL: Grados de libertad; χ2: Chi cuadrada; TRATAM: Tratamientos; DIA: Días de germinación; ^{ns} no significativo.

Para la segunda etapa, la comparación entre tratamientos, sin incluir sus comparaciones con el tratamiento de referencia (Giber Grop 600 ppm), con un valor de chi cuadrado de 4,3825 y 5 grados de libertad, la prueba no resulto estadísticamente significativa (p=0,4958). Entre los tratamientos comparados no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 7).

b.3.3. Para el total de dias del proceso de germinación.

El Cuadro 8 muestra los parámetros calculados por la aplicación del modelo de Cox, con las interacciones de las covariables y el tiempo, considerando los días totales del proceso de germinación. El signo negativo de los coeficientes de regresión para los diferentes tratamientos (β_1=-2,06602; β_2= -1,87140; β_3= -1,29170 y β_4= -0,86924) y su interacción con el tiempo (βi= -0,03135), indica bajas probabilidades de germinación, al compararlos con el tratamiento Giber Grop® a 600 ppm.

Cuadro 7. Resultados de las pruebas de hipótesis entre tratamientos, para la segunda etapa del proceso de germinación (16 – 30 dias).

Tratamientos	χ^2 Wald	GL	Pr > χ^2
T1 vs T2	0,3692	1	0,5434
T1 vs T3	0,0158	1	0,8999
T1 vs T4	0,0060	1	0,9382
T2 vs T3	0,2195	1	0,6394
T2 vs T4	0,2545	1	0,6139
T3 vs T4	0,0021	1	0,9634

T_1: Inmersión en agua durante 24 horas; T_2: Inmersión en ácido giberélico a 200 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_3: Inmersión en ácido giberélico a 400 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_4: Inmersión en ácido giberélico a 800 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; GL: Grados de libertad; χ^2: Chi cuadrada

Cuadro 8. Análisis de covariables de interacciones con el tiempo por el método de máxima verosimilitud (ML), para el total de días del proceso germinativo (30 dias).

Variable	GL	Parámetro estimado	Error standard	χ^2	P > χ^2	Razón de riesgo (HR)	Intervalo confianza (HR)
T_1	1	-2,06602	1,776	1,354	0,245 ^{ns}	0,127	0,004 - 4,11
T_2	1	-1,8714	1,337	1,959	0,162 ^{ns}	0,154	0,011 - 2,12
T_3	1	-1,2917	0,909	2,018	0,155 ^{ns}	0,275	0,05 - 1,63
T_4	1	-0,8692	0,529	2,704	0,100 ^{ns}	0,419	0,15 - 1,18
T_5	0	0	0				
TRATAM*DÍA	1	-0,03135	0,0314	0,998	0,318 ^{ns}	0,969	0,91-1,03

T_1: Inmersión en agua durante 24 horas; T_2: Inmersión en ácido giberélico a 200 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_3: Inmersión en ácido giberélico a 400 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_4: Inmersión en ácido giberélico a 800 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_5: Inmersión en Giber Grop® a 600 ppm durante 24 horas; GL: Grados de libertad; χ^2: Chi cuadrada; TRATAM: Tratamientos; DÍA: Días de germinación; ^{ns} no significativo.

El valor de la razón de riesgo para la germinación de las semillas de los diferentes tratamientos, indica que el riesgo de germinar fue de 12,7 %, 15,4 %, 27,5 % y 41,9 % de la razón de riesgo de las semillas con inmersión en Giber Grop® a 600 ppm. El inverso 1 / exp (βi) igual a 7,9; 6,5; 3,6 y 2,4, revela que las probabilidades de germinación aumentaron por estos valores para las semillas tratadas con Giber Grop® a 600 ppm, en comparación con los demás tratamientos (T_1 – T_2 – T_3 – T_4, respectivamente), en la totalidad del período de evaluación de la germinación. Este resultado también reveló que las semillas de los tratamientos comparados con Giber Grop® a 600 ppm, presentaron tendencia a germinar posteriormente. Sin embargo, para todo el proceso de germinación, la comparación de los tratamientos con Giber Grop® a 600 ppm, no presentó diferencias significativas.

En resumen, al incluir dentro del intervalo de confianza el valor nulo (1), se concluye que el riesgo de germinación para todo el periodo de germinación (30 dias), fue similar en todos los tratamientos (T_1=T_2=T_3=T_4=T_5). Por lo tanto, no existen diferencias significativas del riesgo temporal de germinación de las semillas con los tratamientos bajo comparación. La interpretación correcta sería que las semillas de los tratamientos T_1, T_2, T_3 y T_4 que no hubiesen germinado tuvieron igual probabilidad de presentarla en el siguiente intervalo de tiempo que las semillas

del grupo control o tratamiento de referencia (T_5).

La comparación entre tratamientos, sin incluir tratamiento de referencia, y para el total de dias, resultó un valor de chi cuadrado de 4,8424 y 5 grados de libertad, la prueba no resulto estadísticamente significativa (p=0,4354). Además, los resultados muestran que las diferencias entre los tratamientos comparados no son estadísticamente significativas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados de las pruebas de hipótesis entre tratamientos, para el total de dias del proceso germinativo (30 dias).

Tratamientos	χ2 Wald	GL	Pr > χ2
T1 vs T2	0,1159	1	0,7335
T1 vs T3	0,6477	1	0,4209
T1 vs T4	0,7578	1	0,3840
T2 vs T3	1,0233	1	0,3117
T2 vs T4	1,1139	1	0,2912
T3 vs T4	0,5719	1	0,4495

T_1: Inmersión en agua durante 24 horas; T_2: Inmersión en ácido giberélico a 200 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_3: Inmersión en ácido giberélico a 400 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; T_4: Inmersión en ácido giberélico a 800 ppm (ProGibb®) durante 24 horas; GL: Grados de libertad; χ2: Chi cuadrada

El análisis de residuos del modelo definitivo para verificar los supuestos de proporcionalidad del modelo, las covariables y sus interacciones, satisfacen los supuestos de riesgo proporcional. Por lo tanto, el siguiente análisis paramétrico se realiza para complementar la información de la germinación y para mejorar la interpretación de los resultados generales.

c. Análisis paramétrico.

La aplicación del Criterio de Información Akaike (Akaike 1974), permitió seleccionar las distribuciones Log-logística y Lognormal por mejor ajuste. En la presente investigación, este patrón parece ajustarse a la tendencia ordinaria del proceso de germinación, lo que hace que estos modelos sean adecuados a los resultados.

La salida de resultados del Cuadro 10, muestra las estimaciones de máxima verosimilitud (MLE) de los parámetros calculados mediante la aplicación del modelo Log logístico, expresado como regresión de tiempo de falla acelerada (AFT). La primera observación es que el valor estimado de σ (Escala) es < 1, lo que implica que la función de riesgo estimada sigue la forma de una “U” invertida. Además, presenta valores de los parámetros y pruebas estadísticas muy semejantes a la distribución Log normal. Para el modelo Log logístico, cuando el parámetro de escala, σ < 1, el riesgo log-logístico es similar al riesgo log-

normal: comienza en 0, asciende a un pico y luego decrece a 0. El parámetro de escala para la distribución Log logística, resultó 0,0865 y para la distribución Log normal de 0,1529, ambos < 1 (Allison 2010).

El coeficiente de regresión para el tratamiento T_5 (Giber Grop 600 ppm), es 0. Su razón es que se designó como nivel de referencia para comparar con los demás tratamientos. El análisis del Cuadro 10, indica que cada coeficiente, de manera independiente, difiere significativamente del tratamiento Giber Grop 600 ppm ($p < 0,05$).

Cuadro 10. Parámetros estimados de las distribuciones por el método de máxima verosimilitud (ML) para la distribución Log logística.

Variable	GL	Parámetro estimado ± e.e	Limites confianza		χ^2	T_{50} (dias)	Razón de tiempo (γ)
Intercepto (β_0)	1	0,1912±0,148	-0,099	0,4817	1,67 ^{ns}	1,21	1,00
T_1	1	2,1599±0,100	1,9639	2,3559	466,5 **	10,5	8,7
T_2	1	1,4355±0,0902	1,2588	1,6122	253,5 **	5,1	4,2
T_3	1	0,9686±0,0778	0,8162	1,1210	155,2 **	3,2	2,6
T_4	1	0,4910±0,0589	0,3756	0,6063	69,6 **	2,0	1,7
T_5	0	0,0000	-	-	-		
TRAT*DIA	1	0,0356±0,0021	0,0314	0,0397	276,2 **		
Escala	1	0,0865±0,0079	0,0723	0,1034			

En la estimación de los parámetros ATF para el modelo Log logístico, la intersección está representado por β_0 = 0,1912, tratamiento 1 (β_2 = 2,1599), tratamiento 2 (β_3 = 1,4355), tratamiento 3 (β_4 = 0,9686) y tratamiento 4 (β_5 = 0,4910). Según Romano & Stevanato (2020), estos valores se utilizan para calcular el tiempo medio de germinación (T_{50}). El T_{50} (mediana o tiempo medio de germinación) para referencia de cada parámetro, se calcula como exp (β). Para todo el lote (intercepto = β_0 = 0,1912), fue de exp $^{(0,1912)}$ = 1,21 dias, mientras que para el efecto de tratamiento 1 es, exp $(^{\beta0 + \beta1})$ = exp $(^{1,1912 + 2,1599})$ = 10,5; para tratamiento 2, exp $(^{\beta0 + \beta2})$ = 5,1 dias; para tratamiento 3, exp $(^{\beta0 + \beta3})$ = 3,2; para tratamiento 4, exp $(^{\beta0 + \beta4})$ = 2,0. De esta manera, se calcula el tiempo medio de germinación para cada tratamiento, según su parámetro. Cuanto más negativo sea el coeficiente, más temprano será el tiempo medio de germinación (Romano & Stevanato 2020). Los resultados de la prueba chi cuadrada indican diferencias altamente significativas entre estas comparaciones, con el tratamiento de referencia

(Cuadro 10). Por contraste, las comparaciones del análisis de las tablas de vida (LIFETES) sugieren que no existen diferencias entre los tratamientos. ¿Cuál análisis es el correcto? Para Fox (2001), el modelo de tiempo de falla acelerada (LIFEREG) tiene mayor poder estadístico y resulta razonable tener mayor confianza en sus resultados.

Para interpretar los parámetros de regresión en el Cuadro 10, hay que recordar que corresponden a los efectos multiplicativos de las covariables sobre la probabilidad de germinación. El tiempo promedio de germinación de cada tratamiento se calcula por exp $^{(\beta 0+ \beta i)}$ * P_0 (t), donde β_0 corresponde al intercepto, β_i al coeficiente de regresión y P_0 (t) al parámetro de escala de la distribución (Fox 2001). Así, para T_1 es, exp $^{(0,1912+ 2,1599)}$ * 0,0865= 10,5* P_0 (t), mientras que para T_2 es, exp $^{(0,1912 + 1,4355)}$ * 0,0865 = 5,1* P_0 (t). Para T_3 es exp $^{(0,1912+ 0,9686)}$ * 0,0865 = 3,2* P_0 (t) y para T_4 es exp $^{(0,1912+ 0,4910)}$ * 0,0865= 2,00* P_0 (t). El análisis de esta información indica que, individualmente, las semillas tratadas con ProGibb 800 ppm lograron una germinación más temprana.

En términos de la razón de tiempo (γ), para tratamiento 1 γ = 10,5/1,21= 8,7; de manera similar, los demás tratamientos tienen razones de tiempo de 4,2; 2,6; 1,7 y un valor de 1 para el tratamiento Giber Grop 600 ppm. Estos valores, interpretados como razones estimadas de los tiempos de sobrevivencia esperados para dos grupos, según la fórmula (100 % (1 – γ)), se puede observar que los tratamientos T_1, T_2, T_3 y T_4, retardan o prolongan la germinación en 770,0 %, 320,0 %, 160,0 % y en 70,0 %, en comparación con el tratamiento 5 (inmersión en Giber Grop® a 600 ppm), considerado el tratamiento de referencia respectivamente. Esto significa que el tratamiento que prolonga u origina una germinación más lenta, es el tratamiento T_1 (inmersión en agua). El tratamiento 5 (inmersión en Giber Grop® a 600 ppm) se considera de referencia, por lo que aparece con un valor neutro (0,00). En general, en los modelos AFT, una razón de tiempo > 1 para una covariable, implica que prolonga el tiempo de germinación, mientras que una razón de tiempo < 1 implica que es más probable un evento de germinación más temprano (Romano & Stevanato 2020). Según esta referencia, el tratamiento de inmersión en agua es el que más prolonga el tiempo de germinación. En los tratamientos con Pro Gibb (ácido giberélico) es notable que, en las mayores concentraciones, la germinación tiene menor prolongación de la germinación.

El hecho que cada coeficiente de regresión de manera independiente es significativo, indica que cada uno difiere del tratamiento de referencia. Estas comparaciones múltiples, son análogas a las del análisis LIFETEST, excepto que en este caso se utilizaron las pruebas de Wilcoxon y en el ATF, los coeficientes de regresión. El análisis LIFETEST mostró homogeneidad entre tratamientos, sin diferencias entre ellos. Los coeficientes de regresión llegan a una conclusión diferente: la comparación de los demás tratamientos con el tratamiento de referencia, es significativamente diferente del tratamiento Giber Grop 600 ppm y las comparaciones entre los tratamientos restantes permanecen invariables y no significativamente diferente.

Según Romano & Stevanato (2020), mientras que el modelo de Cox expresa el efecto multiplicativo de las variables explicativas sobre el riesgo (escala de riesgo), el modelo AFT expresa el mismo efecto sobre el tiempo de supervivencia (escala de tiempo). Esta característica permite una interpretación más fácil de los resultados porque los parámetros miden la fuerza y el efecto de la covariable correspondiente en la mediana del tiempo de supervivencia. Además, por la aplicación de tiempo de falla acelerado, el efecto de

las covariables sobre la supervivencia se describe en términos absolutos (por. ejemplo, número de días) en lugar de términos relativos como el índice de riesgo. Además, las razones de tiempo representan índices útiles que describen los efectos de las variables explicativas sobre la germinación y más interpretable que una relación de dos riesgos.

Para Onofri et al. (2010), los modelos AFT asumen que cada individuo de la cohorte bajo investigación, experimentará el evento tarde o temprano. Significa que la curva acumulada de proporción de semillas germinadas debe acercarse a una asíntota, con el tiempo tendiendo al infinito, lo que resulta poco realista para las semillas, considerando que muchas de ellas podrían haber perdido la capacidad de germinar debido a condiciones ambientales desfavorables.

Conclusiones

El análisis de supervivencia para la germinación de semilla de *Swietenia macrophylla* King, utilizando los métodos no paramétricos, semiparamétricos y paramétricos, es una técnica adecuada para datos en los que el tiempo hasta la ocurrencia de un evento se considera la variable dependiente, conteniendo datos censurados. Las curvas de supervivencia de Kaplan-Meier (KM) proporcionaron hipótesis exploratorias de la forma de la función de supervivencia para cada tratamiento de inmersión. Una vez que la forma de la línea base del riesgo de germinación se conoce, existe una buena posibilidad de utilizar la forma de distribución adecuada.

El análisis de supervivencia reveló un incremento significativo en el riesgo de la germinación, por efecto de los tratamientos con hormonas, específicamente con ácido giberélico a 200 ppm, el cual retardó el proceso de germinación, con una germinación prolongada en el tiempo. Por el contrario, el tratamiento con Giber Grop 600 ppm, aceleró el proceso. El modelo ATF se considera una herramienta útil para el potencial de germinación en semillas de *S. macrophylla*, con los diferentes tratamientos de inmersión en hormonas, permitiendo estimar los tratamientos más importantes y determinar la distribución de la germinación con el tiempo. De igual manera, el modelo ATF permitió interpretar la velocidad de germinación en respuesta a la covariable tratamientos, además de revelar diferencias entre tratamientos y proporcionar mayor claridad en estudios sobre tiempos de falla, no identificadas en el análisis LIFETEST.

Agradecimientos.

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

Referencias

Abril, R.; Ruiz, T.; Alonso, J. & Cabrera, G. 2017. Germinación, diámetro de semilla y tratamientos pregerminativos en especies con diferentes finalidades de uso. *Agron. Mesoam*., 28 (3):703 – 717.

Acosta, R.; Mendizábal, L; Alba, L.; Alderete, A. & Landero, N. 2012. Variación de semillas y germinación de *Swietenia macrophylla* King de tres procedencias del estado de Tabasco, México. *Foresta Veracruzana,* 14 (1):35 – 42.

Acosta, F.; Orantes, C. & Garrido, E. 2011. Germinación y crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) en condiciones de vivero. *Lacandonia*, 5 (1): 13 – 20.

Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE *Trans. Autom. Control*, 19: 716 – 723.

Allison, P. 2010. Survival Analysis using SAS®: A practical Guide, Second Edition. Carry, NC: SAS Institute Inc. 324 p.

Azcón Bieto, J. & Talón, M. 2013. Fundamentos De Fisiología Vegetal. 2.ª Edición. McGraw-Hill - Interamericana de España, S. L. Madrid, España. 651 p.

Bárcenas, M.; López, L.; Terrazas, T. & García, E. 2013. Germinación de tres especies de Cephalocereus (Cactaceae) endémicas del istmo de Tehuantepec, México. *Polibotánica,* 36:105 – 116.

Buyske, S.; Fagerstrom, R. & Ying, Z. 2000. A class of weighted log-rank tests for survival data when the event is rare. *Journal of the American Statistical Association*, 95 (449): 249 – 258.

Camargo, H.; Salazar, M.; Zapata, D.; Keller, M. & Hoogenboom, G. 2018. Time to event analysis to evaluate dormancy status of single-bud cuttings: an example for grapevines. *Plant Methods*, 14 (94): 1 – 13.

Collett, D. 2003. Modelling Survival Data in Medical Research, 2nd ed. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL.

Cox, D. 1972. Regression models and life tables (with discussion). *J.R. Statist. Soc. B.*, 34, 187 – 220.

Dixon, P. & Newman, M. 1991. Analyzing toxicity data using statistical models for time-to-death: An introduction. In: Metal Ecotoxicology: Concepts and Application. (M. C. Newman and A. W. McIntosh, eds.), pp. 207-242. Lewis Publishers, Chelsea, MI.

Fleming, T.; Harrington, D. & O'sullivan, M. 1987. Supremum versions of the log-rank and generalized Wilcoxon statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 82 (397): 312 – 320.

Fox, G. 2001. Failure-time Analysis: Studying Times to Events and Rates at Which Events Occur. In: Design and analysis of ecological experiments. (Scheiner S.M., Gurevitch J., eds.). pp. 235 – 266. Chapman and Hall. New York, NY, EEUU.

George, B.; Seals, S. & Aban, I. 2014. Survival analysis and regression models. *J. Nucl. Cardiol*., 21: 686 – 694.

Gómez, G.; Calle, M.; Oller, R. & Langohr, K. 2009. Tutorial on methods for interval-censored data and their implementation in R. *Stat. Model*., 9: 259 – 297.

Hay, F.; Mead, A. & Bloomberg, M., 2014. Modelling seed germination in response to continuous variables: use and limitations of probit analysis and alternative approaches. *Seed Sci. Res*., 24: 165 – 186.

Kaplan, E. & Meier, P. 1958. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association,* 53 (282): 457 – 481.

Kleinbaum, D. & Klein, M. 2005. Survival Analysis a Self-Learning Text. New York: Springer.

Klein, J.; Rizzo, J.; Zhang, M. & Keiding, N. 2001. Statistical methods for the analysis and presentation of the results of bone marrow transplants. Part I: Unadjusted analysis. *Bone Marrow Transpl*., 28: 909 – 915.

Latsague, M.; Sáez, P. & Coronado, L. 2010. Tratamientos pregerminativos para *Myrceugenia exsucca* (Myrtaceae), *Bosque,* 31(3): 243 – 246.

Lee, E. & Wang, J. 2003. Statistical Methods for Survival Data Analysis. New Jersey: John Wiley & Sons Inc. 513 p.

Lee, J. 1996. Some versatile tests based on the simultaneous use of weighted log-rank statistics. *Biometrics*, 52 (2): 721 – 725.

López, J.; Jiménez, J.; Huez, M.; Dávila, J.; Ávila, E. & Robles, R. 2017. Germinación de semillas de *Asclepias Subulata* en condiciones de casa sombra utilizando ácido giberélico. *European Scientific Journal,*13 (15): 58 – 68.

Macusaya, M. 2012. Determinación del efecto de sustratos y tratamientos pre - germinativos en mara (*Swietenia macrophylla* King) y serebo (*Schizolobium* sp) en el municipio de San Buenaventura, La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. 78 p. (Tesis de Grado).

Manso, R.; Fortín, M.; Calama, R. & Pardos, M. 2013. Modelling seed germination in forest tree species through survival analysis. The *Pinus pinea* L. case study. *Forest. Ecol. Manag*., 289: 515 – 524.

Marzalina, M.; Normah, M. & Krishnapillay, B. 1997. Collection and handling of mahogany (*Swietenia macrophylla*) seeds for optimum viability. *Journal of Tropical Forest Science,* 9(3): 398 – 410.

McNair, J.; Sunkara, A. & Frobish, D. 2012. How to analyse seed germination data using statistical time-to-event analysis: nonparametric and semiparametric methods. *Seed Science Research*, 22: 77 – 95.

Molina A, M. (2015). Hazard ratio: cuando el riesgo varía a lo largo del tiempo. Rev. Pediatr. Aten Primaria 17: 185-188.

Navarro, C. 1999. Silvicultura-Genética: Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica. Centro Científico Tropical PROARCA/CAPAS. 25 p.

Negreros, P.; Cámara, L.; Devall, M.; Fajvan, M.; Mendoza, M.; Mize, C. & Navarro, A. 2014. Guía para la silvicultura de las selvas de la caoba en Quintana Roo, México. CFAN, CONAFOR. (Borrador Final, 27 de agosto de 2014). México. 76 p.

Onofri, A.; Benincasa, P.; Mesgaran, M. & Ritz, C. 2018. Hydrothermal-time-to-event models for seed germination. *European Journal of Agronomy,* 101: 129 – 139.

Onofri, A.; Mesgaran, M.; Tei, F. & Cousens, R. 2011. The cure model: an improved way to describe seed germination? *Weed Res.,* 51: 516–524.

Onofri, A.; Gresta, F. & Tei, F. 2010. A new method for the analysis of germination and emergence data of weed species. *Weed Res.*, 50: 187 – 198.

Orantes, C.; Pérez, M.; Rioja, T. & Garrido, E. 2013. Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México, *Polibotánica*, 36: 117 – 127.

Pennington, T. 1981. Meliaceae. *Fl. Neotrop. Monogra.,* 28: 1 – 470.

Pepe, M. & Fleming, T. 1989. Weighted Kaplan-Meier statistics: a class of distance tests for censored survival data. *Biometrics*, 45: 497 – 507.

Quinto, L; Martínez, P.; Pimentel, L. & Rodríguez, D. 2009. Alternativas para mejorar la germinación de semillas de tres árboles tropicales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente,* 15 (1): 23 – 28.

Ritz, C.; Pipper, C. & Streibig, J. 2013. Analysis of germination data from agricultural experiments. *Eur. J. Agron*., 45: 1 – 6.

Ritz, C.; Pipper, C.; Yndgaard, F.; Fredlund, K. & Steinrucken, G., 2010. Modelling flowering of plants using time-to-event methods. *Eur. J. Agron.,* 32: 155–161.

Romano, A & Stevanato, P. 2020. Germination Data Analysis by Time-to-Event Approaches. *Plants.* 9: 617: 1 – 15.

Saldaña, J. 2015. Estimación del potencial para manejo de semillas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en tres comunidades indígenas del Purús, Ucayali, Perú. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, División de Educación, Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica. 94 p. (Tesis Magister Scientiae)

Salisbury, F. & Ross, C. 2000. Fisiología Vegetal. Paraninfo Thomson learning. España. 988 p.

Sas Institute Inc. 2003. SAS/STAT Guide for personal computers, version 9.1 edition. Ed. SAS Institute, Cary, NC. U S A.

Scherm, H. & Ojiambo, P. 2004. Applications of survival analysis in botanical epidemiology. Phytopathology, 94:1022 – 1026.

Taiz, L & Zeiger, E. 2003. Plant physiology. 3.ª Edition. Sinauer Associates. 623 p.

Tarone, R. & Ware, J. 1977. On distribution-free tests for equality of survival distributions. *Biometrika*, 64: 156 – 160.