UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

Efecto de los tratamientos pregerminativos, remojo en agua caliente y ultrasonido, sobre la germinación de semillas de *Ochorma Pyramidale* Cav. ex Lam

AUTOR(ES):

Freire Mesias Kerly Leandra

Arellano Reinoso Katheryn Gabriela

DOCENTE - TUTOR:

Arteaga Crespo Yasiel, PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

Efecto de los tratamientos pregerminativos, remojo en agua caliente y ultrasonido, sobre la germinación de semillas de *Ochorma Pyramidale* Cav. ex Lam .

Freire Mesias Kerly Leandra
for2017031@uea.edu.ec

Arellano Reinoso Katheryn Gabriela
for2017004@uea.edu.ec

Dr. Arteaga Crespo Yasiel, PhD
yarteaga@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Forestal

Resumen

La capacidad germinativa de *Ochorma Pyramidale Cav. ex Lam* es casi nula, por ello en el presente estudio se evaluó la germinación de semillas de esta especie aplicando dos tratamientos pregerminativos. A partir del software Design Expert versión 12.0, fueron realizadas diecinueve corridas experimentales, más un testigo para el tratamiento de remojo en agua caliente, considerando como variables independientes: temperatura (60-100 ºC), tiempo (8-24 hrs) y procedencia (P1-P2). Para el tratamiento ultrasónico se realizaron cuarenta y cuatro corridas experimentales, más un testigo, con las variables independientes: tiempo de sonificación (2-10 min), temperatura (30-100 ºC) como factores numéricos y potencia (alta-baja) como factor categórico. Las semillas una vez expuestas a los tratamientos pregerminativos fueron sembradas en cajas petri sobre algodón estéril humedecido con agua destilada y colocadas a temperatura ambiente para evaluar su germinación en el intervalo de 10 días por cada tratamiento. Se encontró un porcentaje de germinación de 90% en el tratamiento de remojo en agua caliente, con las condiciones de 83ºC por 8 horas con la procedencia P1. Sin embargo, en el tratamiento ultrasónico, empleando la procedencia P1 del primer ensayo, hubo una mayor germinación de 97% con las condiciones de 37ºC por 10 minutos con potencia alta. En comparación del testigo donde se obtuvo un porcentaje de 19%.

Palabras Claves: Tratamientos pregerminativos, latencia, balsa, ultrasonido.

Abstract

The germination capacity of *Ochorma pyramidale* Cav. ex Lam. is almost null, therefore, in the present study the germination of seeds of this species was evaluated by applying two pre-germination treatments. Nineteen experimental runs were carried out using Design Expert software version 12.0, plus a control for the hot water soaking treatment,

considering as independent variables: temperature (60-100 ºC), time (8-24 hrs) and origin (P1-P2). Forty-four experimental runs were carried out for the ultrasonic treatment, plus a control, with the independent variables: sonification time (2-10 min), temperature (30-100 ºC) as numerical factors and power (high/low) as a categorical factor. The seeds, once exposed to the pre-germinative treatments, were sown in petri dishes on sterile cotton moistened with distilled water and placed at room temperature to evaluate their germination in a 10-day interval for each treatment. A germination percentage of 90% was found in the hot water soaking treatment, with the conditions of 83ºC for 8 hours with the P1 origin. However, in the ultrasonic treatment, using the P1 origin of the first trial, there was a higher germination of 97% with the conditions of 37ºC for 10 minutes at high power. In comparison with the control, where a percentage of 19% was obtained.
Key words: Pregerminative treatments, dormancy, balsa, ultrasound.

1. INTRODUCCIÓN

Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) es una especie de crecimiento rápido, procedente de América. Se distribuye desde el sureste de México, Centroamérica, Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia y las Antillas hasta Brasil, debido a ello ha adquirido diversos nombres comunes, resaltando balsa, balso, corcho y pochote (Toledo-González et al., 2019). La madera de balsa tiene gran interés comercial. Al ser considerada la más ligera del mundo, es utilizada en la fabricación de piezas de aviones, juguetes y artesanías, siendo Ecuador el principal productor mundial de materia prima, sin embargo; esta especie no solo es valorada por ser la más cotizada dentro del mercado maderero; sino también porque ecológicamente es utilizada en reforestaciones de paisajes degradados (Toledo-González et al., 2019).

La capacidad germinativa de esta especie es casi nula, dado a la impermeabilidad de la cubierta y a la latencia interna del propio embrión de la semilla (Jiménez et al., 2017), por lo que aún en condiciones favorables es incapaz de germinar, generando así un déficit en la producción de plantas forestales de alta calidad, factor que depende de la germinación, iniciación radicular, formación radicular y parte aérea de la planta (Abanto-Rodriguez et al., 2016). A nivel de campo existe escasa documentación sobre plantaciones de balsa (Cañadas-López et al. 2016), no obstante; se han ejecutado estudios sobre sus características y su germinación, resaltando siempre el efecto de viabilidad de las semillas (Toledo-González et al., 2019). Los tratamientos pregerminativos mejoran la germinación, optimizan la calidad y cantidad de plantas (Amirnia & Ghiyasi, 2011). Es

por ello que, buscar un tratamiento pregerminativo adecuado para *O. pyramidale*, generará mejores rendimientos en la producción de plántulas y un aumento sustancial en su calidad (Jiménez et al., 2017).

El uso de ondas ultrasónicas es raro (Sharififar et al., 2015). Pese a que la sonicación se ha tratado a una amplia gama de semillas, no existe una literatura científica sobre la aplicación de ondas ultrasónicas para estimular la germinación de semillas de balsa (Amirnia & Ghiyasi, 2011). Las ondas ultrasónicas son eficaces en la germinación de semillas, sin embargo, depende de parámetros en su uso como: frecuencia de exposición, intensidad, potencia, tiempo y especie (Rinaldelli, 2000). El impacto de las ondas ultrasónicas rompe la latencia de las semillas, se considera que su efecto repercute primordialmente en la pared celular (Sharififar et al., 2015). El remojo en agua caliente consiste en sumergir las semillas durante un periodo de tiempo, a cierta temperatura, para suavizar el revestimiento duro (Camacho et al., 2018) y ayudar a la ruptura de la latencia (Abanto-Rodriguez et al., 2016). Este tratamiento frecuentemente ha sido objeto de múltiples estudios, aun así, no se ha hallado el tiempo y temperatura óptima para acelerar la germinación de *O. pyramidale.*

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de tratamientos pregerminativos: ultrasonido y agua caliente, sobre la germinación de semillas de *O. pyramidale*, en la Región Amazónica Puyo, Pastaza- Ecuador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo experimental debido a que sus variables independientes fueron manipuladas en el laboratorio (condiciones de ultrasonido y agua caliente). Los métodos utilizados fueron:

-Observación: En función a los tratamientos pregerminativos, se pudo observar la reacción de las semillas.

-Experimental: Debido a la aplicación de los tratamientos pregerminativos a diferentes condiciones: ultrasonido (potencia, tiempo, temperatura) y agua caliente (temperatura, tiempo, procedencia) a diferentes condiciones.

2.1 Sitio experimental

El experimento se realizó en el laboratorio de química ubicado en el campus central de la Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador (1° 27' 59.8" S; 77° 59' 51.6" W) en el año 2018.

2.2 Material biológico y condiciones experimentales

Las semillas de *O. pyramidale* se adquirieron de dos procedencias en la región amazónica (Ecuador). Las semillas se sumergieron en dos vasos precipitados de 250 ml, con el fin separar físicamente las semillas de buena calidad por efecto de decantación y flotación del material infértil (Jiménez et al., 2017).

Mediante el software Design Expert versión 12.0 (serial number 9847-9696-7992-6750, Stat-Ease Inc., 1300 Godward Strret North, Suite 6400 Minneanopolis, USA), se realizaron dos diseños sobre la metodología de superficie de respuesta (mínimo y máximo) de las variables independientes tales como: temperatura (60-100 ºC), tiempo (8-24 hrs) como factor numérico y procedencia (P1-P2) como factor categórico, con un total de 19 tratamientos, más un testigo, para el tratamiento de remojo en agua caliente, como se puede observar en la **Tabla 1**.

Por otro lado, para el tratamiento ultrasónico se empleó la procedencia óptima del primer ensayo (P1), resultando un total de 44 tratamientos, más un testigo, con las variables independientes tales como: tiempo de sonificación (2-10 min), temperatura (30-100 ºC) como factor numérico y potencia (alta-baja) como factor categórico **(Tabla 2).**

Tabla 1. Nivel de variables seleccionadas en el diseño factorial y superficie de respuesta metodológica para el tratamiento pregerminativo de remojo en agua caliente.

VARIABLES INDEPENDIENTES	Mínimo	Máximo
Tiempo de remojo (hrs)	8	24
Temperatura (° C)	30	100
Procedencia	(P1) Canelos	(P2) Coca

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Nivel de variables seleccionadas en el diseño factorial y superficie de respuesta metodológica para el tratamiento pregerminativo de ultrasonido.

VARIABLES INDEPENDIENTES	Mínimo	Máximo
Tiempo de Sonicación (min)	2	10
Temperatura (° C)	30	60
Potencia	Baja	Alta
Procedencia	(P1) Canelos	

Fuente: Elaboración propia

2.3 Aplicación del tratamiento de remojo en agua caliente

Los tratamientos pregerminativos de remojo en agua caliente se llevaron a cabo de acuerdo al diseño experimental **(Tabla 3).** Se empleo una plancha de calentamiento con control de temperatura (agitador de laboratorio magnético C-MAG HS 7), la temperatura fue controlada con la ayuda de un termómetro. Posteriormente el agua fue colocada en frascos donde se depositaron las 30 semillas seleccionadas, para permanecer en remojo hasta enfriar de acuerdo al tiempo establecido (**Figura 1**).

Figura 1. (A) Materiales, (B) Plancha de calentamiento con control de temperatura, (C) Remojo de los tratamientos en frascos de 30ml.

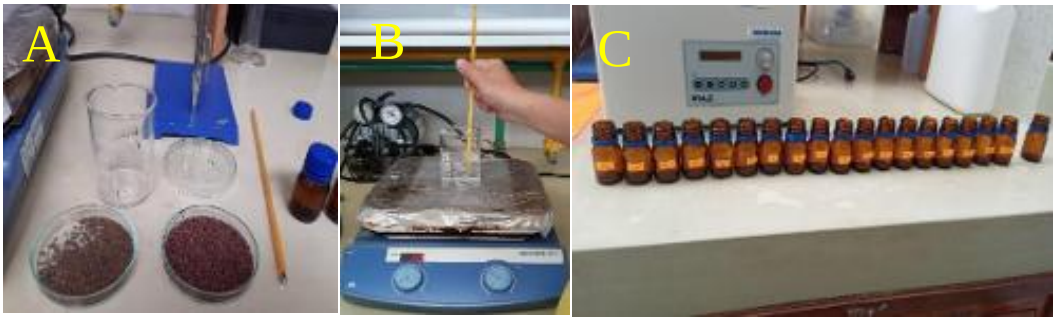


Tabla 3. Descripción de los tratamientos pregerminativos de remojo en agua caliente de la especie *O. pyramidale*

Corridas	Temperatura (ºC)	Tiempo (hrs)	Procedencia	Valor actual	Valor predicho
1	30	16	P2	18.89	20.40
2	65	8	P2	56.67	50.15
3	65	16	P1	75.56	80.71
4	100	8	P2	54.44	59.17
5	65	16	P1	78.89	80.71
6	65	24	P2	41.11	39.60
7	65	16	P1	81.11	80.71
8	100	16	P1	87.78	79.34
9	100	16	P2	51.11	50.25
10	30	16	P2	17.78	20.40
11	65	8	P2	50.00	50.15
12	100	24	P2	46.67	46.95
13	30	16	P1	70.00	68.60
14	65	24	P1	78.89	80.59
15	30	8	P1	73.33	73.50
16	100	8	P1	84.44	85.91
17	100	24	P1	75.56	78.39
18	65	24	P2	40.00	39.60
19	30	24	P1	72.22	69.32

Fuente: Elaboración propia

2.4 Aplicación del tratamiento ultrasónico

Se utilizaron 5,7 L de agua destilada para llenar el tanque. Con la ayuda de una malla se sumergieron 30 semillas para cada tratamiento **(Figura 2)**. La sonicación de cada tratamiento varió de acuerdo a las condiciones establecidas en el diseño **(Tabla 4)**

Figura 2: Baño ultrasónico



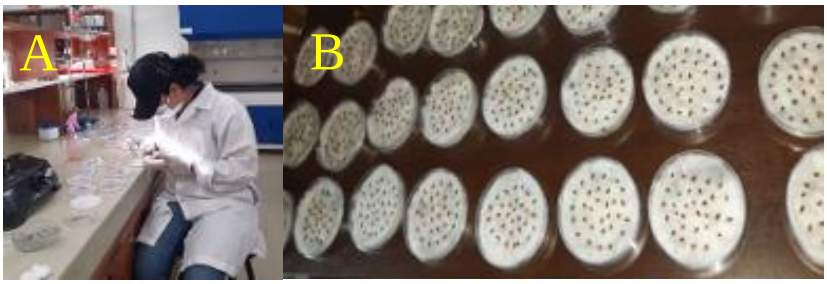
Tabla 4. Descripción de los tratamientos pregerminativos con ultrasonido de la especie *O. pyramidale*

Corridas	Temperatura (°C)	Tiempo (hrs)	Procedencia	Valor actual	Valor predicho
1	45	6	Baja	86.67	88.32
2	45	6	Baja	86.67	88.32
3	45	6	Baja	90.00	88.32
4	45	6	Alta	90.00	90.16
5	45	6	Alta	90.00	90.16
6	45	6	Alta	87.00	90.16
7	60	5,8666667	Baja	73.00	76.15
8	60	10	Alta	86.67	85.28
9	60	2	Alta	73.33	73.39
10	60	5,84	Baja	76.67	76.14
11	45	6	Baja	93.33	88.32
12	45	6	Baja	90.00	88.32
13	45	6	Baja	93.33	88.32
14	45	6	Alta	86.67	90.16
15	45	6	Alta	83.33	90.16
16	45	6	Alta	83.33	90.16
17	45	6	Alta	90.00	90.16
18	45	6	Alta	87.00	90.16
19	45	6	Alta	86.67	90.16
20	45	6	Baja	90.00	88.32
21	45	6	Baja	90.00	88.32
22	45	6	Baja	86.67	88.32
23	45	6	Baja	90.00	88.32
24	45	6	Baja	86.67	88.32
25	45	6	Baja	86.67	88.32
26	45	6	Alta	90.00	90.16
27	45	6	Alta	96.67	90.16
28	45	6	Alta	90.00	90.16
29	60	2	Alta	73.33	73.39
30	60	2	Baja	80.00	78.77
31	60	6,2	Alta	76.67	74.53
32	60	10	Baja	83.33	83.93
33	60	6,2	Alta	73.33	74.53
34	45	6	Alta	86.67	90.16
35	45	6	Alta	96.67	90.16
36	45	6	Alta	96.67	90.16
37	30	6,24	Baja	80.00	78.54
38	30	2	Baja	76.67	79.22
39	30	10	Baja	86.67	87.55
40	30	2,24	Alta	83.33	81.41
41	30	10	Alta	96.67	96.61
42	45	6	Baja	90.00	88.32
43	45	6	Baja	86.67	88.32
44	45	6	Baja	90.00	88.32

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, las semillas sometidas a los tratamientos pregerminativos (ultrasonido y remojo en agua caliente) fueron sembradas en cajas petri sobre algodón estéril humedecido con agua destilada para luego colocarlas a temperatura ambiente y evaluar su germinación, regando en el intervalo de 10 días, tiempo que duro el experimento (**Figura 3).**

Figura 3. (A) Siembra de semillas en cajas Petri, (B) Semillas a temperatura ambiente.



Se analizaron las variables significativas con el fin de elegir los niveles óptimos de las variables independientes. Los datos experimentales se ajustaron utilizando la siguiente ecuación polinomial de segundo orden.

$$y=\beta_0+\sum_{i=1}^{n}\beta_i x_i+\sum_{i=1}^{n}\beta_{ii}x_i^2+\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\beta_{ij}xixj$$

donde Y representa la respuesta predicha y β0, βii y βij son los coeficientes de regresión para términos medios, lineales, de interacción y cuadráticos, calculado en función de los resultados experimentales por mínimos cuadrados y xi y xj (Arteaga-Crespo et al., 2020). Asimismo, se aplicó el análisis ANOVA para evaluar la importancia de la influencia e interacciones de las variables independientes ($p < 0.05$) de los dos diseños.

2.5 Modelo de validación

La validez del diseño experimental se verificó mediante experimentos adicionales con tres repeticiones en el laboratorio, utilizando las condiciones predichas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Tratamiento pregerminativo de remojo en agua caliente

En la **tabla 3** se muestran los resultados experimentales y predichos para la construcción del modelo, resaltando un porcentaje de germinación de 87.78 %.
De los modelos predeterminados por el diseño **(Tabla 5)**, se encontró, que el que presentó un mejor ajuste para todas las variables fue el cuadrático con un R^2= 0.9549. El R^2 predicho de 0,9017 está razonablemente de acuerdo con el R^2 ajustado de 0,9549; es decir, la diferencia fue inferior a 0,2.

Tabla 5. Resumen de los modelos polinómicos analizados por el Desing Expert Software del efecto de temperatura, tiempo y procedencia sobre la germinación de *O. pyramidale.*

Fuente	Valor-p secuencial	Valor-p Falta de ajuste	Ajustado R^2	Predicho R^2	
Linear	< 0.0001	0.0125	0.8884	0.8431	
2FI	0.1004	0.0202	0.9155	0.8480	
Cuadrático	0.0174	0.0717	0.9549	0.9017	Sugerido
Cúbico	0.0717		0.9825		Alias

Fuente: Software Design Expert

Su relación de 21,178 indica una señal adecuada.

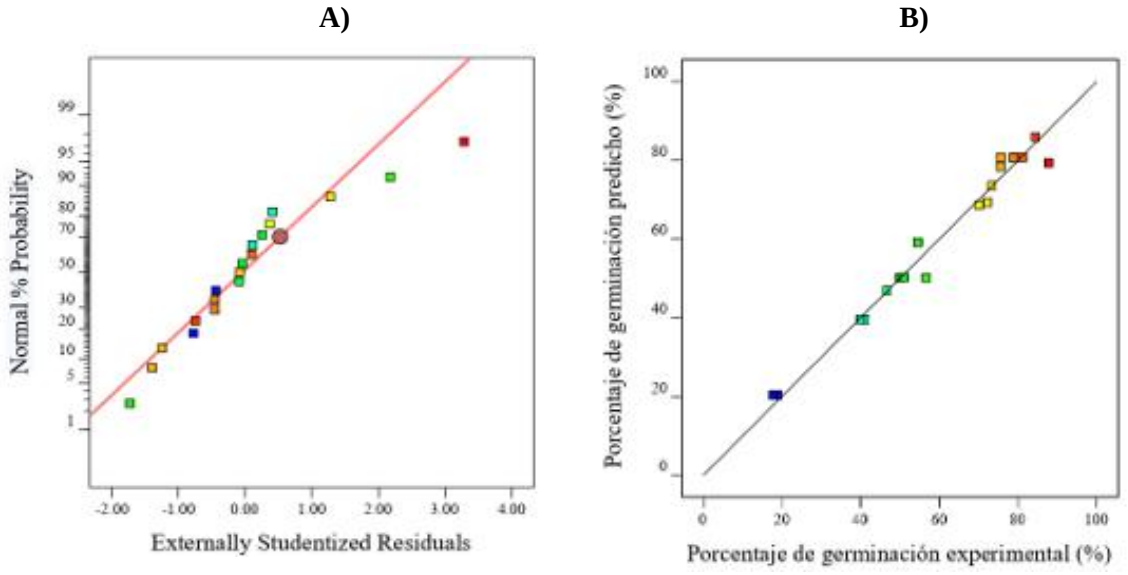
Tabla 6. Estadística del ajuste

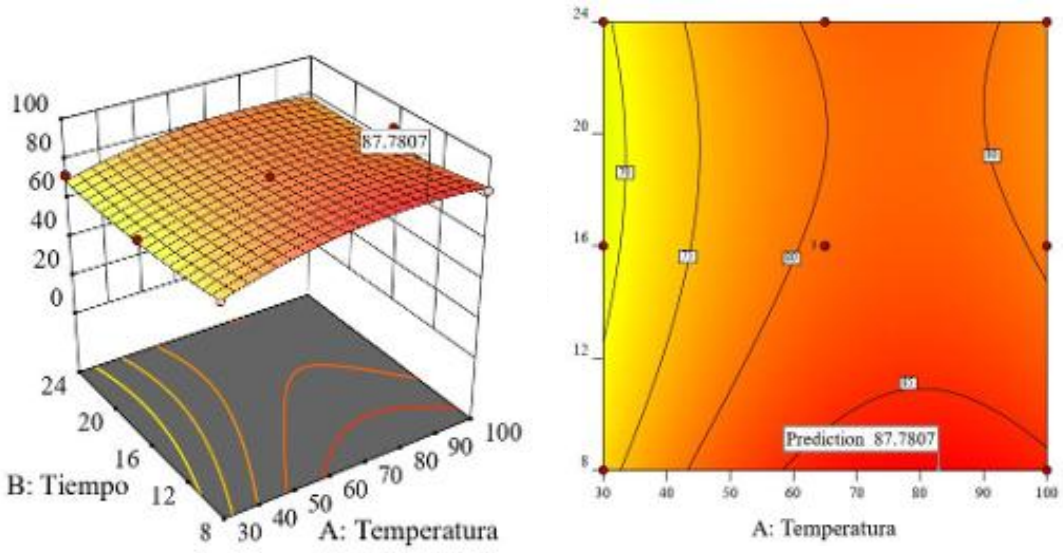
Desarrollo estándar	**4.49**	**R^2**	**0.9749**
Media	60.76	Ajustable R^2	0.9549
C.V. %	7.40	Predicho R^2	0.9017
		Precisión adecuada	21.1781

Fuente: Software Design Expert

En la **figura 4 (A)** se puede observar los valores predichos y experimentales para la germinación de *O. pyramidale*, sembradas en cajas Petri a los 10 días. La distribución de puntos corroboró la capacidad del modelo para cubrir todo el intervalo experimental. Los valores de R^2 y Adj. R^2 de las líneas de regresión se aproximan a uno, lo que indica una muy buena correspondencia entre los valores experimentales y predichos del modelo en los datos experimentales. En la **figura 4 (B)** se constata que los datos experimentales cumplieron el supuesto de distribución normal.

Figura 4. Valores experimentales versus predichos por Optimal (Custom) desing: (A) temperatura, tiempo y procedencia; (B) Distribución normal de los datos experimentales.





También, de acuerdo con los resultados de la **tabla 7**, se puede confirmar que las variables tales como: temperatura, tiempo y procedencia (A, B, C, AC, A^2) son significativos en el proceso de Germinación de semillas de *O. pyramidale* (p-0.05).

Tabla 7. Anova de modelo cuadrático en respuesta de la germinación.

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado Medio	Valor - F	Valor - P	
Modelo	7854.93	8	981.87	48.61	< 0.0001	Significativo
A-Temperatura	1049.10	1	1049.10	51.94	< 0.0001	
B-Tiempo	169.55	1	169.55	8.39	0.0159	
C-Procedencia	6740.57	1	6740.57	333.71	< 0.0001	
AB	3.70	1	3.70	0.1834	0.6776	
AC	232.43	1	232.43	11.51	0.0069	
BC	13.93	1	13.93	0.6896	0.4257	
A^2	203.09	1	203.09	10.05	0.0100	
B^2	32.03	1	32.03	1.59	0.2365	
Residual	201.99	10	20.20			
Falta de ajuste	162.90	5	32.58	4.17	0.0717	No significativo
Error Puro	39.09	5	7.82			
Cor Total	8056.92	18				

Fuente: Software Design Expert

El software generó ecuaciones polinómicas de segundo orden para el porcentaje de germinación. Estos modelos permitieron encontrar la relación entre la temperatura, tiempo, procedencia y la respuesta predicha: porcentaje de germinación de procedencia uno (Ecuación 2) y porcentaje de germinación de procedencia dos (Ecuación 3).

Germinación = Procedencia P1 +61.49436 +0.916327 A-1.57838 B-0.002976 A * B-0.005502 A^2+0.043939 B^2

Germinación = Procedencia P2 +9.81462+1.18922 A-1.87232 B-0.002976 A*B-0.005502 A^2+0.043939 B^2

Según los modelos, las condiciones óptimas para el 87,78 % de semillas germinadas

fueron: temperatura (83ºC), tiempo (8hrs) y procedencia (P1). Estas condiciones se validaron experimentalmente, obteniéndose el 90%.

3.2 Tratamiento pregerminativo ultrasónico

En la **tabla 4** se muestran los resultados experimentales y los predichos para la construcción del modelo. Se encontró una germinación de 96,67 %

Del modelo predeterminado por el diseño **(Tabla 8),** el que presentó un mejor ajuste para la germinación fue el cuadrático con un R^2= 0.8285 que los términos del modelo son significativos.

Tabla 8. Estadísticas de ajuste

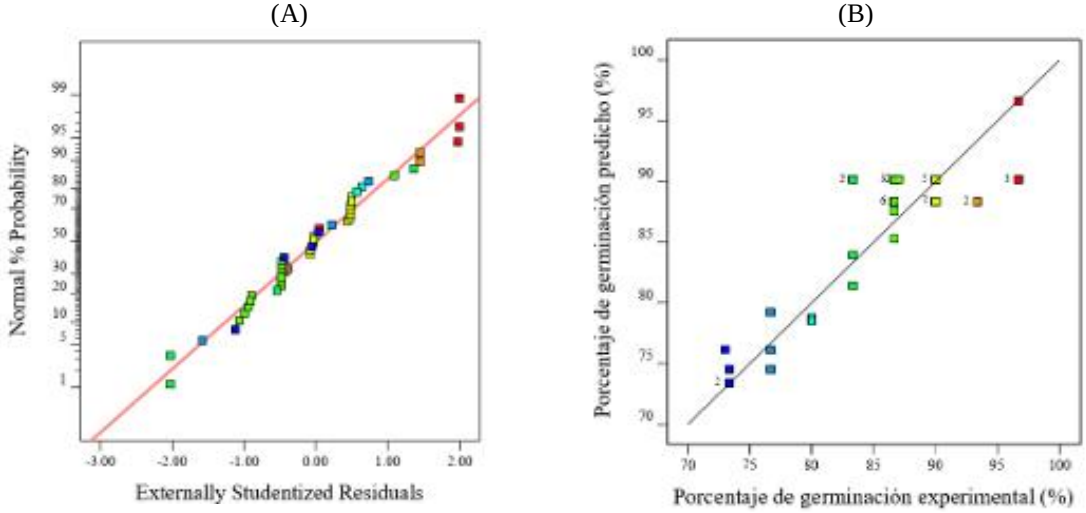
Desarrollo estándar	3.49	R^2	0.8285
Mean	86.30	Ajustable R^2	0.7765
C.V. %	4.04		

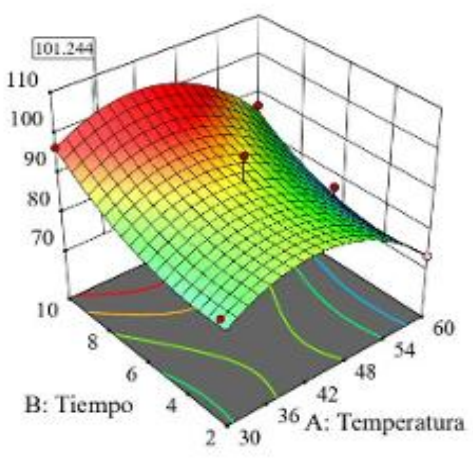
Fuente: Software Design Expert

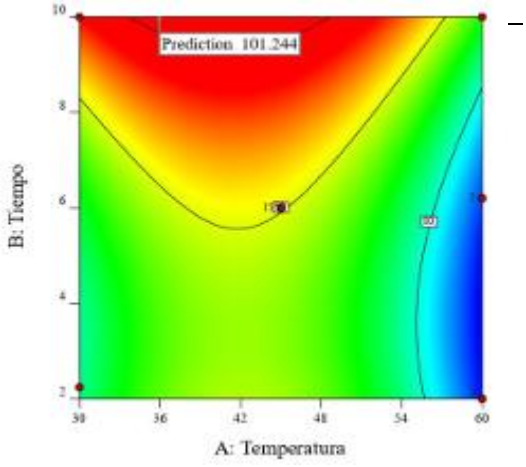
En la **figura 5 (A)** se puede observar los valores predichos y experimentales para la germinación de *O. pyramidale*, cultivada en cajas petri a los 10 días. La distribución de puntos corroboró la capacidad del modelo para cubrir todo el intervalo experimental. Los valores de R^2 y Adj. R^2 de las líneas de regresión se aproximan a uno lo que indicó una muy buena correspondencia entre los valores experimentales y predichos del modelo en los datos experimentales. En la **figura 5 (B)** se constata que los datos experimentales cumplieron el supuesto de distribución normal.

Figura 5. Valores experimentales versus predichos por Optimal (Custom) desing: (A) temperatura, tiempo, temperatura y potencia; (B) Distribución normal de los datos experimentales.

(A) (B)







Los resultados de la **tabla 9** muestran que las variables: temperatura y tiempo (B, aC, a², B²) son significativos son significativos en el proceso de germinación de semillas de *O. pyramidale* (p-0.05).

Tabla 9. Análisis REML (Máxima ve rosimilitud restringida)

Fuente	Termino df	Error df	Valor-F	Valor -P	
Parcela completa	2	9.34	21.10	0.0003	Significativo
a-Temperatura	1	7.09	3.56	0.1008	
a²	1	13.54	28.64	0.0001	
Subtrama	6	27.21	8.87	< 0.0001	Significativo
B-Tiempo	1	24.71	29.73	< 0.0001	
C-Potencia	1	29.62	2.20	0.1484	
aB	1	24.71	0.7253	0.4026	
aC	1	25.95	6.39	0.0179	
BC	1	24.75	3.29	0.0819	
B²	1	25.17	10.13	0.0039	

Fuente: Software Design Expert

El software generó ecuaciones polinómicas de segundo orden para el porcentaje de germinación. Estos modelos permitieron encontrar la relación entre la temperatura, tiempo, potencia y la respuesta predicha: porcentaje de germinación de potencia baja (Ecuación 4) y porcentaje de germinación potencia alta (Ecuación 5).

Germinación = Potencia Baja -5.90939+4.49671 Temp-2.50770 B -0.013620 Temp * B-0.049836 TemP² + 0.330380B²

Germinación = Potencia Alta +1.04062+4.25639 Temp -1.68069 B-0.013620 Temp* B-0.049836 Temp²+0.330380 B²

Según los modelos, las condiciones óptimas para el 100% de semillas germinadas fueron: temperatura (37ºC), tiempo (10min) y potencia (alta). Estas condiciones se validaron experimentalmente, obteniéndose el 97%.

Con relación a los resultados obtenidos para *O. pyramidale* en la variable evaluada (germinación), Jiménez et al. (2017) realizaron un estudio aplicando siete tratamientos pregerminativos, reportando como eficaz el lijado de semillas con un 20,85%, seguido

del remojo en agua durante 15 segundos a 100 ° C con un 19,14 %, esto indica que las condiciones del agua caliente no causan la ruptura de la testa en la balsa. En otro estudio similar Toledo-González et al. (2019) concluyen que la germinación del género *Ochroma* está influida por tratamientos en agua caliente, obteniendo un 64% (ebullición a 3s) y 59% (Ebullición 3s + Remojo24h). Asimismo Rios Geovo et al. (2020) sometieron semillas de balsa en agua caliente a 80°C hasta enfriar, donde obtuvieron un 59% de germinación.

En comparación con los mejores resultados obtenidos, el tratamiento de remojo en agua caliente demostró un incremento de 40 % en la germinación de *O. Pyramidale*, con inmersión en agua a 83ºC, durante 8 horas de remojo, con la procedencia P1.

En cambio, el tratamiento ultrasónico obtuvo un mayor porcentaje de germinación (97%) con las siguientes condiciones: temperatura (37°C), tiempo (10 min) y potencia (alta).

Estudios con la aplicación de ondas ultrasónicas en semillas forestales no se encuentran reportados en la literatura, sin embargo, Sharififar et al. (2015) resaltan el efecto de ondas ultrasónicas durante 1, 3, 5, 7 y 9 min en la germinación de semillas de *Atriplex lentiformis, Cuminum cyminum y Zygophyllum eurypterum*, donde el porcentaje de germinación reveló un efecto significativo ante las exposiciones de ondas ultrasónicas. Esto se debe a que las ondas ultrasónicas rompen la latencia de las semillas, ocasionando un impacto positivo sobre la germinación.

Amirnia & Ghiyasi (2011) encontró el efecto máximo para el tratamiento ultrasónico con una frecuencia de 22 KHz y una potencia de 150 W sobre la energía germinativa y la germinación de semillas de zanahoria (*Daucus carota* L.) dentro del tratamiento de cinco minutos de duración, mientras que las semillas *Caragana arborescence, Gleditsia triacanthos, Laburnum anagyroides* y *Robinia pseudo acacia* mostraron un aumento de la germinación de semillas, peso fresco y longitud de los brotes.

Por otro lado, se realizaron estudios sobre el comportamiento de germinación de semillas de sésamo, a través de un baño ultrasónico, variando dos factores, la duración del tratamiento (10, 20 y 30 min), la temperatura de germinación (15, 20 y 25 °C) y frecuencia (20 kHz) como valor constante, obteniendo un máximo de 22% de germinación, con una temperatura subóptima de 15ºC a 20 minutos (Shekari et al., 2015).

4. CONCLUSIONES

En el presente estudio se encontró que tanto el tratamiento de remojo en agua caliente, como el tratamiento ultrasónico lograron un incremento en los porcentajes de germinación de la especie *O. Pyramidale*. El 90% de germinación se obtuvo a través de la aplicación del tratamiento de remojo en agua caliente, con las condiciones, tiempo de 8 hrs y temperatura de 83 ºC. Mientras, el mayor porcentaje lo generó el tratamiento ultrasónico, con un 97% de semillas germinadas a través de las condiciones, temperatura de 37ºC, durante 10 min, con la procedencia P1. En comparación del testigo que mostró un 19% siendo este no favorable dentro de la germinación de semillas de balsa. Por último, también se puede corroborar que la procedencia (P1) de las semillas inciden en la obtención de resultados favorables por sus propias características mismas.

5. REFERENCIAS

Abanto-Rodriguez, C., García-Soria, D., Guerra-Árevalo, W., Murga-Orrillo, H., Saldaña-Ríos, G., Vázquez-Reátegui, D., & Tadashi-Sakazaki, R. (2016). Sustratos orgánicos en la producción de plantas de Calycophyllum spruceanum (Benth.). *Scientia Agropecuaria*, *7*(3), 341–347. https://doi.org/10.17268/Sci.agropecu.2016.03.23

Amirnia, R., & Ghiyasi, M. (2011). Use of ultrasonic treatments for germination stimulation of alfalfa Crop Physiology and Breeding Program View project Karyological Study on Urmia Ecotype of Moldavian Balm (Dracocephalum moladavica L.) View project. https://www.researchgate.net/publication/315823841

Arteaga-Crespo, Y., Radice, M., Bravo-Sanchez, L. R., García-Quintana, Y., & Scalvenzi, L. (2020). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic antioxidants from Ilex guayusa Loes. leaves using response surface methodology. *Heliyon*, *6*(1), e03043. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2019.E03043

Borrega, M., & Gibson, L. J. (2015). Mechanics of balsa (Ochroma pyramidale) wood. Mechanics of Materials, 84, 75–90. https://doi.org/10.1016/J.Mechmat.2015.01.014

Camacho, R. M., Bueno, M. O., Cespedes, D. G., Cordova, P. M., & Reasco, W. L. (2018). Aceleración de la germinación de semillas de balsa (Ochroma pyramidale) por medio de métodos físicos y biológicos. *UTCiencia "Ciencia y Tecnología Al Servicio Del Pueblo,"* *5*(3), 207–213. http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/view/272

Cañadas López Alvaro, Rade Loor Diana, Fernández Cevallos Galo, Dominguez Andrade Juan, Murillo Hernandez Isabel, Molina Idrovo Carlos, Q. C. H. (2016). *Ecuaciones generales diámetro-altura para Ochroma pyramidale, región costa-ecuador. Bosque Seco View project Diversidad del Bosque Seco View project*. Retrieved July 15, 2021, from www.bosqueslatitudcero.com

Gordon, A. G. (1963). The use of ultrasound in agriculture. *Ultrasonics*, *1*(2), 70–77.

https://doi.org/10.1016/0041-624X(63)90057-X

Jiménez, E., Garcías, L., Carranza, M., Carranza, H., Morante, J., Martínez, M., & Cuásquer, J. (2017). Germination and growth of Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb. in Ecuador. *Scientia Agropecuaria*, *8*(3), 243–250. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.07

Palacios , W. (2016). Árboles del Ecuador Familias y Géneros. Ibarra, Ecuador: Ibarra - Ecuador.

Rinaldelli, E. (2000). Effect of ultrasonic waves on seed germination of Capparis spinosa L. as related to exposure time, temperature, and gibberellic acid. *Effect of Ultrasonic Waves on Seed Germination of Capparis Spinosa L. as Related to Exposure Time, Temperature, and Gibberellic Acid*, *14*(4), 1000–1007. https://doi.org/10.1400/14062

Rios Geovo, V., Córdoba-Tovar, L., Ramírez Mosquera, P. L., Copete Arroyo, J. H., & Ramos Barón, P. A. (2020). Methods of chemical scarification and their effects on the germination of seeds of (Ochroma pyramidale Cav. ex Lam. Urb). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental; Vol. 12 No. 1 (2021); 165 - 177*, *12*(1), 165–177. https://doi.org/10.22490/21456453.3727

Sharififar, A., Nazari, M., & Asghari, H. R. (2015). Effect of ultrasonic waves on seed germination of Atriplex lentiformis, Cuminum cyminum, and Zygophyllum eurypterum. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *2*(3), 102–104. https://doi.org/10.1016/J.JARMAP.2015.05.003

Shekari, F., Mustafavi, S. H., & Abbasi, A. (2015). Sonication of seeds increase germination performance of sesame under low temperature stress. *Acta Agriculturae Slovenica*, *105*(2), 203–212. https://doi.org/10.14720/AAS.2015.105.2.03

Toledo-González, K. A., Levy-Tacher, S. I., Macario-Mendoza, P. A., Nova-Vázquez, J. A. de, Toledo-González, K. A., Levy-Tacher, S. I., Macario-Mendoza, P. A., & Nova-Vázquez, J. A. de. (2019). Germination of two varieties of Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb. from the Lacandon Jungle, Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *25*(1), 85–94. https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2018.06.046

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *87*(3), 559–902. https://doi.org/10.1016/J.RMB.2016.06.017

6. ANEXOS

6.1 Marco teórico

Las semillas de *O. Pyramidale* son ortodoxas y constan de latencia física, es decir poseen una cubierta dura que dificulta la aceleración de su germinación (Rios Geovo et al., 2020), por lo que aun en condiciones favorables, son incapaces de germinar. Sin embargo, cuando lo hacen pueden sobrevivir en condiciones desfavorables, esto ha inducido a que exista siempre una variación en la velocidad y porcentaje de germinación, entre semillas producidas bajo condiciones de vivero y en su medio natural (Toledo-González et al. 2019).

O. pyramidale es una especie de la cual se han ejecutado diversos estudios en lugares como: Antioquia, Bolivia, Costa Rica, Ecuador, Mesoamerica, Nicaragua, Panamá y Perú, debido a su importancia comercial y ecológica, ya que no solo es apetecible en el mercado que requieren materiales livianos con buen rendimiento mecánico para la fabricación de piezas de aviones, juguetes y artesanías (Cañadas-López et al. 2016), sino también porque es utilizada parar restaurar paisajes degradados (Toledo-González et al. 2019).

Debido a su rápido crecimiento, su madera es cosechada en su mayoría de plantaciones forestales, cuando alcanza aproximadamente 20 m de altura y 75 cm de diámetro (madurez que llega entre los 5 a 8 años). La densidad de *O. Pyramidale* oscila entre 100 y 250 kg / m3, aunque puede variar entre 60 a 380 kg / m3), su estructura celular está compuesta de fibras (66-76%), rayos (20-25%) y buques (3-9%) (Borrega y Gibson 2015).

6.1.1 Descripción Botánica

Según Villaseñor (2016) se presenta la siguiente clasificación taxonómica: Reino: Plantae, división: Magnoliophyta, clase: Magnoliopsida, orden: Malvales, familia: Malvaceae, género: *Ochroma*, especie: pyramidale. Nombre científico: O*chroma Pyramidale* (Cavanilles ex lamarck).

Palacios (2016), describe las características principales de la especie *O. pyramidale*

-Árbol hasta 30 m de altura y 1 m de DAP.

-Raíces tablares pequeñas; corteza externa lisa y grisácea; corteza interna fibrosa, rosada, aproximadamente de 2cm de grosor.

-Copa aparasolada más o menos estratificada.

-Hojas alternas, helicoidales, 20–40 x 15–30 cm, trilobadas, densamente pardo-estrelladas por el envés, agudas, base subcorbada; peciolo 8-25 cm de largo; nervación basal, 7–9 nervios principales desde la base de la lámina; dos estípulas ovadas por pecíolo.

-Flores solitarias, axilares; cáliz acampanulado, 6–8 cm de largo, pardo; pétalos 8 – 12 cm de largo, obovados, recurvados, blancos y carnosos.

-Fruto, una cápsula cilíndrica de 16 – 24 x 2 – 4 cm, parda, dehiscente por 5 valvas semileñosas.

-Semillas pardas, 2.5 – 4mm de largo, oblonga – elípticas cubiertas con fibra parda – oscura.

-Hábitat: bosques húmedos y pluviestacionales hasta secos, 0- 15000 msnm, rara vez hasta 2 000 m de altitud.

-Es una típica especie heliófila, colonizadora de claros del bosque, caminos o áreas de cultivo abandonadas. Florece y fructifica la mayor parte del año, pero florece mayormente entre diciembre a marzo y fructifica en junio. La lana que cubre las semillas facilita su dispersión por el viento. (p.388)

6.1.2 Tipos tratamientos Pre-Germinativos

Por lo general, el proceso de germinación de *O. Pyramidale* se ve perjudicado por dos tipos de factores:

-Extrínsecos: agua, gases, temperatura y luz.

-Intrínsecos: embriones fisiológicamente inmaduros, inhibidores, presencia de tegumentos duros; viabilidad de las semillas, tipo de semilla y su fisiología vegetal (Jiménez et al. 2017).

La germinación de las semillas de *O. Pyramidale* se puede dar por métodos físicos, químicos y biológicos. A continuación, se describen tratamientos pregerminativos que favorecen su germinación:

6.1.2.1 Métodos físicos

Tratamiento Ultrasónico:

La aplicación del ultrasonido es una ciencia relativamente nueva, sobre todo en la germinación. La influencia imbicional del ultrasonido estima que una de las causas de la

germinación de las semillas, es la mayor cantidad de agua que absorben estas al estar expuestas a radiaciones ultrasónicas, tan pronto como el agua se encuentra en las células básicas, el metabolismo trabaja mucho más rápido, en comparación a células que no están sujetas a este tratamiento (Gordon, 1963).

En un estudio para la obtención de las condiciones térmicas uniformes durante el tratamiento ultrasónico se ha instalado un control de temperatura en el sistema, este fue necesario por las siguientes razones: i) las ondas ultrasónicas calientan el agua, variando así las condiciones térmicas de la prueba; ii) es posible con la termorregulación verificar los efectos del ultrasonido a diferentes temperaturas del tejido (Rinaldelli, 2000).

El ultrasonido incluye la aplicación de frecuencia de audio dentro del alcance no auditivo (20-100 kHz) para interactuar con los materiales. Su aplicación podría cambiar el estado de los materiales e incluso acelerar la respuesta. Esta tecnología es única entre los métodos actuales de pretratamiento de semillas porque es simple, económica, ecológica y multifuncional (Shekari et al., 2015). Un transductor ultrasónico (potencia 10 W - cm2) puede vibrar a la misma frecuencia que el oscilador (1700 kHz), y generar ondas ultrasónicas, las cuales, transmitidas a través del agua, las ondas mueven las semillas, manteniéndolas en suspensión y evitar que caigan al fondo de la cámara (Rinaldelli, 2000).

Tratamiento raspado de semilla: Este tratamiento se basa en realizar una incisión o un pequeño orificio en la cubierta de cada semilla en la zona del hilo y el micrópilo antes de sembrarla, con su aplicación se obtiene una aceleración en su germinación de un 11,11 % (Camacho et al. 2018).

Tratamiento lijado de semillas: Consiste de someter un papel lija sobre las semillas hasta que estas pierdan su brillo natural, ayudando en su germinación con un 20,85% (Jiménez et al. 2017).

6.2.2.2 Métodos químicos

Tratamiento de NaClO al 0,5%: Este tratamiento consiste en remojar las semillas en hipoclorito de sodio (NaClO) al 0,5% durante 15 minutos, para después verter sobre un colador de malla de alambre y lavar con agua hasta que el olor a cloro desaparezca. Al finalizar, se dejan en remojo con agua expuestas a temperatura ambiente durante dos días. Obteniendo un 43% de germinación después de su aplicación (Rios Geovo et al., 2020).

Tratamiento de NaClO al 1,0% y al 2,0%: Estos tratamientos pregerminativos son

aplicado bajo el mismo procedimiento anterior, con la diferencia de concentración NaClO al 1,0% por 15 min y NaClO al 2,0% por 15 min, sus resultados alcanzan un 28% y 27 % respectivamente (Rios Geovo et al., 2020)**.**

Tratamiento de HCl al 1%: Para este tratamiento las semillas se remojan en ácido clorhídrico HCl al 1% durante 1 minuto, generando una aceleración en la germinación de 35% (Rios Geovo et al., 2020).

6.1.2.3 Métodos biológicos

Tratamiento de agua de coco: Su aplicación consiste en sumergir las semillas en agua de coco, previo a que estas hayan sido inmersas en agua hervida. Ya que, al aplicar únicamente el remojo, las semillas no absorberán las citoquininas de manera eficaz, debido a la impermeabilidad de la cubierta de la semilla del género *Ochroma* (porcentaje de germinación solo con remojo 20,51%), en cambio al aplicar los tratamientos: Ebullición (3 s y 10 s) y remojo en agua de coco (24 h), se obtiene resultados favorables en un 64% y 38% respectivamente (Toledo-González et al. 2019).

Tratamiento remojo de semilla: Este tratamiento se basa en remojar las semillas durante un periodo de 6 horas, mismo que provoca dos efectos en las especies que sea han aplicado: suaviza el revestimiento duro y elimina los inhibidores químicos por medio de lixiviación, no obstante, este tratamiento genera un porcentaje bajo de germinación (4,44%) (Camacho et al. 2018).

Tratamiento inmersión en agua hervida: La germinación de las semillas del género *Ochroma* inciden a altas temperaturas por su adaptabilidad a zonas de fuego en donde se han desarrollado. El tratamiento consiste en sumergir las semillas durante 3min en agua hervida (80°C), influyendo un 68 % en la ruptura de la latencia de las semillas (Toledo-González et al. 2019).

Tratamiento de agua caliente a 80°C: Consiste en someter las semillas en agua a 80°C hasta enfriar, para después dejarlas en remojo a temperatura ambiente durante dos días, cambiándole el agua frecuentemente. La aplicación de este tratamiento incide en la germinación de semillas de *O. Pyramidale* en un 59% (Rios Geovo et al., 2020).