

EFECTO DEL BLOQUEO ALIMENTICIO COMO MÉTODO DE CONTROL DE *HYPSSIPYLA GRANDELLA ZELLER* EN PLANTACIONES DE MELIÁCEAS

Aparicio Limache Alonzo ¹, Isaías Alberto Salinas, Walter Lauro Pérez Terrel, Guillermo Augusto Pastor Picón, Rosa Eva Arenales López, Lenin Vladimir Vargas Villa
Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú

ABSTRACT

In the Peruvian tropics, red cedar and mahogany are two forest species highly valued by foresters for reforestation projects. However, both species face a common enemy: the caterpillar or larva of *Hypsipyla grandella* Zeller, which feeds on the pith of the stem. Despite the efforts made, forestry scientists have not yet found an effective method to control this pest, resulting in severe and inevitable damage to cedar and mahogany plantations. In this context, the research was resumed, proposing the evaluation of food blocking as a method of controlling the caterpillar. To do this, one, two and three pins placed in the cross section of the stem were used, forming a barrier to stop the advance of the caterpillar. These pins were placed every two, four and six months. The evaluations showed that blocking with three pins is the most effective in stopping the advance of the caterpillar, while the frequency of placement did not have a significant impact on the control of the pest. Some collected data were represented in contingency tables and the Pearson's test was applied. The Chi-square test was applied to other data. The main goal is to determine which treatment is the statistically most effective enough. Finally, we obtained a polynomial which maps the distance between pins and the effectiveness with the support of the Lagrange polynomials of interpolation, we calculated this way approximately the maximal distance which maximizes the effectiveness of the treatment.

KEYWORDS: Food blockage, control of the pest, contingency table, C Pearson's coefficient, Lagrange polynomial interpolation.

MSC: 62P10, 62P12, 65D05.

RESUMEN

En el trópico peruano, el cedro colorado y la caoba son dos especies forestales altamente valoradas por los silvicultores para proyectos de reforestación. Sin embargo, ambas especies enfrentan un enemigo común: la oruga o larva de la *Hypsipyla grandella* Zeller, que se alimenta de la médula del tallo. A pesar de los esfuerzos realizados, los científicos forestales aún no han encontrado un método eficaz para controlar esta plaga, lo que resulta en daños graves e inevitables a las plantaciones de cedro y caoba. En este contexto, se retomó la investigación proponiendo la evaluación del bloqueo alimenticio como método de control de la oruga. Para ello, se utilizaron uno, dos y tres alfileres colocados en la sección transversal del tallo, formando una barrera para detener el avance de la oruga. Estos alfileres fueron colocados cada dos, cuatro y seis meses. Las evaluaciones demostraron que el bloqueo con tres alfileres es el más eficaz para detener el avance de la oruga, mientras que la frecuencia de colocación no tuvo un impacto significativo en el control de la plaga. Algunos datos recopilados se ubicaron en tablas de contingencia y se les aplicó el test de independencia de Pearson. A otros datos se les aplicó la prueba Chi-cuadrado. El objetivo principal es determinar estadísticamente cuál tratamiento es significativamente más efectivo. Finalmente se obtuvo un polinomio que relaciona la distancia entre los alfileres y la efectividad con ayuda de polinomios de interpolación de Lagrange, de esta manera se calculó aproximadamente la distancia máxima que maximiza la efectividad del tratamiento.

PALABRAS CLAVES: Bloqueo alimenticio, control de plagas, tabla de contingencia, Coeficiente C de Pearson, polinomios de interpolación de Lagrange.

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación del bloqueo alimenticio de la oruga mediante alfileres colocados en el tallo en diferentes momentos es una técnica innovadora que crea una barrera en la médula de la plántula. Esta barrera impide el avance de la oruga hacia la base, provocando su muerte prematura o una metamorfosis obligada a pupa debido a la falta de alimento. Aunque no se evita el ataque inicial, se altera el progreso de la oruga, lo que es beneficioso para la plántula. Es crucial determinar el intervalo adecuado entre las aplicaciones de los alfileres.

El control de esta plaga es vital, ya que tanto el cedro como la caoba son especies de gran importancia socioeconómica. No obstante, la oruga o larva de *Hypsipyla grandella* constituye un obstáculo significativo para los proyectos de reforestación masiva y sostenida. Controlar esta plaga es esencial para implementar acciones de

Email: aparicio_limache@unu.edu.pe

replamamiento a gran escala. Según la séptima disposición transitoria de la Ley N° 27308 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre, promulgada el 15 de julio del año 2000, ambas especies están bajo una veda indefinida.

En este contexto, la pregunta común de la población es sobre las razones que limitan la reforestación del cedro y la caoba. Algunos investigadores han identificado a la oruga de *Hypsipyla grandella* Zeller como la principal causa de esta limitación, debido a su ataque que induce al abandono de plantaciones por la formación excesiva de ramas, malformación de fustes y, en el peor de los casos, la muerte de las plántulas.

La *Hypsipyla grandella* se describe como una plaga económica importante que ha sido objeto de numerosas investigaciones en países tropicales. Las infestaciones de *Hypsipyla* han tenido resultados desastrosos en países como Puerto Rico y Perú. La polilla adulta vive de 5 a 8 días y deposita de 3 a 4 huevos por árbol, prefiriendo el tallo principal, brotes y hojas de los árboles en fase de crecimiento, con una polilla poniendo entre 200 y 450 huevos.

Se han realizado numerosos ensayos de control sin éxito. Al comparar los métodos de micro inyección y aspersión, no se encuentran diferencias significativas con respecto al control. No se ha tenido éxito aplicando resina de peñón blanco (*Jatropha curcas*) en el control de la polilla barrenadora en plantaciones de caoba. Tampoco se ha logrado éxito con extracto crudo de hoja de ruda común (*Ruta chalepensis* L.). Sin embargo, se han reportado resultados aceptables utilizando el insecticida orgánico *Lubiquim*.

Es importante considerar las futuras implicancias del uso de alfileres para la madera, ya que el alambre oxidado podría causar enfermedades o anomalías. También se debe analizar la ventaja del control de los daños que causa la plaga en el cedro y la caoba. Hasta la fecha, no se ha identificado un método recomendable para este propósito. Identificar un método efectivo de control sería un logro significativo para la academia y adoptado por los usuarios. Este es el objetivo del estudio.

El estudio comenzó con una lluvia de ideas que derivó en numerosas preguntas, de las cuales se seleccionaron dos principales: ¿Cuál es el efecto del bloqueo alimenticio con alfileres como medio de control de *Hypsipyla grandella*? y ¿Cada cuánto tiempo se deben colocar los alfileres? Los objetivos fueron determinar el efecto del bloqueo alimenticio como medio de control y establecer el intervalo de colocación de los alfileres.

Los datos recopilados en el terreno se representaron con ayuda de tablas de contingencia bidimensionales [4][10][11][14][20]. Una tabla de contingencia bidimensional contiene por filas y por columnas, los tipos de casos posibles del par de variables que se miden representados en forma cualitativa o cuantitativa. Cada celda de la tabla contiene el número de casos recopilados que satisfacen el tipo representado por fila para una variable y por columna para la otra variable.

Para la prueba principal se realizó un muestreo aleatorio estratificado separando en dos clases los objetos de estudio, dependiendo de la especie de árbol, si es un cedro colorado o caoba. El estudio se realizó en base a una prueba estadística de Pearson de independencia, que se basa en la distribución Chi-cuadrado [7][8]. También se aplicó la prueba Chi-cuadrado [6][19][22]. El objetivo es determinar cuál tratamiento es estadísticamente más efectivo.

Adicionalmente, a partir de algunos datos recopilados se obtuvo un polinomio de interpolación de Lagrange que relaciona la distancia entre alfileres con la efectividad del tratamiento de acuerdo al número de orugas que no se desarrollan [2][15][18]. De esta manera se obtuvo una aproximación de la distancia máxima entre alfileres en centímetros, de manera tal que el tratamiento es efectivo.

El presente artículo se divide en una sección de Materiales y Métodos donde se explican los procedimientos para llevar a cabo el experimento, se explican las nociones básicas del test de Pearson, el test de Chi-cuadrado, el muestreo aleatorio estratificado y además el método numérico de los polinomios de interpolación de Lagrange. La siguiente sección de Resultados contiene los pormenores de los cálculos realizados. La última sección se dedica a las conclusiones y una breve discusión de los resultados obtenidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Detalles forestales del diseño del experimento

La plantación del experimento se encuentra en el área experimental de la Universidad Nacional de Ucayali, colindante con el asentamiento humano La Granja El Bosque del distrito Manantay, provincia Coronel Portillo, región Ucayali, Perú. El suelo, aparentemente rico en nutrientes, fue antiguamente el vertedero de residuos sólidos del distrito Manantay. La plantación se estableció en el marco de un sistema agroforestal asociado con cultivos de plátano, papaya, yuca y otros, cosechados anualmente por terceros.

El método de investigación consistió en el conteo del número de plántulas atacadas por la oruga *Hypsipyla grandella*, evaluando el bloqueo creado por uno, dos y tres alfileres colocados en el tallo del cedro, cerca del ápice. El tiempo de colocación de los alfileres fue de 2, 4 y 6 meses.

El universo del estudio incluyó plantaciones de meliáceas, específicamente cedro colorado y caoba, que crecen en toda América tropical. En la fase inicial de su crecimiento, ambas especies son atacadas por el barrenador de las meliáceas *Hypsipyla grandella* Zeller. La población del estudio se centró en las plantaciones de cedro y caoba de la región Ucayali. La muestra consistió en 720 plantones de meliáceas, con 360 plantones de caoba y 360 de cedro colorado.

El proceso de investigación adoptó el sistema de reforestación agroforestal. En este contexto, se estableció una plantación de cedro y caoba en un platanal de dos años, en un área de dos hectáreas, con un distanciamiento de 3 x 3 metros. La composición del suelo, tanto en textura como en estructura, destacó en este caso. Se identificó un suelo limo-arenoso de color negro, mezclado con plástico, formando un horizonte superior con un espesor de 50 cm, producto de la acumulación de residuos sólidos descompuestos.

Los plantones, con un promedio de 40 cm de altura, se establecieron en octubre de 2022. Para colocar los alfileres, se esperaron seis meses para asegurar que cada plántula se estableciera en su terreno definitivo. Las observaciones se centraron en la capacidad de bloqueo de uno, dos y tres alfileres colocados a 7 cm por debajo del ápice, formando una barrera en la médula de la plántula. También se evaluó el daño causado por los alfileres a las células internas del tallo de la plántula.

Otra información relevante incluyó el periodo de tiempo necesario para colocar los alfileres en el tallo de la plántula, bloqueando el tránsito de las orugas por la médula. Los intervalos considerados fueron de dos, cuatro y seis meses. Se analizó el efecto de los cultivos agrícolas asociados en el desarrollo del cedro y de la caoba, el efecto de la sombra proyectada por los componentes y el impacto de los alfileres como medio de bloqueo alimenticio de la oruga. También se evaluó la frecuencia del tiempo de colocación de alfileres y otros factores relevantes, como el momento del ataque de la oruga a las plántulas y los lugares de bajo riesgo que el insecto elige para poner los huevos.

2.2. Tablas de Contingencia y Coeficiente C de Pearson y Muestreo

Para la representación de los datos se utiliza en una ocasión la técnica estadística de tablas de contingencia [4][10][11][14][20]. Las tablas de contingencia se emplean para registrar y analizar la relación entre dos o más variables, habitualmente de naturaleza cualitativa (nominales u ordinales).

Para calcular la independencia entre las variables con ayuda de la tabla de contingencia, se utiliza el coeficiente de contingencia C de Pearson. Este coeficiente se utiliza para medir la intensidad de la relación entre dos o más variables que pueden ser cualitativas o cuantitativas de acuerdo a las frecuencias de ocurrencia de los valores particulares de las variables. Para ello se utiliza la Ecuación 1.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \frac{\left(h_{i,j} - \frac{h_i \cdot h_j}{n}\right)^2}{\frac{h_i \cdot h_j}{n}} \quad (1)$$

donde k es la cantidad de filas de la tabla y m es la cantidad de columnas, $h_{i,j}$ es el valor de frecuencia en la fila i -ésima y la columna j -ésima. El Coeficiente de Contingencia de Pearson se calcula por la siguiente fórmula [9][13][16][17][21]:

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + n}} \quad (2)d$$

onde n es el tamaño de la muestra. Cuando el valor de C es cercano a 0 indica mayor independencia de las variables y cuando es cercano a 1 indica mayor dependencia de las variables.

Por otra parte se utiliza el test Chi-cuadrado que se basa en la ecuación 3 [6][19][22]:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{esperada}_i)^2}{\text{esperada}_i} \quad (3)$$

El criterio de decisión se toma como: No se rechaza H_0 cuando $\chi^2 < \chi_t^2(r-1)(k-1)$, en caso contrario se rechaza. Donde r es el número de filas de la tabla de contingencia y k es el número de columnas. χ_t^2 es el valor teórico de la chi-cuadrado.

Para la selección de la muestra se utiliza la fórmula:

$$n = \frac{k^2 N p q}{e^2 (N-1) + k^2 p q} \quad (4)$$

donde:

n : es el tamaño de la muestra,

N : es el tamaño de la población,

k : es una constante dependiente del nivel de confianza,
 e : es el error de muestreo,
 p : es la proporción de la población que satisface la característica que se mide,
 q : es $1-p$.

En este problema se utiliza el muestreo estratificado para separar las plántulas por especie biológica [12]. Este tipo de muestreo se aplica cuando la población está formada por subpoblaciones homogéneas, con el objetivo de obtener muestras que sean proporcionales a cada una de las subpoblaciones, en este caso se realiza en base a las especies biológicas.

2.3. Polinomios de Interpolación de Lagrange

Los polinomios de interpolación de Lagrange son una herramienta matemática utilizada para encontrar un polinomio que pase por un conjunto dado de puntos [2][15][18]. Es decir, dado un conjunto de $n + 1$ puntos distintos $\{(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$ el polinomio de interpolación de Lagrange se define por la ecuación siguiente:

$$P(x) = \sum_{i=0}^n y_i L_i(x) \quad (5)$$

donde los $L_i(x)$ son los polinomios base de Lagrange, definidos como:

$$L_i(x) = \prod_{0 \leq j \leq n, j \neq i} \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \quad (6)$$

Cada $L_i(x)$ es un polinomio que toma valor 1 en $x = x_i$ y toma valor 0 en los puntos x_j con $j \neq i$. Esto asegura que el polinomio $P(x)$ pase exactamente por todos los puntos dados.

Algunas propiedades de este polinomio son:

1. El polinomio resultante $P(x)$ tiene grado máximo igual a n .
2. Para un conjunto dado de puntos, existe un único polinomio de interpolación de Lagrange.
3. Aunque la forma directa puede ser computacionalmente costosa para grandes conjuntos de datos, existen métodos más eficientes para calcularlo.

El polinomio de interpolación de Lagrange se aplica en interpolación de datos experimentales, como ocurre en este artículo. Se utiliza en aproximación de funciones y en la resolución numérica en diversas áreas como la ingeniería y la física.

3. RESULTADOS

Para el muestreo se utilizó el muestreo aleatorio estratificado. Se asignó el mismo tamaño de la muestra para la caoba y para el cedro colorado. Aplicando la fórmula 4 se tiene que el tamaño de la muestra para cada especie fue de 360 plántulas, para $p = q = 0,5$ y error de muestreo igual al 5% o $e = 0,05$.

Además, a un tercio de las plántulas (240) se les aplicó el tratamiento de un alfiler, a otro tercio (240) se les aplicó el tratamiento de dos alfileres y al tercer tercio se le aplicó el tratamiento de tres alfileres (240). De cada tercio, a 120 plántulas de caoba se les aplicó el tratamiento correspondiente y a 120 plántulas de cedro colorado se les aplicó el tratamiento correspondiente. La Tabla 1 contiene los resultados obtenidos de aplicar cada uno de los tres tratamientos.

Repeticiones	N° de orugas retenidos en cada grupo		
	1 alfiler	2 alfileres	3 Alfileres
R1	0	5	10
R2	1	6	9
R3	2	4	8
Suma	3	15	27
Promedio	1	5	9

Tabla 1. Capacidad de bloqueo alimenticio de los alfileres. El número de repeticiones significa el número de veces en que la plántula fue intervenida en los meses de investigación con una diferencia de 2 meses. La cantidad de orugas significa el promedio de orugas encontrado por cada 10 plántulas de las muestras.

Para determinar si existe efectividad en el tratamiento o no, se toma como hipótesis nula H_0 de que no existe diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos, mientras que la hipótesis alternativa es lo contrario, o sea, que existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Las frecuencias absolutas observadas por cada muestra son $o_1 = 3$, $o_2 = 15$ y $o_3 = 27$. Las frecuencias que se esperan de cumplirse la hipótesis nula son: $e_1 = e_2 = e_3 = 15$. Se calcula el estadístico $\chi^2 = \frac{(o_1 - e_1)^2}{e_1} + \frac{(o_2 - e_2)^2}{e_2} + \frac{(o_3 - e_3)^2}{e_3} = \frac{(3-15)^2}{15} + \frac{(15-15)^2}{15} + \frac{(27-15)^2}{15} = 19,2$.

El valor obtenido de χ^2 se comparó con el valor crítico $\chi_{0,95}^2(2) = 5,99$. En este caso se tienen 2 grados de libertad porque existen tres clases diferentes y $r = 3 - 1 = 2$. En esta prueba se obtiene $\chi^2 = 19,2 > 5,99 = \chi_{0,95}^2(2)$, por tanto se rechaza la hipótesis nula y se tiene que la diferencia entre los tratamientos es significativa. Esto significa que el tratamiento con 3 alfileres es mejor que el de dos y un alfiler.

De la Tabla 1 se infiere que un solo alfiler no tuvo la capacidad de bloquear la alimentación de la oruga. Dos alfileres tampoco fueron efectivos en el control de las orugas. En cambio, tres alfileres sí alteraron significativamente el ciclo biológico de la oruga, obligándola a formar pupa en la barrera formada por el alfiler. Muchos murieron en el intento de cruzar la barrera formada por los alfileres.

Las orugas que atacaron tallos con tres alfileres entrecruzados murieron probablemente de hambre. Las orugas atrapadas en su mayoría tienen 20 mm de tamaño. Según el conocimiento de los lugareños corresponde a la *Hypsipyla grandella* macho. En efecto, tres alambres entrecruzados forman una red con orificios pequeños lo cual no deja opción para traspasar al otro lado de la barrera. Por ello se dice que bloquea la alimentación normal de la oruga. En cambio la oruga de 10 mm completó el ciclo de su metamorfosis sin problemas y voló. Así, los tallos con dos alfileres detuvieron el avance de la oruga en solo uno de diez casos. Los tallos con un alfiler no detuvieron en absoluto el avance.

Los alfileres hechos de acero inoxidable y colocado en el tallo a 7 cm del meristemo apical, no afectaron el crecimiento normal de las plantas, lo cual sugiere que no impidieron las funciones fisiológicas de transporte de savia. Estos alfileres fueron trasladados con facilidad de la parte leñosa a la suculenta solo con la ayuda de un alicate. La planta toleró los alfileres, como lo demuestran los tallos leñosos en los que se borraron los orificios de entrada y salida ocasionados por los alfileres. Al respecto, al inyectar productos al tallo se encontró que el orificio de la entrada y salida ocasionada en el tallo por la aguja de la jeringa desaparece con facilidad en un promedio de una semana.

En el trópico peruano, las estaciones del verano e invierno se alternan cada seis meses. En verano el crecimiento de los plántones fue esporádico porque la mayoría permaneció en dormancia. Incluso, muchos simularon una mortandad. Pero apenas recibe las aguas de las primeras lluvias del invierno la planta reacciona mostrando presencia de tallos suculentos cuyo crecimiento es agresivo que en algunos casos llega hasta un metro de longitud en una semana. Este comportamiento fue crucial para mantener la supervivencia de la *Hypsipyla grandella*. Mientras el tallo es leñoso no se registró ataque. En cambio cuando existe tallo suculento se nota ataque intenso. De esta observación se deduce que el ataque mayor ocurre en invierno. La Tabla 2 muestra el crecimiento promedio de la plántula de cedro en 2, 4 y 6 meses con cada uno de los tratamientos. Colocar alfileres cada 2 meses no funcionó, ya que la oruga escapó antes de llegar a la barrera.

El principal aporte del proyecto es la demostración de que tres alfileres colocados a 7 cm del ápice en la sección transversal del tallo suculento de las plántulas de cedro y caoba bloquean con éxito el avance de la oruga de *Hypsipyla grandella*. Los alfileres entrecruzados forman una barrera que las orugas de 1 y 2 cm no pueden cruzar, forzándolas a morir o a acelerar su metamorfosis. Sin embargo, el árbol pierde la parte atacada pues al carecer de médula no tiene la capacidad de garantizar la circulación de la savia bruta y elaborada, por tanto al perder la médula se seca inevitablemente. Enseguida nacen brotes que si no se podan oportunamente deforman al fuste y en algunos casos es atacado nuevamente en desmedro del crecimiento normal de la plántula.

Para resumir, se tiene la Tabla 2 donde se compara el crecimiento promedio de las plántulas, aplicando el tratamiento de 1, 2 y 3 alfileres.

Tratamiento	Longitud crecida del tallo suculento en meses evaluados (cm)		
	2 meses	4 meses	6 meses
1 alfiler	14	25	55
2 alfileres	15	26	53
3 alfileres	16	24	56
Promedio	15	25	54,666

Tabla 2. Crecimiento del tallo suculento en el tiempo de aplicación de los alfileres.

La Tabla 3 es una tabla de contingencia que relaciona la calidad de crecimiento de la planta comparada con el tipo de tratamiento aplicado.

		Tratamiento		
		1 alfiler	2 alfileres	3 alfileres
Crecimiento	Bajo	5	7	8
	Promedio	215	220	214
	Alto	16	18	17

Tabla 3. Calidad de crecimiento de cada plántula dependiendo del tratamiento.

Utilizando el software Octave 4.0.2 con el paquete estadístico que contiene el tratamiento de tablas de contingencia se obtiene el resultado siguiente [3][5]:

El valor p de una sola cola da como resultado $p = 0,9456$, por tanto no se rechaza la hipótesis nula de igualdad entre las variables crecimiento y tratamiento con un 95% de confianza. En otras palabras, el crecimiento de las plántulas y su futuro desarrollo no es afectado significativamente con respecto al tratamiento aplicado.

La Tabla 4 contiene la comparación entre la calidad del crecimiento y la especie:

		Especie	
		Caoba	Cedro colorado
Crecimiento	Bajo	11	9
	Promedio	320	329
	Alto	25	26

Tabla 4. Tabla de contingencia entre la calidad del crecimiento versus especie biológica estudiada.

En esta prueba se obtuvo un valor p de 0,88, por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula. Es decir, no existe diferencia significativa entre la calidad del crecimiento y la especie biológica.

Aparte del estudio estadístico realizado se estudiaron 30 plantas donde experimentalmente se les aplicó el método de los tres alfileres, que demostró ser el más efectivo. Luego se ubicaron los alfileres en tres plantas a 1 cm de distancia, en tres a 2 cm, y así sucesivamente hasta llegar a una distancia de 10 cm en la última. Evidentemente, esto llevó a tener plantas con tres alfileres muy unidos en el caso de tomarse 1 cm de distancia entre ellos y muy separados cuando se ubicaron a una distancia igual a 10 cm. Por cada tres plantas se obtuvo el número de animales controlados, lo cual se muestra en la Tabla 5.

Distancia entre alfileres (cm)	Promedio de orugas controladas
1	2,00
2	2,34
3	4,22
4	5,47
5	6,37
6	7,62
7	8,60
8	8,64
9	8,52
10	7,85

Tabla 5. Cantidad de orugas controladas según la distancia entre tres alfileres en la plántula. Se calcula el promedio en tres plántulas con la misma distancia entre alfileres.

De esta manera se confirma que la distancia ideal está entre 7 y 9 centímetros de distancia entre alfileres. Para obtener el resultado más exacto se obtiene el polinomio de interpolación de Lagrange para los datos mostrados en la tabla, el cual es el siguiente:

El polinomio obtenido es:

$$P(x) = \frac{1}{94500}x^9 - \frac{823}{1344000}x^8 + \frac{2953}{201600}x^7 - \frac{18149}{96000}x^6 + \frac{17227}{12000}x^5 - \frac{1255321}{192000}x^4 + \frac{10496957}{604800}x^3 - \frac{2756007}{112000}x^2 + \frac{460283}{28000}x - \frac{191}{100}$$

Este polinomio se calculó con ayuda del asistente online que se cita en [1]. Realizando los cálculos se tiene que aproximadamente el máximo de este polinomio se alcanza para 7,9 cm cuya imagen en este caso es 8,6651881 orugas. Es decir, se puede espaciar aún más la distancia entre alfileres para obtener mejores resultados.

Es importante mencionar que el alfiler en ningún momento impidió que tanto el cedro como la caoba sea atacada por la *Hypsipyla grandella*. Al detener el avance de la oruga en el consumo de la médula reduce el daño significativamente. La plántula atacada invariablemente pierde por lo menos los 7 cm de ápice pues una vez eclosionada la oruga ya empieza a consumir médula. De inmediato nacen brotes que se necesitan podar para mantener la rectitud del fuste. Las plantas que alcanzan un crecimiento de 3 metros de altura por año sí escapan al ataque del animal. En este sentido conviene proyectar el control de *Hypsipyla grandella* de modo simultáneo con otros tratamientos principalmente relacionados con el factor suelo utilizando enmiendas como riego, abonamiento, poda permanente etc.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede concluir que un solo alfiler colocado en el tallo suculento del cedro y de la caoba no garantizó el control de la oruga, pues la oruga completa su metamorfosis y vuela convertido en insecto. Dos alfileres tampoco garantizaron el bloqueo alimenticio. En cambio, con los tres alfileres la oruga no murió pero tampoco traspasó la barrera lo que indica que se forzó su metamorfosis. El orificio de salida visto junto al alfiler indica que el insecto voló. La efectividad del tratamiento con tres alfileres se demostró con ayuda de una prueba Chi-cuadrado.

Una parte de las plantas de cedro y caoba fueron instaladas bajo la sombra alta de *Ficus sp.*, el ataque de la oruga se inició en este ambiente. La otra parte se instaló bajo la sombra de plátanos, yuca y otros, aquí el ataque fue posterior. El terreno fue un antiguo vertedero de residuos sólidos. Aquí el cedro registró 3 m de altura/año. Se explica por los nutrientes del abono del vertedero, el asocio con plátano donde el área fue objeto de una limpieza permanente.

Entre los aportes figuran: El bloqueo alimenticio que se logra con tres alfileres colocados en la parte apical del tallo. El momento de ataque de la oruga gira en torno a la temporada de lluvia. Los huevos fueron puestos a una distancia de 7 cm antes del ápice en las axilas 6, 5 y 4. Si el insecto puso huevo en una plántula, sus generaciones posteriores ponen huevo en las yemas terminales de los rebrotes. De este modo el ataque aparenta ser sostenido.

Para comprobar la eficacia de los alfileres en el control de las orugas de *Hypsipyla grandella* Zeller se recomienda colocar tres alfileres entrecruzados a 7 cm por debajo del ápice del tallo suculento sea de la caoba o el cedro colorado. No es recomendable colocar los alfileres en verano porque el tallo se encuentra en dormancia, es decir que el crecimiento en altura es cero. En el tallo leñoso la polilla no pone sus huevos por lo tanto el ataque a los plantones en verano es esporádico.

Se recomienda estabilizar la posición de los alfileres en los 7 cm de longitud antes de la yema terminal por ser esta el lugar preferido para la postura del huevo. De ser posible se sugiere identificar un mecanismo de estabilización de los alfileres toda vez que puede convertirse en una estrategia para evitar la postura de huevo. Todo este mecanismo deberá ejecutarse durante los 6 meses que dura el verano. En invierno no hay problema porque los plantones permanecerán en dormancia.

Las observaciones relacionadas con el cultivo de las meliáceas indican que es recomendable asociar al cedro colorado y la caoba con cultivos agrícolas en un sistema agroforestal. Es indispensable el mantenimiento de la plantación, aplicar poda en verano cuando la plántula se encuentra en dormancia, sembrar en un suelo rico en nutrientes para acelerar el crecimiento. En resumen se recomienda cultivar cedro y caoba en el marco del (MIP) que implica el manejo integral de plagas.

En el artículo se calculó la función polinómica que relaciona la distancia en centímetros entre alfileres con la efectividad del tratamiento a partir de algunos datos experimentales y con ayuda del polinomio de interpolación de Lagrange. Se determinó que aproximadamente el máximo de distancia recomendado es 7,9 cm.

Otros resultados relevantes fueron, que no existe relación significativa entre el tratamiento y el crecimiento de los árboles y ambas especies muestran resultados parecidos en cuanto a calidad del desarrollo del árbol. Esto significa que la inclusión de alfileres no afecta a la planta en su desarrollo normal sin importar la especie a la cual esta pertenece, sea cedro colorado o caoba.

RECIVED: OCTOBER, 2024

REVISED: JANUARY, 2025.

REFERENCIAS

- [1] ANÓNIMO (2020) **Calculadora de Polinomios de Lagrange**. URL: <https://es.planetcalc.com/8692/>, consultado el 5 de febrero de 2024.

- [2] BARRIENTOS-ALVAREZ, L. C., GARCÍA-PAREDES, J. A., VALDIVIA-SÁNCHEZ, F. A., LEY-SOTO, B. J., REYES-AGUILERA, J. A., y ARMAS-PÉREZ, J. C. (2024). Desarrollo de programas de Python de uso educativo para los PE's de Ingeniería Química Sustentable e Ingeniería Física. **JÓVENES EN LA CIENCIA**, 28, 1-14.
- [3] BURGOS, E. S., and ADAM, E. J. (2020). Graphical user interface editor for octave applications. **Engineering Reports**, 2, e12269- e12269.
- [4] CALDERÓN TORRES, D., GARCÍA-GARCÍA, J. I., FERNÁNDEZ CORONADO, N., y HERNÁNDEZ ARREDONDO, E. (2022). Cálculo de probabilidades en tablas de contingencia por estudiantes chilenos de primer año medio. **Revista de estudios y experiencias en educación**, 21, 50-74.
- [5] ČISAR, P., ODRY, P., MARAVIĆ ČISAR, S., and STANKOV, G. (2020). Teaching spread spectrum in the course telecommunication systems using octave. **Computer Applications in Engineering Education**, 28, 367-383.
- [6] CUTIPA, F. G. G., FERNÁNDEZ, D. G. B., RIVERA, V. C., y MENDOZA, G. J. C. (2024). Calidad y conservación del pollo ahumado: análisis organoléptico, microbiológico y bromatológico. **CIBUM SCIENTIA**, 3, 23-34.
- [7] D'ANGELO, L. (2024). Tamaño de efecto, potencia de la prueba, factor de Bayes y meta-análisis en el marco de la crisis de reproducibilidad de la ciencia. el caso de las diferencias de proporciones y tablas de contingencia con variables nominales y muestras independientes. **Cuadernos del CIMBAGE**, 1, 77-107.
- [8] DEL CAMPO, N. M. S., y MATAMOROS, L. Z. (2020). Técnicas estadísticas para identificar posibles relaciones bivariadas. **Revista Cubana de Anestesiología y Reanimación**, 19, 1-23.
- [9] ENRÍQUEZ, S. G., ÁLVAREZ, E. T. M., NOROÑA, R. D., y MARTÍNEZ, N. G. (2022). Estudio estadístico de rendimiento académico y hábitos de estudio en el Curso de Investigación Exploratoria de los estudiantes de enfermería de la Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador. **Investigación Operacional**, 43, 325-333.
- [10] FONG-SILVA, W., COLPAS-CASTILLO, F., y CAUSADO-MORENO, E. (2021). Estilo de aprendizaje y su asociación con la autoeficacia, conocimientos previos y motivación intrínseca en estudiantes de ingeniería. **IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria**, 6, 81-93.
- [11] GÓMEZ, J. (2022). Predictores de mortalidad intrahospitalaria en infarto agudo al miocardio con elevación del segmento ST. **Revista médica (Colegio de Médicos y Cirujanos de Guatemala)**, 161, 16-23.
- [12] HERNÁNDEZ ÁVILA, C.E. y ESCOBAR, N.A.C. (2019) Introducción a los tipos de muestreo. **Alerta, Revista Científica del Instituto Nacional de Salud**, 2, 75-79.
- [13] HERNÁNDEZ-NAVARRO, Y., y SÁNCHEZ-GARCÍA, J. (2020). Combinación de métodos: análisis de correspondencias simple y múltiple bajo el enfoque de correlaciones canónicas. Clases latentes. **Polo del Conocimiento**, 5, 949-969.
- [14] JIMÉNEZ-DÍAZ, R., DÍAZ-LEVICROY, D., y SALCEDO, A. (2022). Diseño y validación un cuestionario para evaluar la comprensión de tablas estadísticas para estudiantes de octavo año de Enseñanza Básica. **TANGRAM-Revista de Educação Matemática**, 5, 110-135.
- [15] LUNA-FOX, S. B., UVIDIA-ARMIJO, J. H., ESTRADA-BRITO, N. A., y UVIDIA-ARMIJO, L. A. (2024). Modelación matemática de concentraciones de compuestos fenólicos en Hibiscus sabdariffa mediante el polinomio de Lagrange. Un análisis comparativo con datos experimentales. **Revista Social Fronteriza**, 4, e42213-e42213.
- [16] MORALES, G. E. R., CHACÓN, L. J. R., MEDINA, J. H. C., QUISPE, A. E. V., y VALLEJO, P. F. C. (2024). Validación estadística del uso exitoso del instrumento KTK adaptado para medir las alteraciones de la coordinación motora en el anciano. **Investigación Operacional**, 45, 151-157.
- [17] PRADO PRADO, R., y ABARCA ARIAS, Y. M. (2020). Diabetes y factores de riesgo en docentes de la Universidad Nacional de Ica, Perú. **Revista Finlay**, 10, 337-346.
- [18] SUNI, B. M. H. (2021). Cuasi-ortogonalidad con aplicaciones a algunas familias de polinomios ortogonales. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Agustín.
- [19] TORRICO-PAZ, S., y GALARZA, M. I. (2021). Análisis del conocimiento, percepción y actitudes sobre murciélagos en la ciudad de La Paz, Bolivia. **Ecología en Bolivia**, 56, 91-101.
- [20] VÁZQUEZ, J. R. N., y JARAMILLO, P. A. P. (2024). Percepción de inseguridad en personal sanitario del bajío mexicano. **Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano**, 5, 234-252.
- [21] ZAPATA, L. M. L., y BUITRAGO, C. A. P. (2023). Acceso a los Medicamentos y los Costos de Hospitalización y Urgencias de los Pacientes del Programa de Hipertensión Arterial en una Institución Prestadora de Servicios de Salud de Baja Complejidad en Risaralda 2015–2019. **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, 7, 5292-5307.
- [22] ZAPATA, M. E., MORATAL, I. L., y LÓPEZ, L. B. (2020). Calidad de la dieta según el Índice de Alimentación Saludable: Análisis en la población adulta de la ciudad de Rosario, Argentina. **Dieta**, 38, 08-15.