



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

DINÁMICA POBLACIONAL DE *Hylesia metabus* Crammer
(LEPIDOPTERA: SATURNIIDAE) EN EL NOR-ESTE DE VENEZUELA,
ESTADO SUCRE, UTILIZANDO EL MODELO DE RICKER
(Modalidad: Tesis de Grado)

ANDRÉS MANUEL CASTILLO BRITO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA.

CUMANÁ, 2011

DINAMICA POBLACIONAL DE *Hylesia metabus* Crammer (LEPIDOPTERA:
SATURNIIDAE) EN EL NOR-ESTE DE VENEZUELA, ESTADO SUCRE,
UTILIZANDO EL MODELO DE RICKER

APROBADO POR:

Prof. Ramón López Planes
Asesor

Prof. Sandra Díaz
Coasesor

José Alberto Mendoza
Jurado

Jessicca Rodríguez
Jurado

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
LISTA DE TABLA.....	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO.	7
Población.....	7
Dinámica de una población	7
Modelos de crecimiento poblacional.....	8
El modelo de crecimiento exponencial	9
Modelo de crecimiento logístico	11
Modelo de Ricker.....	15
Estimación de los parámetros R y k de la ecuación de Ricker (32).....	19
Diagrama de recurrencia (cobwebs).....	20
Parámetros estimados de los datos mediante un ajuste no lineal, usando Solver de Excel.....	20
MARCO METODOLÓGICO	23
Metodología.....	23
Ajuste del modelo de Ricker	23
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	29
Recolección de datos	29
Estimación de los parámetros R y k del modelo de Ricker por medio de un ajuste lineal.....	31
Parámetros estimados de los datos mediante un ajuste no lineal, usando Solver de excel	34

Parámetros estimados de los datos mediante el modelo propuesto (ecuación tipo Ricker (53), biológicamente factible)	36
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47
HOJA DE METADATOS	51

AGRADECIMIENTO

A:

Mi madre, por ser el pilar en el cual me apoyé en todo momento durante la ejecución de este trabajo, quien tuvo las palabras de aliento en los momentos que sentí decaer.

La Universidad de Oriente, por abrirme sus puertas y permitirme hacer una carrera profesional.

Mis asesores Ramón López Planes y Sandra Díaz personas que me dieron un gran apoyo, guía y ayuda en este trabajo de grado. Mil gracias.

Gracias a la vida que me ha dado oportunidades, experiencias, triunfos y sobre todo esperanzas.

DEDICATORIA

Este trabajo está especialmente dedicado a:

Nuestro Dios, fuerza divina que me da la dicha de vivir cada día, iluminar mi camino y colmar mi vida de grandes bendiciones. Pero sobre todo a las grandes lecciones de vida que me has dejado con este reto, por enseñarme a quererme más a cada paso de mi vida, a confiar en mí, a no creer en los imposibles, a creer que todo en la vida se logra con esfuerzo y dedicación.

La mujer más grande que Dios me ha dado, a ti mamá, luchadora incansable, madre abnegada, lo más grande, puro y noble de esta vida, por no dejarme solo nunca, por enseñarme a luchar con el corazón y escucharme siempre, para ayudarme, tu me has puesto en este lugar.

Mis hermanos, por ser mi ejemplo a seguir en todo momento, motivarme siempre a lograr esta meta. Finalmente y no menos importante a mi novia Dina Millán por apoyarme en todo momento y de manera incondicional.

LISTA DE TABLA

Tabla 1. Adultos de <i>Hylesia metabus</i> colectados durante el periodo 2002 – 2008.....	29
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número de individuos en función del tiempo (años) para <i>Hylesia metabus</i>	30
Figura 2. Número de individuos en el tiempo $t + 1$ en función del número de individuo en el tiempo t	31
Figura 3. $\text{Ln} \left(\frac{N_{t+1}}{N_t} \right)$ en función de N_t	32
Figura 4. Simulación para 60 generaciones de la población de <i>Hylesia metabus</i> para los valores de R y k calculados.	33
Figura 5. Simulación para 60 generaciones de la población de.....	34
<i>Hylesia metabus</i> para los valores de R y k calculados, pero con diferentes tamaños iniciales de la población.	34
Figura 6. Diagrama de Cobweb y evolución de la población para $R = 0,33$ y $k = 101073,72$	35
Figura 7. Evolución de la población, para $R = 0,4$ y.....	37
diferentes valores de N_0 y C_0	37
Figura 8. Evolución de la población, para diferentes valores de R , pero manteniendo fijo los parámetros N_0 y C_0	38
Figura 9. Diagrama de Cobweb y Evolución de la población. Para $R = 0,4$, $N_0 = 2246309,89$ y $C_0 = 53687091,7$	39
Figura 10. Diagrama de Cobweb y Evolución de la población.....	40
para $R = 1$, $N_0 = 2246309,89$ y $C_0 = 53687091,70$	40
Figura 11. Diagrama de Cobweb y Evolución de la población.....	40
Para $R = 1,9$, $N_0 = 2246309,89$ y $C_0 = 53687091,70$	40
Figura 12. Diagrama de Cobweb y Evolución de la población.....	41
Para $R = 2,3$, $N_0 = 2246309,89$ y $C_0 = 53687091,70$	41
Figura 13. Evolución de la población, para $R = 3$, $N_0 = 2246309,89$ y $C_0 = 53687091,70$	42

RESUMEN

Tomando la data poblacional reportada por la Gerencia de Saneamiento Ambiental y Control de Endemia (G.S.A.C.E) durante los años 2002 al 2008, se realizó un estudio detallado de la dinámica poblacional de *Hylesia metabus* Crammer (lepidoptera: saturniidae) en el Nor-Este de Venezuela, estado Sucre, utilizando el modelo poblacional de Ricker, que describe una población propensa a un crecimiento exponencial simple con bajas densidades, y una tendencia a decrecer en altas densidades. El modelo es recomendable para una población de especies simple, a menudo puede ser usado para predecir el tamaño de algunas poblaciones después de cierto tiempo, esta clase de modelo funciona bien cuando la densidad de las poblaciones de los individuos se reproduce sólo durante periodos específicos, o cuando las poblaciones pasan a través de distintos ciclos de reproducción. Dicho modelo fue ajustado bajo ciertas consideraciones hasta obtener una expresión final que resulte ser biológicamente factible, y así contribuir con una herramienta matemática que pueda ser utilizada para comprender la dinámica del insecto estudiado, ya que *Hylesia metabus* representa un importante problema de salud pública para las regiones afectadas. Finalmente se sometió la ecuación final tipo Ricker a la variación de la tasa de crecimiento, con lo que se estudió su comportamiento y se verificó la estabilidad del modelo. Los resultados muestran comportamientos muy distintos con pequeños cambios en las condiciones iniciales, esta sensibilidad a pequeños cambios en las condiciones iniciales indica que la dinámica poblacional estudiada es difícil de predecir. De todos los comportamientos el que más se ajusta al comportamiento real del insecto estudiado es cuando la tasa de crecimiento intrínseco es igual a tres, que predice periodicidad en la población, con periodos de aproximadamente seis años en concordancia con la evidencia experimental.

INTRODUCCIÓN

Hylesia metabus es el nombre científico de la conocida “palometa peluda”, la cual es un insecto de hábitos nocturnos, que pertenece al orden lepidóptera, familia Saturniidae, y género *Hylesia* (Hómez *et al.*, 1995).

Mundialmente, *Hylesia* se localiza sólo en el continente americano, específicamente Centro y Sur América (Harwood y James, 1979), registrándose varias especies de este género en países como Costa Rica, Trinidad, Guayana Francesa, Surinam, Brasil, Perú, Uruguay y Venezuela, existiendo también reportes en México (Boýe, 1932; Gusmao y Cols., 1961; Jorg, 1969; Pesce y Tejada, 1969; Germanetto, 1982; Vásquez y Olivares, 1984; Dinehart y Cols., 1985; Reitz y Smith, 1985).

Esta mariposa nocturna está distribuida principalmente en el nor-este de Venezuela, habita desde los manglares del Golfo de Paria, estado Sucre, extendiéndose hasta el estado Monagas en los municipios Bolívar, Maturín y Sotillo; en el estado Delta Amacuro en la zona de Pedernales y Tucupita, Nueva Esparta, Miranda y Zulia (Benaim *et al.*, 1991; Dinehart *et al.*, 1985).

El ciclo de vida de la “palometa peluda” está conformado por una serie de fases o etapas: huevo, larva (oruga), pupa (capullo o crisálida) y adulto (Jorg, 1969; Vásquez *et al.*, 1984a).

Luego de aparearse con el macho, cada hembra adulta de *Hylesia metabus* puede depositar en una sola postura entre 303 y 463 huevos, siendo el promedio de 376 huevos por postura, los cuales coloca en los extremos de las ramas jóvenes de la planta de donde se alimenta (Hill *et al.*, 1948).

La fase larvaria es la más larga, ya que dura entre 57 y 59 días, y pasa por siete instares larvales de 7 – 8 días cada instar; luego entran en un estado de

pupa. El tamaño de la cápsula cefálica de las larvas es lo que caracteriza a los diferentes instares (Hill *et al.*, 1948; Vásquez *et al.*, 1984a). En ese período de casi dos meses, las larvas de esta mariposa nocturna sufren una serie de transformaciones, que finalizan con la conversión del insecto en pupa (capullo o crisálida), luego de pasar por una etapa intermedia denominada pre-pupa, que dura tres días (Vásques, 1990).

Las larvas se alimentan de diferentes especies de plantas, entre las más importantes se encuentran *Rhizophora mangle* de la familia Rhizophoraceae, *Languncularia racemosa* (mangle blanco) de la familia Combretaceae, *Avicennia germinans* de la familia Verbenaceae, *Psidium guajaba* (Guayaba) y *Syzygium malaccense* (pomalaca), de la familia Myrtaceae (Dillon y Charnley, 1998; Vásquez y Olivares, 1984b). La fase de pupa dura entre 19 y 21 días. En ese lapso, *Hylesia metabus* experimenta otras transformaciones hasta llegar a la fase de adulto (Fornés, 1998).

La fase de adulto es la más corta de todas, pues dura entre 4 y 7 días, tiempo suficiente para que cada nueva pareja de *Hylesia metabus* sea capaz de procrear otros 400 insectos más (Jorg, 1969).

En Venezuela, los primeros registros sobre la incidencia de polillas del género *Hylesia* son aquellos divulgados por los habitantes de las áreas afectadas por el insecto en los poblados de Yaguaraparo e Irapa, estado Sucre. Siendo en este estado donde alcanza mayores densidades poblacionales hasta constituir un problema grave de salud pública (Jorg, 1969), especialmente de los municipios Cajigal, Mariño, Libertador y Benítez (Fornés y Hernández, 2002).

Las mariposas son atraídas por la luz eléctrica de las comunidades cercanas a los manglares costeros. De esta manera se produce periódicamente una

invasión de mariposas en estas comunidades. Las personas que se encontraban cerca de las mariposas manifestaban posteriormente una dermatitis en las áreas expuestas de la piel (Vásquez, 1990), razón por la cual en diversas oportunidades, cuando hay picos poblacionales de la plaga, las autoridades locales, de las zonas afectadas por esta polilla, deciden apagar las luces del alumbrado público para evitar la invasión al poblado.

La hembra del género *Hylesia* tiene pelos abdominales extremadamente urticantes, los cuales utiliza para cubrir las posturas con el fin de protegerlos de depredadores y parásitos (Lundberg y Cols., 2002). Cuando las polillas vuelan alrededor de la luz, desprenden las espículas urticantes que son dispersadas por el viento debido a sus diminutas dimensiones, que liberan una sustancia urticante para los seres humanos, que al ponerse en contacto con la piel producen, pocos minutos después, lesiones cutáneas pápulo-eritematosas con ligera degeneración vascular, causando un prurito intenso que empeora con el roce, debido a la fractura que sufren los dardos urticantes, que se entierran en la piel al ser presionados (Germanetto, 1982). En algunas personas, estos síntomas están acompañados por una reacción alérgica, y se han reportado trastornos respiratorios, fiebre, dolor de cabeza, náuseas, queratitis y conjuntivitis, entre otros (Pesce y Delgado, 1971). La duración de las lesiones es muy variable, desde tres hasta quince días (Gusmao *et al.*, 1961).

Todos estos problemas ocasionan la necesidad de suspender la mayoría de las actividades normales de los municipios afectados, especialmente la pesca, la agricultura, la educación y el comercio, constituyéndose así en un atraso económico y un problema grave de salud pública para las regiones involucradas (Jorg, 1969).

Los únicos fármacos disponibles para la urticaria son antialérgicos y antihistamínicos generales, sin embargo, éstos no reducen en su totalidad los efectos de la misma. Sin embargo los síntomas de esta dermatitis se acentúan al usar jabón y se mejora al aplicar soluciones de un pH ligeramente ácido, tales como el vinagre (Lundberg y Cols., 2002).

La “palometa peluda” tiene varios enemigos naturales, entre ellos: pájaros insectívoros que se comen los ejemplares adultos; depredadores (chinches), parasitoides (moscas y avispas) y patógenos (hongos y bacterias) que enferman y matan las larvas (Vásquez *et al.*, 1984c). Las altas poblaciones de este lepidóptero en la zona de Yaguaraparo e Irapa se deben, probablemente, al efecto del desequilibrio ecológico producido por la acción del hombre (Vásquez, 1990). Este trae como consecuencia la disminución de la presencia de los enemigos naturales de *Hylesia metabus* permitiendo la proliferación de este insecto en grandes cantidades de adultos en épocas de incidencia (febrero – marzo), (mayo – julio), (septiembre – octubre); es decir, tres generaciones de adultos por año (Vásquez, 1990).

En los actuales momentos, el control biológico comercial utilizado contra *Hylesia metabus*, es el *Bacillus thuringiensis kursatti* y, aunque es efectivo, su aplicación es muy costosa. Una de las grandes ventajas de esta bacteria es que permanece y se reproduce en el medio, reduciendo así la necesidad de aplicación continua (Vásquez, 1994).

Cuando la variación de una población se realiza en función del tiempo, se obtiene un proceso (continuo o discreto) que recibe el nombre de dinámica de la población. El objetivo de la dinámica de poblaciones es estudiar los cambios numéricos que sufren las poblaciones, determinar sus causas, predecir su comportamiento y analizar sus consecuencias ecológicas.

Una población como la de *Hylesia metabus*, puede ser modelada mediante ecuaciones diferenciales ordinarias, que puede develar su estructura y predecir su tendencia. Existen diferentes modelos poblacionales, pero es difícil saber cuándo y dónde se formuló el primer modelo matemático de un fenómeno biológico. Sin embargo, en la dinámica de poblaciones Thomas Malthus fue el que desarrolló el primer modelo en 1789 (Malthus, 1798), que expresa el crecimiento de una población a tasa constante. A partir de ese momento, el alcance y la sofisticación de los modelos matemáticos en dinámica de poblaciones, o en disciplinas cercanas como la epidemiología, se ha incrementado notablemente y han alcanzado grados considerables de refinamiento. Pero este modelo de Malthus implica que múltiples factores no sean tenidos en cuenta. Una sustancial mejora en las suposiciones del modelo de Malthus viene dada por el modelo logístico, propuesto por el matemático belga P. F. Verhulst en 1836 (Verhulst, 1845). La idea de Verhulst fue mejorar el modelo de Malthus introduciendo la competencia entre los individuos de la especie en estudio como factor que altera los nacimientos y/o las muertes. Tanto si la competencia afecta a la lucha por los alimentos, o por sobrevivir al contagio de enfermedades, o al factor de que se trate, una suposición razonable es medir dicha competencia por medio del número de contactos posibles entre dos individuos de la especie. Conociéndose el resultado como “Ecuación lógica de Verhulst”. Esta ecuación sirve para modelar poblaciones teóricas bajo recursos limitados.

Los sistemas biológicos exhiben un comportamiento no determinista por lo tanto, frecuentemente resulta difícil predecir su comportamiento frente a un estímulo dado. Existen muchos modelos matemáticos que sirven para describir el comportamiento de todo sistema. Sin embargo, muchos de estos modelos no se ajustan adecuadamente al comportamiento de los sistemas reales debido a que tienen una dinámica no lineal. Para tratar de solucionar

los problemas de no linealidad de los modelos matemáticos, se han desarrollado teorías alternativas entre la que se encuentra la "Teoría de Caos" y los "Fractales". Estos sistemas con comportamiento aparentemente aleatorios pueden ser modelados matemáticamente por ecuaciones que tienen un componente claramente determinístico, pero que involucran, la incertidumbre como parte del sistema (Mouronte, 2004). Por estas razones se utilizó el modelo de Ricker para realizar este trabajo, ya que permite estudiar la dinámica de poblaciones considerando la evolución de una población con comportamiento no lineal. Para evidenciar el comportamiento no lineal, previo al modelo de Ricker, se realiza un ajuste lineal y un modelo de optimización lineal. Para ello se utilizó la data poblacional reportada por la G.S.A.C.E sobre los adultos capturados durante los años 2002 al 2008. En este trabajo se consideraron reportes para, en función de ellos, evaluar la ecuación de Ricker y así establecer una ecuación que rige la dinámica poblacional de la polilla *Hylesia metabus*.

En general el objetivo de este trabajo es estudiar la dinámica poblacional de *Hylesia metabus*, mediante el modelo poblacional de Ricker, y en términos más específicos utilizar la data poblacional reportada por G.S.A.C.E sobre los adultos capturados durante los años 2002 al 2008, evaluar la ecuación de Ricker y establecer una ecuación que rige la dinámica poblacional de la polilla *Hylesia metabus* y así contribuir con una herramienta matemática que pueda ser utilizada para comprender la dinámica del insecto estudiado, ya que *Hylesia metabus* es un grave problema de salud pública para las regiones afectadas.

MARCO TEÓRICO.

Población

Una población biológica se define como un conjunto de organismos (individuos) de la misma especie; esto significa que comparten propiedades biológicas que ocasionan una alta cohesión reproductiva y ecológica del grupo. (La cohesión reproductiva implica el intercambio de material genético entre los individuos. La cohesión ecológica está referida a la presencia de interacciones entre ellos, resultantes de poseer requerimientos similares para la supervivencia y la reproducción). Sin embargo, una especie puede ser dividida en una serie de poblaciones. Los individuos de una población comparten la misma influencia de los factores físicos y biológicos ambientales (Jorge, 1993).

Debido a esto es que los integrantes de cada población cambian con el tiempo, cambiando también la estructura y composición de la población. La población tenderá entonces a aumentar o a disminuir, o podrá mantenerse estable y en equilibrio, pero siempre será como resultado del balance existente entre los factores contrapuestos que ocasionan su activa y constante renovación.

Dinámica de una población

La dinámica de poblaciones es el estudio de los cambios que sufren las comunidades biológicas así como los factores y mecanismos que los regulan. Es una rama de la biología que con el auxilio de otras ciencias, principalmente de las matemáticas, informática, y física, trata de describir y cuantificar los cambios que continuamente ocurren en el tamaño y/o densidad de las poblaciones naturales y se basa en tres pilares fundamentales: una serie de principios teóricos generales que subyacen al

cambio poblacional, la formalización e interpretación de estos principios a través de modelos matemáticos, y por último, la interpretación de estos principios y modelos en términos de mecanismos biológicos (Andrewartha, 1971).

La necesidad de expresar la evaluación de un modo cuantitativo se resuelve mediante el uso de modelos que permiten ajustar la información disponible a las posibles concepciones sobre el comportamiento dinámico de las poblaciones. Un modelo es una representación simplificada de la naturaleza que permite explicar sistemas complejos donde varios procesos operan simultáneamente; el conjunto de ecuaciones que representan los procesos en los que se están interesados es lo que se llama un modelo matemático (Burgman *et al.*, 1993).

No existe en la actualidad un modelo poblacional que rija la dinámica poblacional de *Hylesia metabus*, un modelo de este tipo sería de gran ayuda ya que de simular de manera ampliamente aceptada la dinámica poblacional de este insecto, ayudaría a estar preparado para atacar el problema que este genera a las comunidades que habita.

Modelos de crecimiento poblacional

Muchas veces los ecólogos utilizan modelos relativamente muy sencillos para estudiar el comportamiento de los sistemas naturales. Los modelos matemáticos de las ciencias e ingenierías se han desarrollado para ayudar a la comprensión de los fenómenos físicos. Unos de los modelos más básicos son los que describen el crecimiento de las poblaciones, relacionando el número de individuos que se encuentran en una población en un momento dado.

Los modelos de crecimiento más comunes son el modelo de crecimiento exponencial y el modelo de crecimiento logístico (Saber, E. 1999).

El modelo de crecimiento exponencial

A primera vista suena extraño querer describir el crecimiento de la población de una especie por medio de ecuaciones diferenciales ya que el tamaño de las poblaciones siempre se mide con números enteros por lo cual el tamaño de la población no podría ser diferenciable con respecto al tiempo, pero si la población es grande y se incrementa en uno, el cambio es muy pequeño comparado con el tamaño de la población, así que, se toma la aproximación de que poblaciones grandes cambian continuamente, e incluso de manera diferenciable con respecto al tiempo (Kot, 2001).

El modelo exponencial busca representar matemáticamente el crecimiento de diferentes tipos de poblaciones en relación al tiempo, este modelo tiene una variable N_t que indica el tamaño de la población en el tiempo t . Cuando $t = 0$, N_0 indica el número de individuos en el punto inicial. La unidad que se use para t puede variar dependiendo del organismo del que se trate, t puede simbolizar minutos como en el caso de algunas bacterias o protozoarios, o años en el caso de los humanos. Existen factores que cambian el número de individuos de una población, estos factores son nacimientos (B), muertes (D), inmigraciones (I) y emigraciones (E) y con esto se tiene la siguiente relación para el tiempo $t + 1$:

$$N_{t+1} = N_t + B - D + I - E \quad (1)$$

Y el cambio del número de individuos en la población será:

$$\Delta N = B - D + I - E \quad (2)$$

Si se supone que se tratara de una población cerrada es decir no existe ni inmigración ni emigración de individuos, se tiene que el cambio en el número de individuos es:

$$DN = B - D \quad (3)$$

Si además se supone que el crecimiento de la población es continuo. Esto significa que el cambio del número de individuos en una población cambia en intervalos infinitamente pequeños, como consecuencia de esto el crecimiento de la población describe una curva suave lo cual implica que la tasa de

crecimiento de la población es $\left(\frac{dN}{dt}\right)$. De esta manera el crecimiento poblacional que se describe es el cambio del tamaño de la población (dN) durante un intervalo muy pequeño de tiempo (dt) ,

$$\frac{dN}{dt} = B - D \quad (4)$$

La tasa de nacimientos es directamente proporcional al tamaño de la población, sea b el número de nacimientos por individuos por unidad de tiempo (tasa instantánea de natalidad), si se considera un intervalo de tiempo muy pequeño, el número de nacimientos en la población es el producto de b y el tamaño de la población:

$$B = bN \quad (5)$$

De igual forma, se define d como la tasa instantánea de mortalidad (muertes/(individual * unidad de tiempo)), esta tasa en un intervalo corto de tiempo multiplicada por el tamaño de la población es la tasa de mortalidad:

$$D = dN \quad (6)$$

Con las anteriores definiciones se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = (b - d)N \quad (7)$$

y se determina $b - d = r$ (la tasa instantánea de crecimiento) r en ocasiones es llamada tasa intrínseca de crecimiento o el parámetro de Malthus. Este parámetro determina si la población crece exponencialmente ($r > 0$), permanece constante ($r = 0$) o decrece a la extinción ($r < 0$).

$$\frac{dN}{dt} = rN \quad (8)$$

Esta ecuación es un modelo simple de crecimiento poblacional exponencial. Al resolver la ecuación se obtiene lo siguiente:

$$N_t = N_0 e^{rt} \quad (9)$$

Esta función proporciona una aproximación al tamaño de la población en el tiempo t .

Este modelo es conocido como modelo determinista y es útil únicamente bajo los siguientes supuestos: que se trate de una población cerrada, b y d sean constantes, que las tasas de natalidad y mortalidad no sean afectadas por la estructura genética de los individuos, que no exista diferencia en b y d entre los individuos por diferencias de tamaño o edad y se asume que los individuos están naciendo y muriendo en forma continua.

Modelo de crecimiento logístico

En el modelo logístico se asume que los recursos necesarios para el crecimiento y la reproducción son limitados y estos factores alteran el tamaño

de la población y este a su vez altera las tasas de mortalidad y de natalidad, al modelo que considera todos estos factores se le denomina modelo de crecimiento logístico, este modelo tiene dos versiones, la continua y la discreta, y estas a su vez tienen algunas variantes (Kot, 2001). Para poder empezar a hablar del modelo logístico continuo se parte de una ecuación de crecimiento familiar:

$$\frac{dN}{dt} = (b' - a')N \quad (10)$$

Pero en esta ecuación b' y a' dependen de la densidad y reflejan la magnitud de la población.

Cuando aumenta la magnitud de la población se espera que la tasa de natalidad por persona disminuya a causa de la falta de alimento y la escasez de recursos que son necesarios para que los organismos se reproduzcan. La fórmula más simple para la tasa de natalidad es una línea recta:

$$b' = b - aN \quad (11)$$

En esta expresión N es el tamaño de la población, b' es la tasa instantánea de natalidad, y b y a son constantes si N es cercana a cero, la tasa de natalidad esta cerca de b y si N es muy grande b' se aproxima a cero. La constante b es la tasa de natalidad que debe estar por debajo de las condiciones ideales, mientras que b' es la tasa actual de natalidad, que se reduce entre mayor es la concentración individuos en la población. De esta forma, b tiene la misma interpretación que en el modelo de crecimiento exponencial, este es la tasa instantánea de natalidad cuando los recursos son ilimitados.

La constante a mide la fuerza de la dependencia de la densidad. Cuando a

es muy grande se incrementa la tasa de natalidad la cual cambia con cada individuo que se adhiere a la población. Si no existe la dependencia de la densidad entonces $a = 0$ y la tasa de natalidad es igual a b , pase lo que pase con el tamaño de la población. Por lo cual el modelo de crecimiento exponencial es un caso particular del modelo de crecimiento logístico en este caso la magnitud de la población no tiene efectos en la tasa de natalidad ($a = 0$) o en la tasa de mortalidad ($c = 0$).

Análogamente a lo anterior, se puede modificar la tasa de mortalidad que refleja la dependencia de la densidad. En este caso, se espera que la tasa de mortalidad se incremente a la vez que la población crece:

$$d' = d + cN \quad (12)$$

La constante d es la tasa de mortalidad cuando el tamaño de la población está cerca de cero, y el crecimiento de población es exponencial. La constante c mide el incremento en la tasa de mortalidad por la dependencia de la densidad.

Los efectos de la magnitud de la población en las tasas de mortalidad y natalidad se describen a través de modelos lineales pero en la vida real estos efectos son más complicados.

Usualmente en el contexto de dinámica poblacional, el efecto Allee describe una situación en la cual la tasa de crecimiento poblacional decrece bajo alguna densidad crítica mínima, o bien una reducida capacidad de crecimiento poblacional. En algunos casos esta tasa de crecimiento puede aun ser negativa, originando un umbral de extinción (Bascompte, 2003).

Este efecto, descrito por primera vez por Warder Clyde Allee y sus colaboradores, se refiere a cualquier proceso por medio del cual un componente cualquiera de la adaptabilidad está correlacionada con el tamaño poblacional (Bascompte, 2003).

En una población, cualquier mecanismo ecológico que pueda llevar a una relación positiva entre un componente medible de la adaptabilidad individual y el número o densidad de los conespecíficos (individuos de la misma especie) puede ser llamado un mecanismo de efecto Allee (Kent et al., 2003).

El efecto Allee es muy importante cuando se trata de poblaciones pequeñas y pueden causar un punto mínimo en el tamaño de la población hasta llegar a su extinción. Pero al crecer la población se esperan efectos negativos, por que la densidad aparece cuando los recursos se ven reducidos.

El modelo logístico en el que se reflejan los efectos de la densidad en una población se resume en la siguiente expresión:

$$\frac{dN}{dt} = [(b - aN) - (d + cN)]N \quad (13)$$

y al agrupar términos se obtiene:

$$dN/dt = [(b - d) - (a + c)N]N \quad (14)$$

Se multiplica la expresión por $\left[\frac{b - d}{b - d}\right]$ y se encuentra:

$$\frac{dN}{dt} = [(b - d) - (a + c)N]N \left[\frac{b - d}{b - d}\right] \quad (15)$$

$$\frac{dN}{dt} = \left[\frac{b-d}{b-d} - \frac{a+c}{(b-d)N} \right] N(b-d) \quad (16)$$

si se supone que: $b-d = r$

$$\frac{dN}{dt} = \left[1 - \frac{a+c}{(b-d)N} \right] Nr \quad (17)$$

Como a , b , c , d son constantes, se puede definir:

$$k = \frac{b-d}{a+c} \quad (18)$$

k se puede interpretar como la capacidad sustentable por el medio ambiente y representa el máximo del tamaño de la población que puede ser soportada. En esta se engloban factores como la cantidad de espacio disponible, la comida y refugio. En este modelo los recursos disminuyen cuando se incrementa la magnitud de la población. Al sustituir k en la ecuación se obtiene:

$$\frac{dN}{dt} = \left[1 - \frac{N}{k} \right] Nr \quad (19)$$

Esta es la ecuación de crecimiento logístico la cual se introdujo a la ecología en 1838 por P.F. Verhulst (1804 – 1849). Esta simple ecuación describe el crecimiento de la población con recursos limitados en el medio ambiente y forma la base de los modelos en la ecología.

Modelo de Ricker

Para una población dependiente de la densidad y con generación discreta se tiene que:

$$N_t = R_0^t N_0. \quad (20)$$

donde, R_0^t es la tasa de reproducción neta (constante), N_t es el tamaño de la población en la generación t , y N_0 el tamaño de la población inicial.

Cuando el crecimiento poblacional depende de la densidad, la tasa reproductiva neta ya no es constante, sino que decrece linealmente con la densidad. Cuando N pasa un determinado valor, R_0^t se hace menor que 1 ($R_0^t < 1$). El punto donde N genera un R_0^t igual a 1 se llama punto de equilibrio ($R_0^t = 1$ y $N_t = N$ implica crecimiento 0).

Para ver mejor esto, se representa $\frac{N_t}{N_{t+1}}$ frente a N_t .

- Cuando N_t es muy pequeño, se tiene que:

$$\frac{N_t}{N_{t+1}} = \frac{R_0^t N_0}{R_0^{t+1} N_0} \quad (21)$$

$$\frac{N_t}{N_{t+1}} = \frac{1}{R} \quad (22)$$

- Cuando N_t es muy grande, y $R = 1$, se obtiene:

$$N_{t+1} = \left[\frac{R_0^{t+1} N_0}{R_0^t N_0} \right] N_t \quad (23)$$

$$N_{t+1} = N_t \quad (24)$$

entonces:

$$\frac{N_t}{N_{t+1}} = 1 \quad (25)$$

es el punto de equilibrio, y se denomina a este valor de N como k_0 la pendiente de la recta que está dada por:

$$\frac{1 - \frac{1}{R}}{k - 0} \quad (26)$$

Con esta consideración, una población cuya tasa de reproducción neta disminuye linealmente con el tamaño poblacional crece según la siguiente ecuación:

$$\frac{N_t}{N_{t+1}} = \left[\frac{1 - \frac{1}{R}}{k} \right] N_t + \frac{1}{R} \quad (27)$$

$$\frac{N_t}{N_{t+1}} = \left[\frac{R-1}{Rk} \right] N_t + \frac{1}{R} \quad (28)$$

$$\frac{N_t}{N_{t+1}} = \frac{1}{R} \left[\left[\frac{R-1}{k} \right] N_t + 1 \right] \quad (29)$$

$$RN_t = \left\{ \left[1 + \frac{R-1}{k} \right] N_t \right\} N_{t+1} \quad (30)$$

$$N_{t+1} = \frac{RN_t}{\left\{ 1 + \left[\frac{R-1}{k} \right] N_t \right\}} \quad (31)$$

$$N_{t+1} = N_t e^{R \left(1 - \frac{N_t}{k} \right)}, \quad (32)$$

donde $N_t, K \in \mathbb{R}^+$, $t = 0, 1, 2, \dots$. Esta expresión es una ecuación de tipo Ricker, donde N_t es el número de individuos (la generación actual), N_{t+1} es el número de individuos en el tiempo $t+1$ (la próxima generación), K el equilibrio de la densidad de población y R la tasa de crecimiento intrínseco (Kot, 2001).

La ecuación (32) describe una población propensa a un crecimiento exponencial simple con bajas densidades, y una tendencia a decrecer en altas densidades. La pendiente de este comportamiento no lineal es ajustada por el parámetro R . El modelo es recomendable para una población de especies simple, a menudo pueden ser usados para predecir el tamaño de algunas poblaciones después de cierto tiempo discreto t , esta clase de modelos funciona bien cuando los individuos de una población se reproducen sólo durante periodos específicos, o cuando las poblaciones pasan a través de distintos ciclos de reproducción, un ejemplo de estos animales es *Hylesia metabus*. Este modelo descrito en la ecuación (32) representa un modelo de la familia tipo Ricker (Brauer y Castillo, 2001; Kot, 2001), que es un modelo discreto frecuentemente utilizado en dinámica de poblaciones.

A pesar de que tradicionalmente se ha prestado una mayor atención al estudio de los sistemas lineales, conceptualmente más simples y matemáticamente más fáciles de resolver, una gran mayoría de los problemas de interés en física involucran ecuaciones no lineales que exhiben una rica variedad de comportamientos dinámicos. Esto incluye la posibilidad de comportamiento aleatorio, incluso en sistemas de pocos grados de libertad, en los cuales las trayectorias se entremezclan entre sí de forma errática y turbulenta, de manera que resulta imposible toda predicción detallada para tiempos largos.

Estimación de los parámetros R y k de la ecuación de Ricker (32)

Con la descripción cualitativa de los datos, hay que ser más específicos acerca de cómo se pudieron estimar los valores de los dos parámetros R y k de los datos. Para ello, se manipuló la ecuación (32) del modelo siguiendo los pasos:

$$\frac{N_{t+1}}{N_t} = e^{R\left(1 - \frac{N_t}{k}\right)} \quad (33)$$

$$\ln\left(\frac{N_{t+1}}{N_t}\right) = R\left(1 - \frac{N_t}{k}\right) \quad (34)$$

$$\ln\left(\frac{N_{t+1}}{N_t}\right) = \left(-\frac{R}{k}\right)N_t + R \quad (35)$$

Esta disposición final de la ecuación de Ricker, se puede observar que tomó la forma de una ecuación lineal de la forma:

$$y = mx + b \quad (36)$$

con:

$$y = \ln\left(\frac{N_{t+1}}{N_t}\right), \quad x = N_t \quad (37)$$

donde:

$$m = -\frac{R}{k} \text{ (Pendiente), y } b = R \text{ (corte con el eje } y \text{)} \quad (38)$$

Escribir el modelo de esta forma es una herramienta poderosa. Se puede trazar $\ln\left(\frac{N_{t+1}}{N_t}\right)$ versus N_t y tratar de ajustar una línea de tendencia a través

de los puntos de los datos. Con el corte con el eje y , y la pendiente de la línea de tendencia, se pueden estimar los valores de los parámetros R y k del modelo.

Diagrama de recurrencia (cobwebs)

Consideremos un sistema dinámico discreto, $x(n+1) = f(x(n))$. Un método gráfico muy utilizado para hallar el valor de la sucesión de puntos $\{x(n)\}$ y de los puntos de convergencia consiste en realizar una representación gráfica de la función f , denominada diagrama de recurrencia.

Desde $x(n+1) = f(x(n))$, se puede dibujar un gráfico de f en el plano $(x(n), x(n+1))$. Entonces, teniendo en cuenta que $x(0) = x_0$, determina el valor $x(1)$, se traza una línea vertical a través de x_0 para que se intercepte con la gráfica de f en $(x_0, x(1))$. A continuación, se dibuja una línea horizontal desde $(x_0, x(1))$ para satisfacer la línea diagonal $y = x$ en el punto $(x(1), x(1))$. Ahora se traza una línea vertical desde el punto $(x(1), x(1))$ que se unirá con la gráfica de f en el punto $(x(1), x(2))$. Continuando con este proceso, se pueden encontrar $x(n)$ para todos, $n > 0$. (Saber, 1999).

Parámetros estimados de los datos mediante un ajuste no lineal, usando Solver de Excel

Solver de Excel resulta útil para encontrar la curva que ajuste a un conjunto de datos a la ecuación del modelo, cuando estos son no lineales. Como el conjunto de valores mostrado en este trabajo según se observa en la tabla 1. Es una herramienta para resolver y optimizar ecuaciones mediante el uso de métodos numéricos. Solver se puede utilizar para optimizar funciones de una

o más variables, sin o con restricciones. Microsoft Excel Solver utiliza diversos métodos de solución, dependiendo de las opciones que se seleccionen. Para los problemas de programación lineal utiliza el método Simplex, para problemas lineales enteros utiliza "Branch and Bound y para problemas no lineales utiliza el código de optimización no lineal (GRG2).

Solver de Excel sirve para resolver problemas de optimización lineal y no lineal; también se pueden indicar restricciones enteras sobre las variables de decisión. Además es posible resolver problemas que tengan hasta 200 variables de decisión, 100 restricciones explícitas y 400 simples (cotas superior e inferior o restricciones enteras sobre las variables de decisión).

Controla la precisión de las soluciones utilizando el número que se introduce para averiguar si el valor de una restricción cumple un objetivo o satisface un límite inferior o superior. Debe indicarse la precisión mediante una fracción entre 0 y 1. Cuantos más decimales tenga el número que se introduzca, mayor será la precisión; por ejemplo, 0,0001 indica una precisión mayor que 0,01. Cuanto mayor sea la precisión, más tiempo se tardará en encontrar una solución.

Con Solver, se puede buscar el valor óptimo para una celda, denominada celda objetivo, en donde se escribe la fórmula de la función objetivo $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. El porcentaje mediante el cual la celda objetivo de una solución que satisfaga las restricciones externas puede diferir del valor óptimo verdadero y todavía considerarse aceptable. Esta opción sólo se aplica a los problemas que tengan restricciones enteras. Una tolerancia mayor tiende a acelerar el proceso de solución.

Solver cambia los valores de un grupo de celdas, denominadas celdas cambiantes, y que estén relacionadas, directa o indirectamente, con la fórmula de la celda objetivo. En estas celdas se encuentran los valores de las variables de decisión x_1, x_2, \dots, x_n .

Los modelos más realistas tienen factores de restricción que es necesario aplicar a ciertos valores. Estas restricciones se pueden aplicar a las celdas de las variables de decisión (celdas cambiantes) o a cualquier otra celda que tenga una función (fórmula) de estas celdas.

Se puede agregar restricciones a Solver, escribiendo una fórmula $g_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$ en una celda, y especificando que la celda deberá ser mayor o igual, igual, o menor o igual que otra celda que contiene la constante b_j .

También, si fuese el caso, se puede especificar que los valores sean enteros, para evitar resultados absurdos en algunos problemas.

MARCO METODOLÓGICO

Metodología

Se obtuvo la data poblacional de *Hylesia metabus* durante los años 2002 al 2008, reportada por la Gerencia de Saneamiento Ambiental y Control de Endemia.

Se tomó la ecuación (32) del modelo de Ricker deducida anteriormente, y fue ajustada bajo ciertas consideraciones a una expresión del mismo tipo pero, que de resultados considerables desde el punto de vista biológico.

Ajuste del modelo de Ricker

Si se sustituye $x_t = N_t/k$ en la ecuación (32), para seguir la conversión, y así obtener la forma familiar:

$$x_{t+1} = g(x_t) = x_t \exp[R(1 - x_t)] \quad (39)$$

Este modelo es particularmente útil ya que demuestra el crecimiento lógico. En pequeñas densidades de población, con poca competencia por los recursos dentro de las especies, la población exhibe un crecimiento exponencial que es insostenible en última instancia, sin embargo, cuando la densidad de población se aproxima a la capacidad de carga del medio ambiente, la tasa de crecimiento disminuye y los niveles de la población se estabilizan.

El comportamiento de muchas poblaciones no se puede modelar usando solamente la ecuación (39) sin embargo, a medida que se ven afectados por un término de perturbación adicional u :

$$x_{t+1} = x_t \exp[R(1 - x_t)] + u \quad (40)$$

que son útiles en modelado de poblaciones donde los individuos aumentan en determinados lapsos de tiempo. Los efectos sobre el comportamiento del modelo, debido a la adición de términos de perturbación constante han sido estudiados en profundidad por McCallum (McCallum, 1992). Obteniendo como resultado que:

- $u > 0$, mantiene controlada la cantidad de individuos en el ambiente (inmigración en el ambiente).
- $u < 0$, crecimiento a rata constante, emigración del ambiente, predación (con número constante de predadores).

En muchas poblaciones la cantidad de individuos que son reclutados o cosechados de la población no son totalmente independientes de la densidad de población (Royama, 1977; Berryman, 1981). El término perturbación ha sido una constante o término de cosecha (ya sea positivo o negativo), o ha sido variable discreta aleatoria cuya distribución es independiente de la densidad de población. En poblaciones abiertas, donde los individuos son libres de unirse o dejar a la población a voluntad, la abundancia o escasez de recursos juegan un papel importante en la decisión de si en general los individuos entren o salgan de la población. Con mayor densidad de población, es de esperar una tendencia general de los individuos a dejar la población, mientras que lo contrario se podría esperar de una baja densidad de población. Así que se busca un modelo de la forma:

$$x_{t+1} = x_t \exp[R(1 - x_t)] + d_{x_t} \quad (41)$$

donde d_{x_t} es una variable aleatoria, cuya distribución depende de la densidad de población x_t en un tiempo t .

Se desea utilizar el modelo de Ricker con un término de perturbación aleatoria d_{x_t} , que simulará la migración al azar. Para construir este término de migración al azar, se busca una función, $M(x)$, que se usa como la migración neta de la población media. Este es el valor medio sobre el cual se centra la distribución del término migración aleatorio. Para simular los efectos estocásticos, a esto se le añade la migración neta promedio de un término de ruido aleatorio ε_t . Así, el término perturbación aleatoria d_{x_t} se convierte en

$$d_{x_t} = M(x_t) + \varepsilon_t \quad (42)$$

y (41) se puede escribir como:

$$x_{t+1} = x_t \exp[R(1 - x_t)] + M(x_t) + \varepsilon_t \quad (43)$$

siendo ε_t una variable aleatoria normal ($\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon(x_t)^2)$). se puede calcular el valor esperado y la varianza de la densidad de población en el tiempo $t + 1$ dada la densidad de población en el tiempo t . La distribución normal ε_t se centra en torno a cero, y por lo tanto para el valor esperado del término migración se obtiene.

$$E(d_t) = E(M(x_t)) + E(\varepsilon_t) = M(x_t) \quad (44)$$

A continuación, se deduce que el valor esperado de cada intervalo de tiempo se puede determinar debido al tamaño de la población en el paso de tiempo anterior, y es independiente de la desviación estándar de la función utilizada:

$$E(x_{t+1}) = E(x_t \exp[R(1 - x_t)] + d_t) = x_t \exp[R(1 - x_t)] + M(x_t) \quad (45)$$

Por otra parte, la varianza de la población en cada año, también se puede determinar, dado el tamaño de la población en el año anterior

$$\text{VAR}(x_{t+1}) = \text{VAR}(g(x_t) + M(x_t) + a_t) = \text{VAR}(a_t) = \sigma_a^2(x_t)^2 \quad (46)$$

y depende de nuestra elección para la desviación estándar de la función de migración.

Para asegurar que este modelo de resultados biológicamente factibles, se formulan las siguientes consideraciones:

1. Existe un valor C_0 el cual es el tamaño de la población a la cual $M(C_0) = 0$.
2. $C_0 = k$ (capacidad de adaptación al ambiente).
3. $M(x_t)$ es una función de decrecimiento del tamaño de la población.
4. Valores negativos de d_{x_t} deberían estar en valor absoluto menor o igual a la densidad poblacional para todos los períodos temporales.
5. La desviación estándar de la variable aleatoria d_{x_t} debería ser una función creciente de la densidad poblacional.
6. La extinción es improbable, excepto para pequeñas densidades poblacionales.

Con los supuestos mencionados anteriormente, ahora se puede hacer una selección de la función $M(x_t)$. Tal vez la opción más fácil surge si se permite que la migración neta promedio tiene una relación lineal negativa con la densidad de población (recordando que la migración neta positivo significa un flujo general de los animales en la población, mientras que la migración neta negativa, significa un flujo general de los animales fuera de la población). Suponga que $N_0 \ll C_0 = K$.

$$M(x_t) = N_0 - \left(\frac{N_0}{C_0}\right)x_t \quad (47)$$

Hay que tener en cuenta que el valor de $E(x_{t+1})$ pasa a ser negativo para los valores suficientemente alto de x_t , lo que sugiere una posible falla en el modelo.

Como el modelo es defectuoso en el sentido de que permite valores negativos en el tamaño de la población. Como se puede observar, en el límite del modelo,

$$\lim_{x_t \rightarrow \infty} x_{t+1} = \lim_{x_t \rightarrow \infty} [g(x_t) + M(x_t)] = -\infty \quad (48)$$

Los problemas surgen para $x_t \gg 1$. Cuando x_t es grande, $g(x_t)$ se evalúa como un valor positivo pequeño. Mientras tanto, $M(x_t)$ (que es una función lineal decreciente) es un número negativo grande. Por lo tanto, $E(x_{t+1})$ es un número negativo grande, que no tiene sentido biológico. Esto puede corregirse relativamente fácil truncando el modelo, como sigue:

$$x_{t+1} = \max\{g(x_t) + M(x_t), 0\} \quad (49)$$

Otras posibles soluciones a este problema sería incluir el supuesto de que la migración tiene lugar antes de la fase de crecimiento o reproducción, y que el individuo recién llegado afecte el crecimiento de la población. Considerando la siguiente variación del modelo de Ricker, sin ruido en la migración a largo plazo:

$$x_{t+1} = g(x_t + M(x_t)) = (x_t + M(x_t)) \exp \left[R(1 - x_t - M(x_t)) \right] \quad (50)$$

Utilizando la función lineal, como en la migración (39) se obtiene:

$$x_{t+1} = \left(x_t \left(1 - \frac{N_0}{k} \right) + \frac{N_0}{k} \right) \exp \left[R \left(1 - \frac{N_0}{k} - x_t \left(1 - \frac{N_0}{k} \right) \right) \right] \quad (51)$$

(Recordando el supuesto de que $C_0 = K$).

También se puede suponer que la migración tiene lugar después de la fase de crecimiento y nuestro principal modelo se convierte en:

$$x_{t+1} = g(x_t) + M(g(x_t)) = x_t \exp[R(1 - x_t)] + M(x_t \exp[R(1 - x_t)]) \quad (52)$$

Una vez más, utilizando la función lineal de migración y simplificando, entonces el modelo final será:

$$x_{t+1} = x_t \left(1 - \frac{N_0}{k} \right) \exp[R(1 - x_t)] + \frac{N_0}{k} \quad (53)$$

Al calcular el límite de estos modelos $x_t \rightarrow \infty$ se observa que se corrige el problema de la modelización a infinito negativo:

$$\lim_{x_t \rightarrow \infty} g(x_t) + M(x_t) = 0 \quad (54)$$

$$\lim_{x_t \rightarrow \infty} (g(x_t) + M(g(x_t))) = \frac{N_0}{k} \quad (55)$$

Una vez que se obtuvo la ecuación tipo Ricker (53) biológicamente factible, se realizó un ajuste de la data poblacional reportada por G.S.A.C.E. al modelo propuesto, luego se calcularon los parámetros de dicha expresión y finalmente se realizaron la gráficas de evolución de la población para los diferentes parámetros calculados.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Recolección de datos

Por medio de la consulta bibliográfica se obtuvo la data poblacional de *Hylesia metabus*, reportada por la G.S.A.C.E.

Tabla 1. Adultos de *Hylesia metabus* colectados durante el periodo 2002 – 2008.

	Años	Nº de individuos
1	2002	11
2	2003	80
3	2004	10.751.547
4	2005	2.495.045
5	2006	1.040.677
6	2007	245
7	2008	18

Se utilizaron los datos de la población de *Hylesia metabus* (tabla 1) para estudiar como varía la población de este insectos de maneras diferentes en función del tiempo. Como se esperaba a partir de los datos reales (tabla 1), la población de *Hylesia metabus* (Figura 1), no parece seguir un patrón reconocible. De hecho, es difícil extrapolar hacia el futuro y tratar de predecir cómo los datos pueden evolucionar en un período de tiempo más largo.

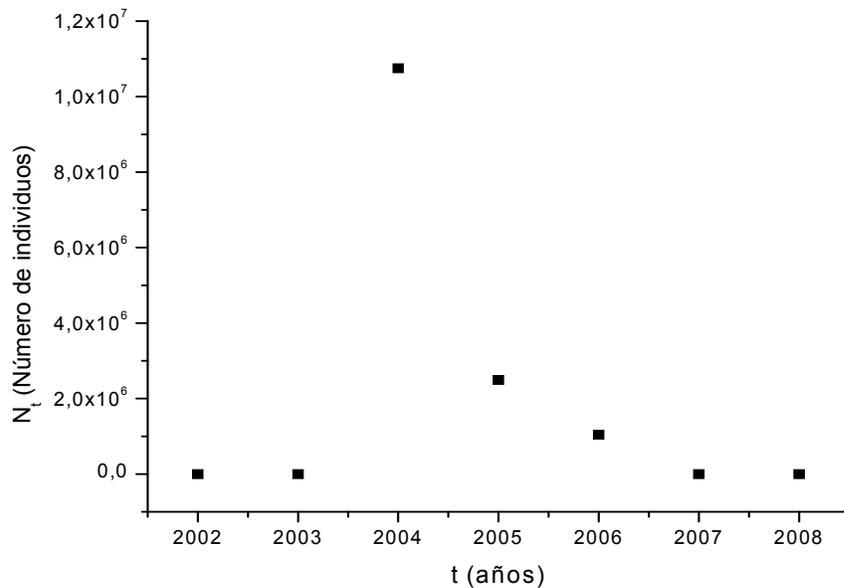


Figura 1. Número de individuos en función del tiempo (años) para *Hylesia metabus*.

Recordando que uno de los supuestos del modelo de Ricker es que la próxima generación es una función de la actual. En un intento de ver esta relación funcional de dos generaciones sucesivas, ahora graficando N_{t+1} en función de N_t . En cuanto a la gráfica mostrada en la figura 2, sin embargo, no está claro qué tipo de "curva", se puede esperar para adaptarse a la gráfica de dispersión.

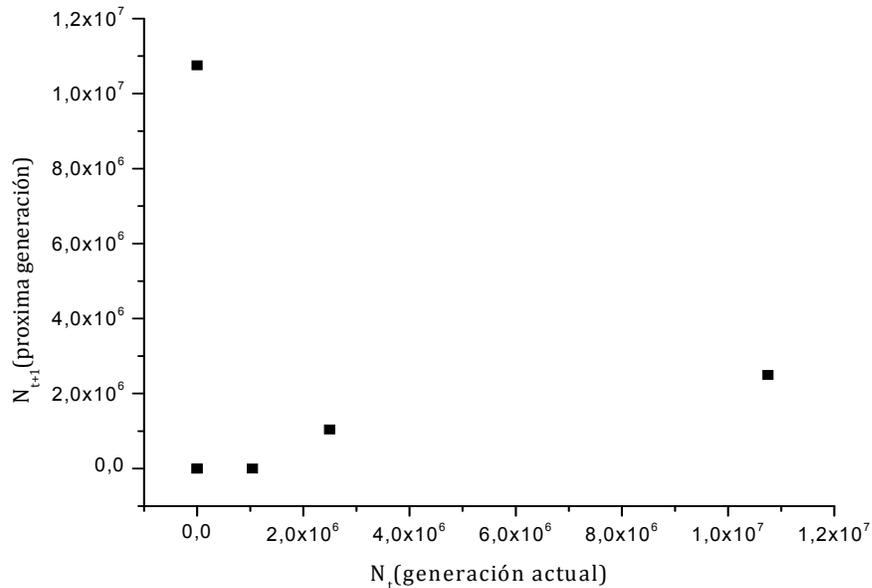


Figura 2. Número de individuos en el tiempo $t + 1$ en función del número de individuo en el tiempo t .

Estimación de los parámetros R y k del modelo de Ricker por medio de un ajuste lineal.

Se representó $\ln\left(\frac{N_{t+1}}{N_t}\right)$ respecto a N_t como un gráfico de dispersión. Luego, se determinó la mejor línea de tendencia para el gráfico de dispersión.

En la gráfica de la Figura 3, los valores de R y k para la población de *Hylesia metabus* puede ser determinado, ya que R se lee directamente como el corte con el eje y , y k es R dividido por la pendiente:

$$R = 0,33$$

$$k = 2644122,88$$

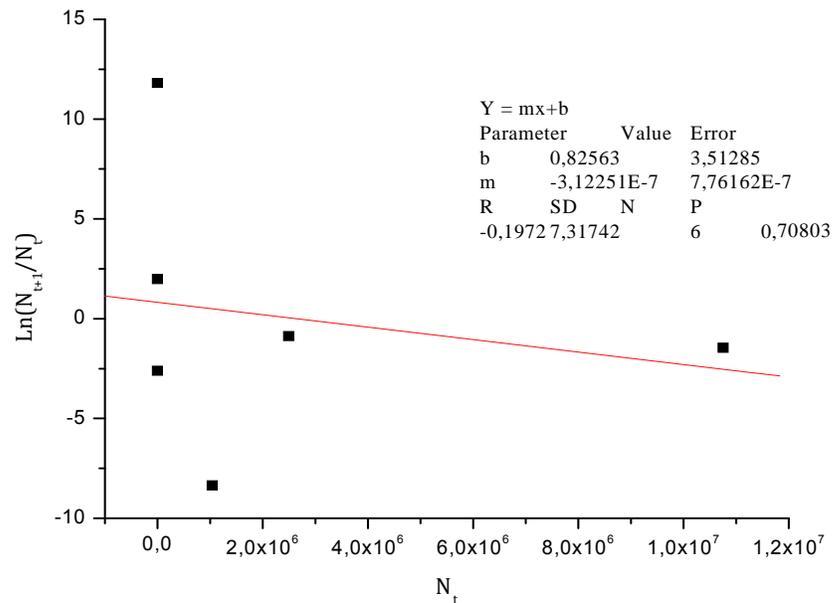


Figura 3. $\ln\left(\frac{N_{t+1}}{N_t}\right)$ en función de N_t

Si los datos se ajustan al modelo a la perfección, entonces todos los puntos deben estar alineados con pendiente igual a $-\frac{R}{k}$. Hay que tener en cuenta que los valores de R y k determinados a partir de esta línea contiene una cantidad considerable de error, ya que la línea de tendencia en sí mismo es sólo una aproximación. Esto se puede apreciar en el gráfico de la Figura 3, donde se observa que el error de la magnitud de la pendiente (m) y el corte con el eje (b), es mucho mayor que sus magnitudes.

En la grafica de la figura 4, se puede ver que a medida que pasa el tiempo, la población (N_t) se acerca a una capacidad de carga (k) de 2644122,83. Esta cifra se corresponde a las condiciones iniciales obtenida a partir de los datos experimentales para el año 2002 (el primer año para el que se dispone de datos), y desde esta condición inicial de 11 es bastante lejano al valor de equilibrio, la gráfica se presenta casi como una línea recta. Es evidente que el comportamiento en la Figura 4 está muy lejos de predecir lo que se muestra en la Figura 1.

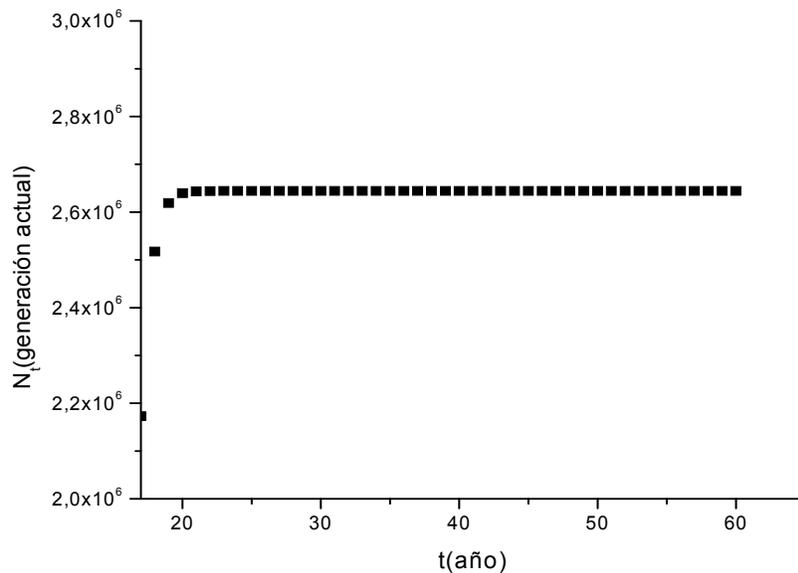


Figura 4. Simulación para 60 generaciones de la población de *Hylesia metabus* para los valores de R y k calculados.

También se simuló lo que sucedería si se elige diferentes condiciones iniciales (diferentes tamaños de población inicial) para los mismos valores fijos de los parámetros R y k . De esta manera se puede evaluar de qué manera se afecta la dinámica si las condiciones iniciales son diferentes.

Es evidente en la Figura 5 que, con una variedad de condiciones iniciales, la población eventualmente llega a la misma capacidad de carga, a menos que,

por supuesto, de empezar con un tamaño de población cero, en cuyo caso la población seguirá siendo cero para todo tiempo futuro.

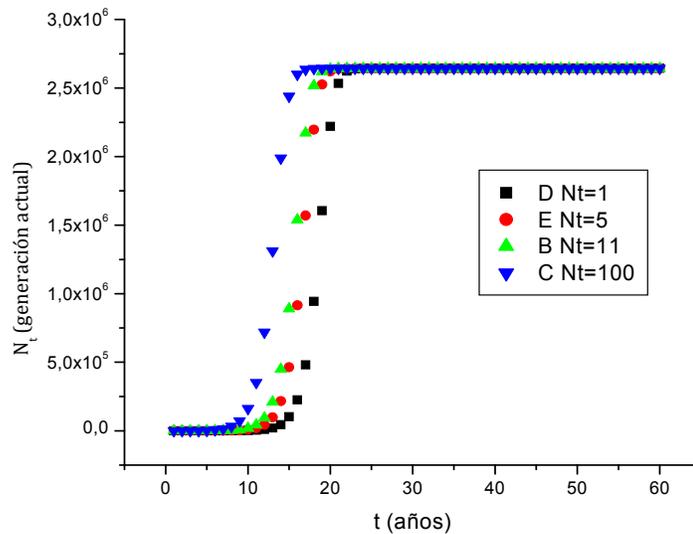


Figura 5. Simulación para 60 generaciones de la población de *Hylesia metabus* para los valores de R y k calculados, pero con diferentes tamaños iniciales de la población.

Parámetros estimados de los datos mediante un ajuste no lineal, usando Solver de excel

Mediante este método los valores de los parámetros calculados son los siguientes:

$R = 0,99$

$$k = 101073,74$$

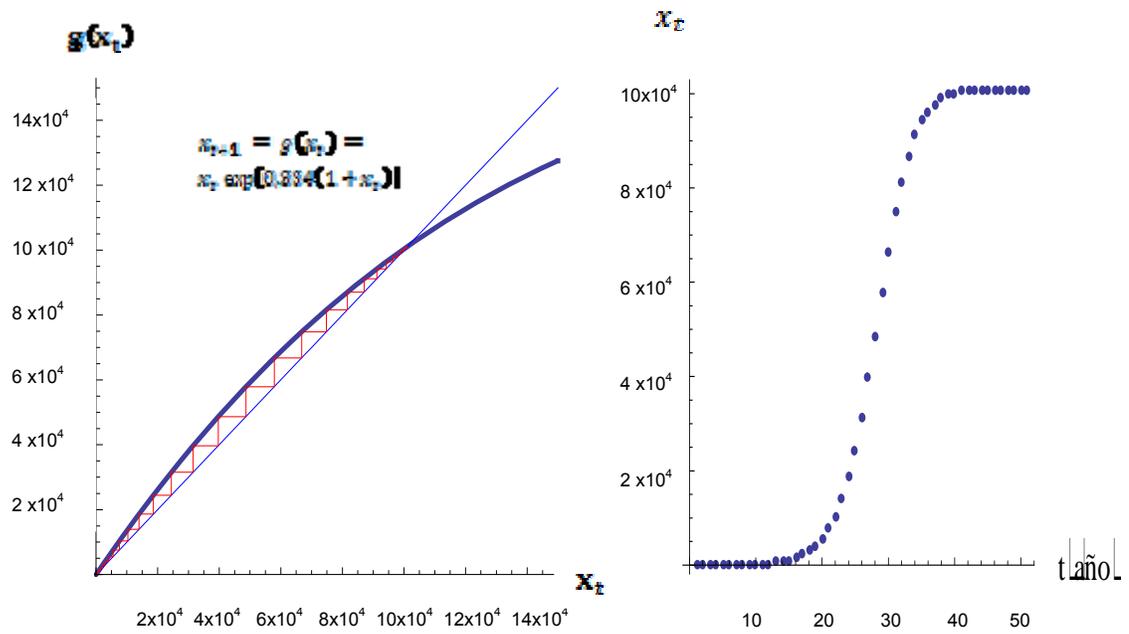


Figura 6. Diagrama de Cobweb y evolución de la población para $R = 0,33$ y $k = 101073,72$

Mediante este método la capacidad de adaptación al ambiente (k), es menor que la obtenida mediante el método de regresión lineal, pero gráficamente tiene el mismo comportamiento de crecimiento exponencial hasta alcanzar el equilibrio. Lo que indica que los datos no se ajustan muy bien al modelo de Ricker, con ninguno de los dos métodos utilizados anteriormente.

Parámetros estimados de los datos mediante el modelo propuesto (ecuación tipo Ricker (53), biológicamente factible)

Se realizó un ajuste del modelo, descrito en la ecuación (53) a la data poblacional, para calcular los parámetros de dicho modelo, obteniendo como resultados los siguientes valores:

$$R = 0,4$$

$$N_0 = 2246309,89$$

$$C_0 = 53687091,70$$

Manteniendo fijo el parámetro R calculado anteriormente pero, variando x_t y a la vez calculando x_{t+1} , para diferentes valores de $\frac{N_0}{C_0}$. Se puede observar en la Figura 7, que la población siempre tiende a un valor constante (capacidad de carga), pero que esta capacidad de carga depende del parámetro $\frac{N_0}{C_0}$. a medida que este parámetro aumenta también aumenta la capacidad de carga de la población.

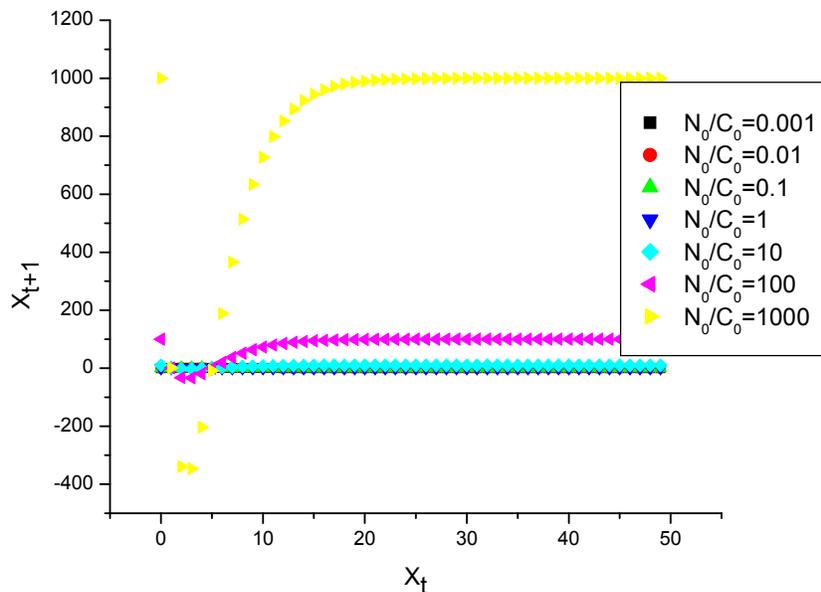


Figura 7. Evolución de la población, para $R = 0.4$ y diferentes valores de N_0 y C_0

Manteniendo fijos los parámetros calculados anteriormente pero, variando R y a la vez calculando x_{t+1} , para diferentes valores de la población actual. Se puede notar en la Figura 8, que para valores pequeños de esta, la próxima generación se mantiene constante a niveles pequeños, pero para una población actual un poco mayor se puede notar que la próxima generación

crece de forma exponencial, pero que a la vez si la población actual es muy grande entonces la próxima generación decrece hasta alcanzar el equilibrio a valores muy cercanos que los obtenidos para poblaciones iniciales pequeñas.

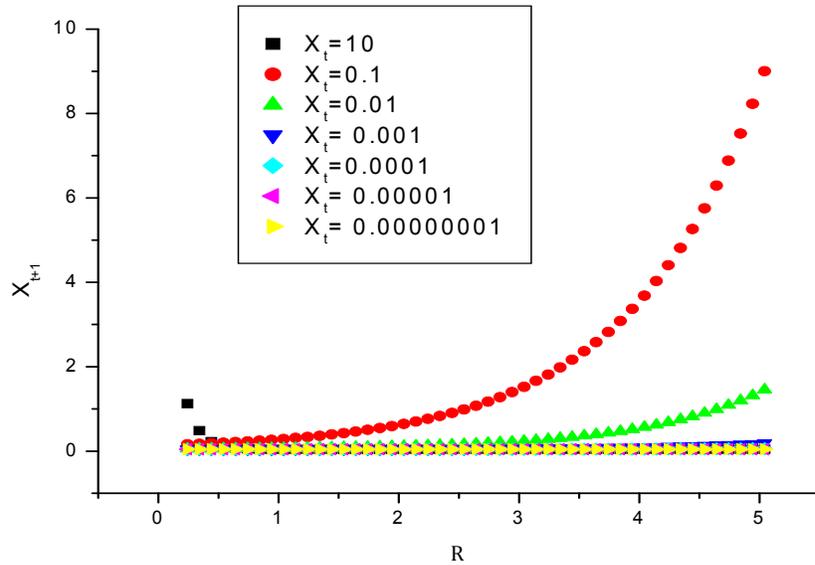


Figura 8. Evolución de la población, para diferentes valores de R , pero manteniendo fijo los parámetros N_0 y C_0 .

La Figura 9, indica que la población se está acercando a un punto fijo asintóticamente estable (1.00) en la intersección de la curva y la línea de 45 grados. Este valor es la capacidad de carga para esta población de acuerdo con el modelo de Ricker de la ecuación 53.

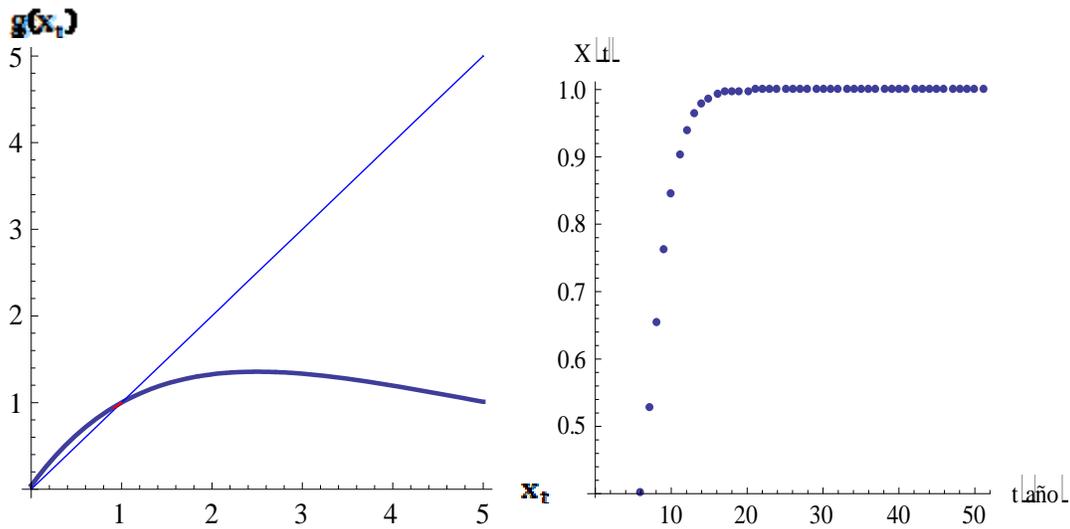


Figura 9. Diagrama de Cobweb y Evolución de la población. Para $R = 0.4$, $N_0 = 2246309,89$ y $C_0 = 53687091,7$

Pequeñas variaciones en el parámetro k no cambian mucho la dinámica cualitativa del modelo. Sin embargo, pequeños cambios en la tasa de crecimiento del parámetro R puede dar lugar a comportamiento aleatorio, en la dinámica de dicho modelo.

Simulando la dinámica de la población de *Hylesia metabus* del modelo para diferentes valores del parámetro R , mientras que se fija el parámetro k .

La población tiende de manera monótona (Figura 10) creciente al punto de equilibrio 1 cuando el tiempo tiende hacia infinito.

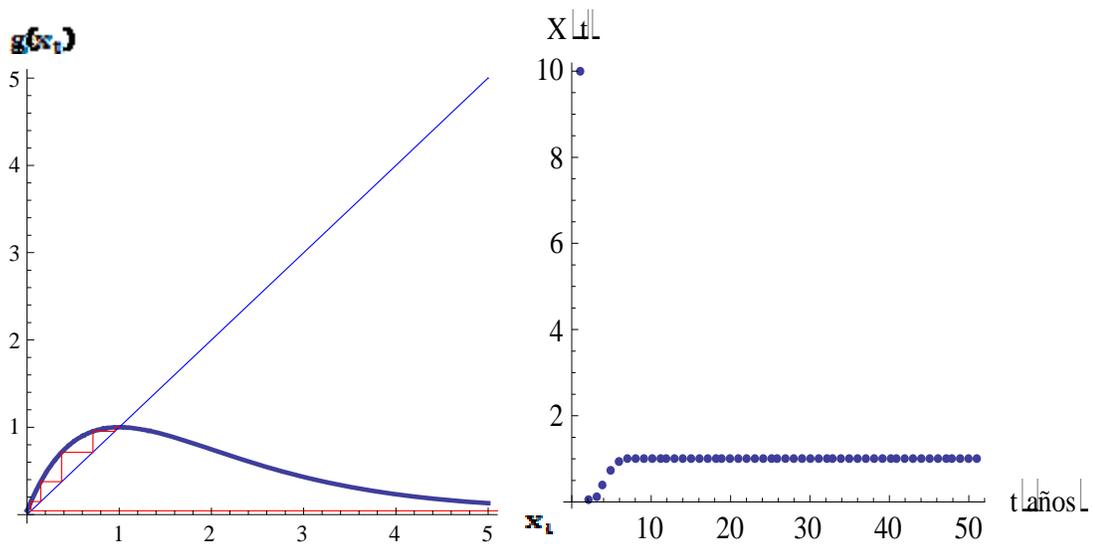


Figura 10. Diagrama de Cobweb y Evolución de la población para $R = 1$, $N_0 = 2246309,89$ y $C_0 = 53687091,70$

En la Figura 11, en este caso la población tiende de una forma oscilatoria al punto de equilibrio 1 cuando el tiempo tiende hacia infinito.

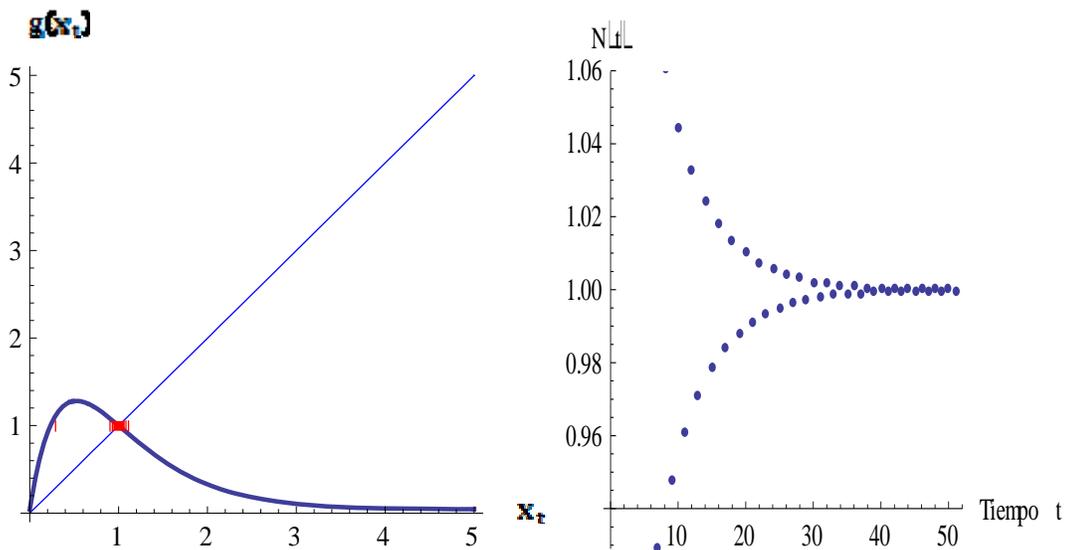


Figura 11. Diagrama de Cobweb y Evolución de la población Para $R = 1.9$, $N_0 = 2246309,89$ y $C_0 = 53687091,70$

En la Figura 12, la población tiene un comportamiento periódico de orden dos, cuando el tiempo tiende hacia infinito.

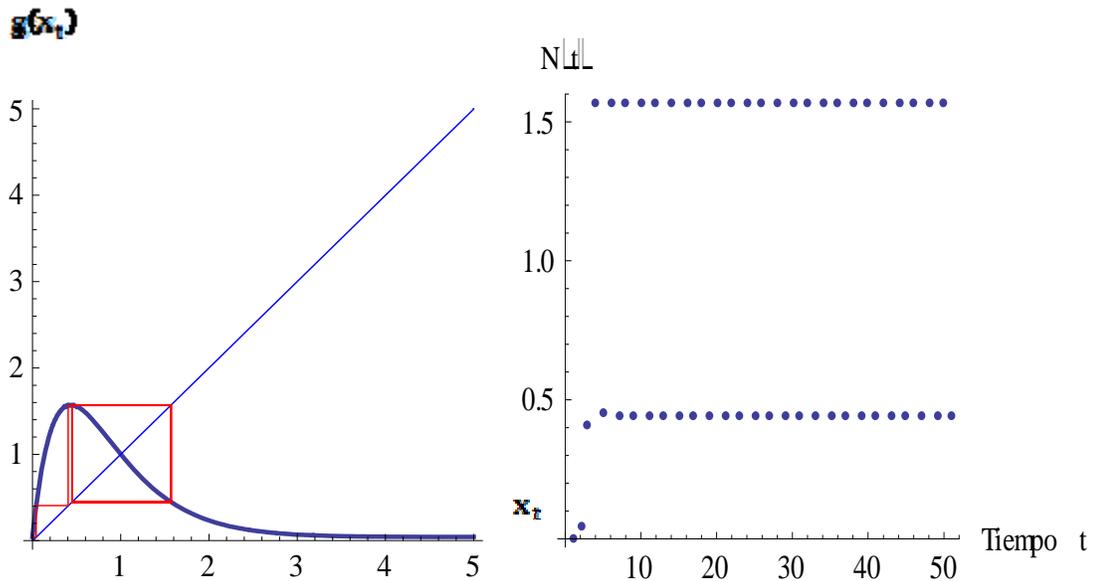


Figura 12. Diagrama de Cobweb y Evolución de la población
 Para $R = 2.3$, $N_0 = 2246309.89$ y $C_0 = 53687091.70$

La Figura 13 muestra un comportamiento no lineal de la población en el tiempo; sin embargo, es notorio la periodicidad de la población, observándose picos poblacionales elevados cada 6 años aproximadamente, este comportamiento es muy característico de *Hylesia metabus*.

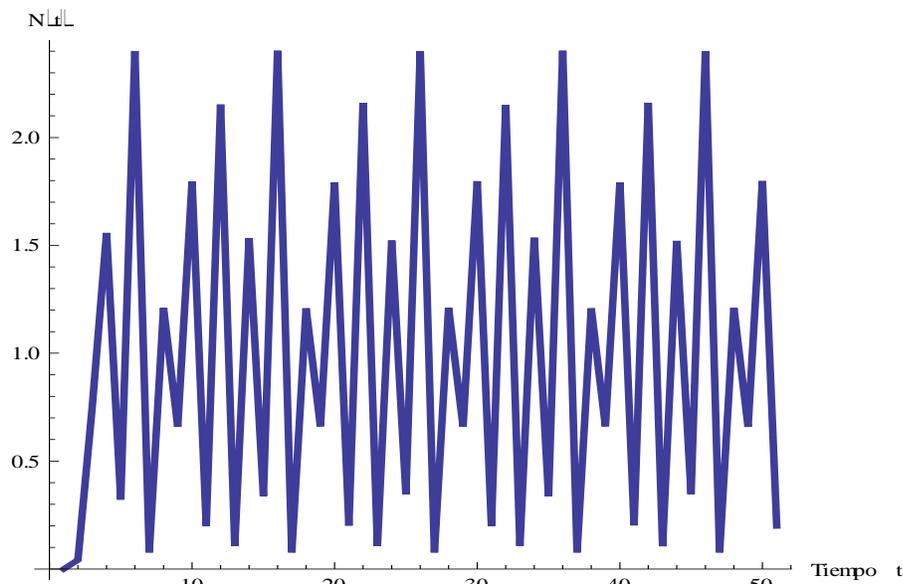


Figura 13. Evolución de la población, para $R = 3$, $N_0 = 2246309,99$ y $C_0 = 53687091,70$

En general la ecuación tipo Ricker (53), biológicamente factible, se evaluó para los valores dados según la G.S.A.C.E. entre los años 2002 – 2008, y se determinaron los parámetros R, N_0, C_0 , para dicha expresión (53), que rige el comportamiento de *Hylesia* en la región considerada, tomando en cuenta el número de adultos reportados. Los resultados muestran que la tendencia de *Hylesia* es a alcanzar un valor constante en el tiempo, que representa la capacidad de carga de dicha población. Al variar el parámetro R se puede observar que de manera monótona la población tiende a un punto de equilibrio, luego tiene un comportamiento oscilatorio al mismo punto de equilibrio, al incrementar un poca más el valor de R tiene un comportamiento periódico de orden dos y finalmente para un valor de $R = 3$ la población tiene un comportamiento periódico (Figura 10, 11, 12, 13). La dinámica de esta población parece comportarse de forma aleatoria, además, al comenzar a hacer las condiciones iniciales ligeramente diferentes, se producen

rapidamente comportamientos muy distintos, esta dependencia de la precisión en las condiciones iniciales significa que la predicción a largo plazo resulta difícil. Esta sensibilidad a las condiciones iniciales es una característica del comportamiento caótico.

Los resultados muestran comportamientos muy distintos con pequeños cambios en las condiciones iniciales, esta sensibilidad a pequeños cambios a las condiciones iniciales indica que la dinámica poblacional estudiada es de características no lineales, claro está que factores tales como hábitat, depredadores, emigración, influencia del hombre no se consideraron en este trabajo. Bajo las características de la zona y la existencia de otros agentes que pueden alterar el ciclo normal de desarrollo de *Hylesia*, se hace necesario profundizar sobre las posibles alteraciones que puede sufrir el comportamiento de la densidad poblacional, la poca información sobre otros agentes, hace imposible su consideración en este trabajo.

Al comparar estos resultados con los valores reportados experimentalmente, se observa que la dinámica poblacional se ve afectada por las condiciones iniciales, siendo la más cercana al comportamiento natural, la observada en la Figura 13, donde se considera las condiciones iniciales $R = 3$, $N_0 = 2246309$ y $C_0 = 53687091$. Lamentablemente no hay reportes en la literatura que permitan comparar los resultados obtenidos con el modelo aplicado y otros modelos.

Rodriguez (2009), evaluo el comportamiento caótico de *Tribolium castaneum* (escarabajo de la harina) originado por el canibalismo en su dinámica de evolución, utilizando un modelo considerado no lineal LPA (Larva, Pupa, Adulto), demostrando que un comportamiento caótico no implica la extinción de la población, igualmente se evidenció la presencia de fenómenos no lineales en poblaciones reales resaltando la importancia de la no linealidad

en ecología. En el modelo LPA, en general es complicado tener acceso a pruebas rigurosas sobre la estabilidad de los equilibrios, los tipos de bifurcación que se presentan y la presencia de caos. Cabe destacar que el modelo LPA , podría ser aplicado para determinar la dinámica poblacional de *H.metabus*, ya que cumple con la no linealidad del modelo, y por las características de su ciclo de vida, ya que cumple con estos tres estadios.

Por otro lado, Aguirre(2008), desarrolló un sistema de ecuaciones diferenciales estocásticas que modelan la dinámica de dos poblaciones, presas y depredadores, en presencia de efecto Allee, para así obtener e interpretar ciertas propiedades cualitativas de las soluciones de las ecuaciones mediante simulaciones numéricas del modelo, y así pronosticar el comportamiento del sistema a largo plazo. Para obtener los resultados se formuló un esquema numérico que probó ser eficaz como método para aproximar soluciones, algo que se esperaba al ser demostrada la convergencia del mismo. Sin embargo, no resultó eficiente, pues implicaba la obtención de las raíces de un sistema de ecuaciones en forma manual, lo que enlentecía el proceso en cada interacción e impidiendo usar el método en forma automática. Al utilizar una ecuación tipo Ricker ajustada bajo ciertas consideraciones para explicar la dinámica poblacional de *Hylesia metabus*, se obtuvo una expresión final biológicamente factible; siempre y cuando la tasa de crecimiento intrínseco es igual a tres, los resultados obtenidos se ajustaron al comportamiento real del insecto.

CONCLUSIONES

El modelo considerado para el estudio de la dinámica poblacional de *Hylesia metabus* en el nor-este de Venezuela, estado Sucre, es un modelo tipo Ricker, que ajustado a la data poblacional reportada por la G.S.A.C.E entre los años 2002-2008, permitió realizar un estudio detallado de la dinámica poblacional de dicho insecto.

Partiendo del modelo poblacional de Ricker, se obtuvo una ecuación biológicamente factible, cuyos resultados muestran comportamientos muy distintos con pequeños cambios en las condiciones iniciales, esta sensibilidad indica que la dinámica poblacional estudiada es complicada o difícil de predecir.

De todos los parámetros obtenidos el que más se ajusta al comportamiento real del insecto estudiado es cuando la tasa de crecimiento intrínseco es igual a tres.

El comportamiento de la dinámica poblacional para una tasa de crecimiento intrínseco igual a tres predice periodicidad en la población, con periodos de aproximadamente seis años en concordancia con la evidencia experimental.

RECOMENDACIONES

Se debe contar con una data poblacional más amplia, lo que implica más años de reporte sobre los adultos capturados de *Hylesia metabus*, ya que para este trabajo la data obtenida es del 2002 – 2008, solo siete años de muestreo.

La dinámica poblacional de *Hylesia metabus*, debería ser estudiada en sus diferentes ciclos de vida, larvas, pupa y adulto, para realizar un modelo más preciso, el cual se podría llamarse modelo LPA, por sus iniciales.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, P. 2008. Estudio de un modelo estocástico depredador – presa con efecto Alle. Trabajo de Pregrado. Departamento de Matemática, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

Andrewartha, H. 1971. Introduction to the study of animal populations. Chicago, University of Chicago Press, 283 pp.

Bascompte, J. 2003. Extinction thresholds: insights from simple models, *Annales Zoologici Fennici*, Vol. 40, 99-114.

Benaim, C.; Pernía, B. y Rojas, R. 1991. Dermatitis caused by moths of *Hylesia Genus* (Lepidoptera: Saturniidae) in Northeastern States of Venezuela: I. Bioecology of *Hylesia metabus* Crammer. Clinical features of Lepidopterism determined by this species. *American Journal Contact Dermatitis*, 2: 213 – 221.

Berryman, A. 1981. Population systems. A general Introduction. Plenum press, New York.

Boyé, C. 1932. La *Papillonite guyanaise*. *Bulletin de la Societe de Pathologie Exotique*, 25: 109 – 110.

Brauer, F. y Castillo, C. 2001. Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology. Number 40 in Texts in Applied Mathematics. Springer, New York, N.Y.

Burgman, F. y Akcakaya, H. 1993. Risk assessment in conservation biology. Population and Community Biology Series: 12. London, Chapman y Hall.

Dinehart, S.; Archer, M.; Wolf, J.; McGayran, M.; Reitz, C. y Smith, E. 1985. Dermatitis from contac with *Hylesia*. *Academia Dermatology*, 13: 734 – 747.

Dillon, R. y Charrnley, A. 1998. Inhibition of *Metarhizium anisophae* by the gut bacterial flora of the desert locust: characterization of antifungal toxins Canadian. *Journal Microbiology*. 34: 1075 – 1082.

Fornés, L. 1998. Aspectos de la biología y comportamiento sexual de *Hylesia metabus* (Lepidoptera: Saturniidae). Tesis de Grado. Universidad Simón Bolívar, Caracas, 50 pp.

Fornés, L. y Hernández, J. 2001. Reseña histórica e incidencia en la salud pública de *Hylesia metabus* (Crammer) (Lepidoptera: Saturniidae) en Venezuela. *Entomotrópica*, 16(2):137 – 141.

Germanetto, P. 1982. Guyanese moth allergy (*Papillonite guyanaise*) French Guiana. Caribbean Epidemiology Centre, 8(11): 1 – 3.

Gusmao, H.; Forattini, D. y Robert, A. 1961. Dermatitis provocada por lepidópteros del género *Hylesia*. Revista do Instituto de Medicina Tropical de Sao Paulo. 3:14 – 120.

Harwood, F. y James, T. 1979. Entomology in human and animal health. 7^a Edición. MacMillan publishing Company Inc. New York. 548 pp.

Hill, W.; Rubestein, A. y Koyacs, J. 1948. Dermatitis resulting from moths (*genus Hylesia*). Report of case. JAMA, 138: 737 – 740.

Hómez, J.; Soto, R.; de Soto, S.; Méndez, H. y Mármol, P. 1995. Parasitología. Ediluz. 450 pp.

Jorge, C. 1993. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces, Instituto del Mar del Perú. 1 – 2 pp.

Jorg, M. 1969. Nódulo inflamatorio subcutáneo por espículas de *Hylesia fulviventris* (Lepidoptera). Boletín Chileno de Parasitología, 24: 145 – 150.

Kent, A.; Doncaster, C. y Sluckin, T. 2003. Consequences for depredators of rescue and Allee effects on prey, Ecological Modelling Vol. 162, 233-245.

Kot, M. 2001. Elements of Mathematical Ecology. Cambridge University Press, Cambridge. 3 – 8 pp.

Lundberg, U.; Osborn, F.; Carvajal, Z.; Gil, A.; Gerrero, B. y Piñango, C. 2002. Aislamiento y caracterización parcial de una proteasa con actividad semejante a la calikreina de las posturas de *Hylesia metabus* (Cramer 1775) (Lepidoptera: Saturniidae), comunicación preliminar, Revista científica, FCV-LUZ, 12(2): 97 – 102.

Malthus, R. 1798. An Essay on the Principle of Population, 1 st. edition, London, Johnson.

McCallum, H. 1992. Effects of immigration on chaotic population dynamics. J. Theoret. Biol. 154 (3) 277-284.

Mouronte, M. 2004. Caracterización y Análisis de Sistemas Dinámicos no lineales Mediante el Estudio del Mapa de Frecuencia y Espacio de Fase. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica, Madrid.

Pesce, H. y Tejada, A. 1969. Epidemiología y aspectos clínicos del lepidopterismo en el Perú. Boletín Chileno de Parasitología, 24: 130 – 133.

Pesce, H. y Delgado A. 1971. Poisoning from adult moths and caterpillars. Cap. 48, 199 – 156 pp.

Reitz, C. y Smith, E. 1985. Dermatitis from contac with *Hylesia*. Academia dermatology, 13: 734 – 747.

Ricker, W. 1954. Stock y recruitment. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 11: 559 – 623.

Rodríguez, M. 2009. Comportamiento caótico de la especie *Tribolium castaneum* originado por el canibalismo en su dinámica de evolución. Trabajo para optar el título de Magister en Ciencias Matemáticas Aplicada. Departamento de Matemática, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

Royama, T. 1977. Population Persistence and density dependence. Ecological Monographs. 47:1 – 35.

Saber, E. 1999. An introduction to difference equations, Springer-Verlag, New York, Second edition. 1 – 15 pp.

Vásquez, L.; Olivares, M. y Pernía, B. 1984a. Estudio sobre distribución, plantas hospederas alternas y porcentajes de infestación de la palometa *Hylesia sp* en el Oriente Venezolano. IX Congreso Venezolano de Entomología. Libro de Resúmenes, Resumen N° 3. San Cristóbal, Venezuela. 30 pp.

Vásquez, L. y Olivares, M. 1984b. La palometa *Hylesia (Hylesia sp)* un problema ecológico en la región Oriental de Venezuela. IX Congreso Venezolano de Entomología. Libro de Resúmenes, Resumen N° 39. San Cristóbal, Venezuela. 20 pp.

Vásquez, L. Olivares, M.; Pernia, B. y Villegas, A. 1984c. Ciclo biológico de *Arilus cristatus* (Hemiptero: Reduviidae) en la región Oriental de Venezuela. IX Congreso Venezolano de Entomología. Libro de Resúmenes, Resumen N° 82. San Cristóbal, Venezuela. 18 pp.

Vásquez, L. 1990. Estudio biológico y tácticas de control de la palometa *Hylesia metabus* (Crammer) en el Oriente de Venezuela. Saber, 3(1):14 – 20.

Vásquez, L. 1994. Informe final de la investigación: “Estudio bioecológico y estrategia de control de la palometa *Hylesia metabus* cramer (Lepidoptera: Saturniidae) en la región Oriental”. Periodos 1985-1987 y 1991-1993. Proyecto C.I 3-006-00197/82. Universidad de Oriente, Monagas. 23 pp.

Vásquez, L. 1997. Informe Técnico Proyecto *Hylesia*, Manejo integrado de la palometa *Hylesia metabus* en el Oriente Venezolano. Informe técnico presentado a Fundacite Sucre.

Vásquez, L. 1999. Informe Técnico Proyecto *Hylesia*, Manejo integrado de la palometa *Hylesia metabus* en el Oriente Venezolano. Informe técnico presentado a Fundacite Sucre.

Vásquez, L. 2000. Informe Técnico Proyecto *Hylesia*, Manejo integrado de la palometa *Hylesia metabus* en el Oriente Venezolano. Informe técnico presentado a Fundacite Sucre.

Verhulst, P. 1845. La Loi d'Accoissement de la Population, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-lettres de Belgique, 18: 1 – 59.

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	Dinámica poblacional de <i>Hylesia metabus</i> Crammer (lepidoptera: saturniidae) en el Nor-Este de Venezuela, Estado Sucre, utilizando el modelo de Ricker
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Castillo Brito Andrés Manuel	CVLAC	12198071
	e-mail	Millan253@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Dinámica Poblacional
<i>Hylesia metabus</i> Crammer
Modelo De Ricker

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Física

Resumen (abstract):

Tomando la data poblacional reportada por la Gerencia de Saneamiento Ambiental y Control de Endemia (G.S.A.C.E) durante los años 2002 al 2008, se realizó un estudio detallado de la dinámica poblacional de *Hylesia metabus* Crammer (Lepidoptera: Saturniidae) en el Nor-Este de Venezuela, estado Sucre, utilizando el modelo poblacional de Ricker, que describe una población propensa a un crecimiento exponencial simple con bajas densidades, y una tendencia a decrecer en altas densidades. El modelo es recomendable para una población de especies simple, a menudo puede ser usado para predecir el tamaño de algunas poblaciones después de cierto tiempo, esta clase de modelo funciona bien cuando la densidad de las poblaciones de los individuos se reproduce sólo durante periodos específicos, o cuando las poblaciones pasan a través de distintos ciclos de reproducción. Dicho modelo fue ajustado bajo ciertas consideraciones hasta obtener una expresión final que resulte ser biológicamente factible, y así contribuir con una herramienta matemática que pueda ser utilizada para comprender la dinámica del insecto estudiado, ya que *Hylesia metabus* representa un importante problema de salud pública para las regiones afectadas. Finalmente se sometió la ecuación final tipo Ricker a la variación de la tasa de crecimiento, con lo que se estudió su comportamiento y se verificó la estabilidad del modelo. Los resultados muestran comportamientos muy distintos con pequeños cambios en las condiciones iniciales, esta sensibilidad a pequeños cambios en las condiciones iniciales indica que la dinámica poblacional estudiada es difícil de predecir. De todos los comportamientos el que más se ajusta al comportamiento real del insecto estudiado es cuando la tasa de crecimiento intrínseco es igual a tres, que predice periodicidad en la población, con periodos de aproximadamente seis años en concordancia con la evidencia experimental.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Ramón López Planes	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	5080995
	e-mail	rlopez@udo.edu.ve
	e-mail	
Sandra Díaz	ROL	CA <input checked="" type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	10947336
	e-mail	andreinacumana@yahoo.es
	e-mail	
José Alberto Mendoza	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	8639292
	e-mail	jomend@ula.ve
	e-mail	jamendoza@udo.edu.ve
Jessicca Rodríguez	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12505363
	e-mail	jnrmar@gmai.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2011	12	02

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis – castilloa.doc	Application/Word

Alcance:

Espacial: _____ (Opcional)

Temporal: _____ (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Licenciado en Física

Nivel Asociado con el Trabajo: Licenciado

Área de Estudio: Física

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNFELG
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/manuja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

Andrés Castillo

Castillo Brito Andrés Manuel

Autor