

USO DE PATOGENOS PARA EL CONTROL DE
INSECTOS - PLAGAS FORESTALES (1)

Por : Richard A. Hall (2)

Traducción : Alejandro Madrigal C.

El control de plagas forestales debe realizarse en gran escala y cuando se hace con productos químicos, el riesgo de polución es proporcionalmente alto. En ecosistemas de larga duración, extensivos y estables como los bosques, los enemigos naturales pueden ser de gran importancia ya que la tolerancia de los árboles al daño de las plagas es alta y los enemigos naturales pueden, naturalmente o mediante la manipulación por el hombre, alcanzar el control en una escala de tiempo que podría ser inaceptable para los cultivos agrícolas de período corto. El amplio uso de pesticidas químicos ha causado considerables problemas lo que ha estimulado la búsqueda de métodos alternativos. Algunas veces puede no ser posible usar químicos, como en el caso de las dificultades que representa la topografía de los Andes, la cual hace demasiado peligrosas las aplicaciones aéreas y por lo tanto en este tipo de situación es favorable la introducción de agentes biológicos a áreas donde resulte practicable y a bajo costo con mayores posibilidades de éxito en este ambiente que en cualquier otro. La naturaleza ciclica de la frecuencia de las plagas forestales puede indicar que son necesarios aumentos periódicos de sus agentes de control. Entre los agentes potenciales de control biológico que pueden ser empleados están los patógenos (virus, bacterias, hongos, protozoos y nemátodos). A menudo, los brotes de plagas forestales son erradicados por enfermedades antes de que alcancen el nivel económico de daño. Se debe enfatizar por lo tanto que la decisión de aplicar medidas de control ya sea químico o biológico depende de un buen entendimiento de la dinámica de población de las plagas y de los niveles de daño que pueden soportarse sin pérdidas económicas.

-
- (1) Conferencia presentada como parte del Seminario sobre Plagas Forestales, Sociedad Colombiana de Entomología y Fundación Nacional de Entomología Forestal - FUNDEF -. Medellín. Agosto 5 de 1983.
 - (2) Ph.D. Especialista en Patología de Insectos. Glasshouse Crops Research Institute. Littlehampton, west Sussex. Inglaterra.

BREVE DESCRIPCION DE LOS GRUPOS MAS IMPORTANTES DE PATOGENOS.

Bacterias.

Entre las bacterias patogénicas, solo Bacillus thuringiensis juega un papel en el control de plagas forestales. En realidad, los productos con base en B. thuringiensis (B.t.) son hoy en día los mas exitosos de todos los insecticidas biológicos. El organismo fué descrito en 1902, desde la segunda guerra mundial, ha sido desarrollado comercialmente y hoy es producido en gran escala por varias compañías en Europa y América. Entre parentesis, hasta muy recientemente, todas las cepas conocidas de B.t. eran activas exclusivamente contra lepidopteros (estando los insectos benéficos totalmente libres de daño), pero esta situación cambió en 1977 después del descubrimiento de una nueva cepa, serótipo 14, que era activa contra dipteros, particularmente mosquitos y simúlidos.

B.t. es una bacteria aeróbica que forma esporas y produce cristales protéinicos en forma de diamante, claramente visibles al microscopio de luz. Los principales componentes son la spora y el cristal o delta - endotoxina como a veces es llamado. El cristal es altamente tóxico y afecta las larvas de muchas especies de polillas y mariposas, sin que se conozcan efectos adversos en el hombre, aves, mamíferos o peces. Un síntoma típico en muchas larvas susceptibles es la casi completa cesación de la alimentación después de la ingestión de las esporas y la toxina. Este cristal es realmente una protoxina soluble a un pH de 9 - 10 en el intestino de la larva que luego produce una toxina. Estas condiciones alcalinas se encuentran en el intestino de muchas especies de lepidópteros.

B.t. no persiste bien en ambientes húmedos ni en el suelo; sin embargo, su persistencia en ambientes secos es buena y no es sorprendente por lo tanto que ocurran epizootias naturales en brotes de insectos de granos almacenados. Aunque B.t. ha sido aislado de larvas de Lepidoptera de vida libre, raramente se ha reportado causando epizootias naturales en estos insectos. Las larvas muertas por B.t. generalmente cuelgan intactas del follaje poco después de muertas, lo cual puede prevenir la contaminación del follaje.

Dado que la bacteria no persiste ni se dispersa excepto en ambientes secos, tiene que ser usada como un insecticida químico, el cual una vez disuelto en el tubo digestivo, actúa como un veneno estomacal. Obviamente, es esencial una buena cobertura durante la aplicación y por esta razón ciertos insectos son mucho mas fácilmente controlados que otros, por ejemplo, aquellos que se alimentan expuestos sobre el follaje, mientras los que perforan la planta no consumen cantidades suficientes de esporas y cristales y por lo tanto no reciben la dosis letal.

La actividad de B.t. es afectada adversamente por los rayos ultravioleta. En general, los insectos mas jovenes son mas susceptibles a la bacteria que los mas avanzados. Esta información indica que es importante sincronizar las aplicaciones con respecto al estado de desarrollo de la población del insecto, el clima y las condiciones del tiempo durante el día. Así la bacteria es a menudo mas efectiva cuando se asperja en las horas de la tarde o durante tiempo nublado. Esta regla puede aplicarse para la mayoría de los patógenos.

B.t. es usado exitosamente contra varias especies de insectos en bosques, especialmente la polilla gitana (Lymantria dispar) y el gusano de las yemas del abeto (Choristoneura fumiferana). Las dosis están por el orden de 16×10^9 unidades internacionales por ha, lo que equivale a 1 kg de producto comercial por ha. La bacteria es mas usualmente aplicada en aspersiones aéreas. Vale la pena destacar que diferentes especies de Lepidoptera presentan diferente susceptibilidad a las cepas comerciales de B.t. (como son serotipo 3a, 3b). Hay otros varios serotipos de B.t. y muchas cepas de cada serotipo. A menudo pueden seleccionarse por bioensayo de laboratorio, cepas de mayor patogenicidad para una especie dada de insecto que aquellas cepas comercialmente disponibles.

Hongos.

Hay muchas especies de hongos que atacan plagas forestales aunque muy pocos de ellos son usados exitosamente. Los hongos son los únicos patógenos que pueden infectar insectos chupadores de savia (los cuales se alimentan de floema estéril y por lo tanto no ingieren el patógeno) como los pulgones ya que ellos son los únicos microorganismos capaces de penetrar la cutícula de un insecto. Este modo de infección, que es el mas común en estos microorganismos representa una limitación en el uso de hongos; una humedad relativa alta es esencial para la germinación de las esporas y su subsecuente desarrollo.

USO DE HONGOS EN CONTROL DE PLAGAS FORESTALES.

Muy poco trabajo se ha llevado a cabo. Hay muchas especies de hongos que atacan plagas forestales, especialmente estados pupales en el suelo, como son Paecilomyces spp. y Cordyceps spp. Muy poco se conoce sobre la epidemiología de estos hongos. La mayoría de los trabajos en forestales han sido realizados en China, donde el uso de Beauveria bassiana se ha reportado como exitoso para el control de Dendrolimus punctatus en pino (Hussey, 1981). En otras áreas, los hongos han sido usados con éxito y en algunos casos comercializado, (Hall, 1984).

Nematodos.

Los nematodos entomófagos que han sido usados mas exitosamente hasta la fecha corresponden a las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae. La principal ventaja es que ellos pueden cultivarse en medio

artificial. Han sido usados mas extensivamente contra insectos perforadores y habitantes del suelo. Ellos no han sido muy efectivos contra insectos comedores de follaje debido a los problemas de disecación o la falta de un medio húmedo que es necesario para el movimiento de los nematodos.

Quizá el ejemplo mas espectacular de supresión de una plaga forestal por un nemátodo, es el control de la avispa de la madera (*Sirex* spp.) por *Deladenus siricidicola* (Neotylenchidae). Este es un ejemplo clásico de control biológico; en 1952, *Sirex noctilio* fué introducido vía Nueva Zelanda a Australia donde causó daño extensivo a *Pinus radiata*. El nemátodo puede ser cultivado en medio artificial. Los nemátodos producidos en esta forma, fueron liberados en las plantaciones de Australia y se dispersaron eficientemente logrando un control efectivo de la plaga (Bedding & Akhurst, 1974).

Protozoa.

El grupo mas importante de patógenos entre los protozoos son los Microsporidios, varios de los cuales son patógenos de plagas forestales. Sin embargo, es cierto que, como muchos microsporidios, los protozoos patógenos de plagas forestales, no son lo suficientemente virulentos para ejercer un control de su huesped en corto tiempo. Algunas especies pueden ser promisorias, *Nosema fumiferanae*, un patógeno del gusano de las yemas del abeto, *Choristoneura fumiferana*, y *Pleistophora schubergii*, este último infecta un amplio rango de larvas de Lepidopteros de importancia forestal. Su patogenicidad varía, pero en muchas especies hospederas, la mortalidad larval que causa ocurre solo después de un largo período de infección. La diseminación de estos patógenos puede alcanzar epizootias pero aún está por ver si estos organismos pueden ser usados con alguna seguridad para lograr un control satisfactorio de la población y prevenir su daño. Sin embargo, el papel de los protozoos en la regulación natural de las poblaciones no debe ser descartado y estudios a largo plazo de las interacciones entre microsporidios y plagas forestales permitirían indudablemente un entendimiento de estas interacciones y el desarrollo de la consecuente habilidad para predecir los brotes de tales epizootias que pueden significar la reducción en la necesidad de aplicación de químicos.

Virus.

Los virus son patógenos importantes de plagas forestales. Hay seis grupos mayores de virus que atacan insectos. El mas importante de ellos es Baculoviridae que contiene tres subgrupos :

1. Virus de la poliedrosis nuclear (VPN)
2. Virus granulosos (GV)
3. Virosis del "Oryctes" y similares.

Los virus de la poliedrosis nuclear, son, como su nombre lo indica, de forma poliédrica y producidos en el núcleo de las células infectadas, Estos poliédros o cuerpos de inclusión, como también se conocen, contienen números variables de viriones. Los virus de las granulosis difieren de los VPN en que sus cuerpos de inclusión son de forma capsular y contienen solo un virion.

Otro grupo importante lo constituyen los virus de las poliedrosis citoplásmicas (Reoviridae). Estos contienen también cuerpos de inclusión de forma poliédrica.

Los Baculovirus son los mas estudiados de estos grupos por varias razones :

1. Son los únicos que no comparten sus similitudes estructurales y bioquímicas con los virus de los vertebrados y las plantas superiores.
2. Causan mas epizootias, poseen un mayor grado de especificidad que otros grupos de virus de insectos y son menos propensos a causar daños ecológicos cuando se usan como agentes de control de plagas.

USO DE VIRUS EN CONTROL DE PLAGAS FORESTALES.

Los Baculovirus pueden usarse de dos maneras, dependiendo del tipo de plaga que se desea controlar. Los VPN de lepidópteras tienden a ser muy patogénicos y a matar rápidamente al hospedante pero el virus no es excretado en cantidades significativas y no persiste en el ambiente. Por lo tanto, estos virus tienden a ser usados como un insecticida, cuando la meta es bajar la población del insecto hospedante en corto tiempo. Las epizootias ocurren solo cuando las poblaciones del hospedante son densas. En contraste con lo anterior, los VPN en himenópteros usualmente producen una infección crónica sin mortalidad extensiva de las larvas mas viejas; muchas partículas virosas son excretadas por vía oral o en las heces y esto es muy importante para la dispersión de la enfermedad. Además, los VPN causan en himenópteros una interferencia para la nutrición y cesación de la alimentación. Las pupas y adultos desarrollados a partir de larvas que fueron infectados en forma no letal pueden sobrevivir y transmitir el virus en la población hospedante durante el apareamiento y la oviposición; los adultos contaminan sus huevos y el follaje y como consecuencia, las larvas recién nacidas altamente susceptibles mueren rápidamente cuando ingieren las partículas infecciosas del VPN. Finalmente, la fecundidad de los adultos puede ser afectada.

Por tanto, es evidente que los VPN pueden usarse para inducir epizootias en himenópteros que son plagas forestales, particularmente avispas sierra. La mayoría de los géneros de avispas sierra atacan familias de plantas que son particularmente arborescentes. Entre las especies plaga de este grupo predomina la familia Dipriidae, 91 miembros de la cual atacan coníferas, especialmente Pinus y Picea. Arboles de hoja ancha sufren menos daño que las coníferas.

Se conocen VPN en 25 especies de avispas sierra y un virus granuloso en Cephalcia fascipennis. Algunos virus poliédricos citoplasmicos (CPV) son también conocidos principalmente en Anophanyx destructor, Neodiprion merkeli y cinco especies de avispas de la madera. Los VPN de las avispas sierra son considerados altamente específicos. Estos virus dispersan de dos maneras: horizontalmente por salpicadura de las gotas de lluvia, a través de parásitos y por predadores incluyendo aves, los VPNs pueden sobrevivir al paso a través del tubo digestivo hasta las heces. O verticalmente, cuando el virus es excretado por las larvas al ambiente.

Los virus de la poliedrosis nuclear han sido usados para el control de avispas sierra en las siguientes formas, pero primero es necesario señalar que donde un VPN de considerable potencial epizootico es enzootico en la población de avispas sierra, puede ser económicamente factible no hacer intentos positivos de control. Tal recomendación solamente puede basarse a través de una completa comprensión de la situación y esto casi nunca se cumple. Cuando el VPN es aplicado a una población de avispas sierra, hay dos posibles estrategias: El VPN puede dispersarse como un clásico agente de control biológico a partir de unos relativamente pocos puntos de introducción o, como ha sido la práctica general, el virus puede ser asperjado como un pesticida químico donde se requiere un control rápido, como en el caso de fuertes infestaciones de Neodiprion lecontei o N. sertifer en árboles pequeños. Este es el método obvio.

El VPN de la avispa sierra del abeto (Gilpinia hercyniae) es el ejemplo mas exitoso de el primer tipo de estrategia ya que el virus es dispersado como un agente clásico de control biológico (Bird & Elgee, 1957). De hecho, el virus controla la plaga muy efectivamente por debajo de su nivel económico y por lo tanto nunca se ha aplicado en aspersiones.

Un buen ejemplo de la segunda estrategia, aspersión del virus como se hace con insecticida químico, es el control de la avispa sierra del pino Neodiprion sertifer por VPN. La avispa sierra del pino es una plaga en Gran Bretaña y Europa. En experimentos realizados por Wales (Entwistle et al., 1978), fueron usados dos tipos de aplicación. Primero, desde el suelo usando un aspersor manual de ultra bajo volumen con disco rotor. Se programaron para que generaran gotas de 50 μm a 1.1 ó 2.2 litros/ha. Fué necesario usar un aceite emulsionable antievaporante debido al pequeño tamaño de las gotas. El uso correcto de aplicaciones de gota controlada por fajas dirigidas requiere la incorporación de aceite antievaporante para preservar el tamaño de la gota que de otro modo no alcanzaría su blanco en la forma deseable. Por supuesto, cuando se usa cualquier patógeno como agente de control, los demás ingredientes de la formulación, tienen el riesgo de inactivar el patógeno y deben ser probados previamente para determinar cualquier efecto nocivo. En segundo lugar, el VPN de N. sertifer fué también aplicado con ayón, en una suspensión acuosa que contenía 0.16% de Teepol (detergente).

Los resultados destacados del trabajo de Entwistle y otros (1978) fueron como sigue: El grado de control obtenido depende de la densidad de infestación larval; la mejor protección se logró cuando la densidad de la plaga era baja. Esto era de esperarse puesto que la enfermedad requiere un cierto tiempo para ejercer su efecto a través de la infección directa por el virus después de la aspersión y la subsecuente dispersión en la población. Se obtuvo una buena protección del follaje durante el año de la aplicación de VPN a una dosis de solo 5×10^9 polihedros/ha aplicados a una población de baja densidad, pero para poblaciones densas se requieren dosis por lo menos 10 veces mayores. Por lo tanto, el control debe ser aplicado antes que las poblaciones alcancen altas densidades. Una dosis mayor, de 5×10^{10} polihedros/ha, fué probablemente la rata mas alta de aplicación justificable debido a la existencia de un límite menor a la longitud del período de incubación. Además, el uso de dosis altas con este tipo de patógeno, puede ser detrimental para el control a largo plazo. Esto es debido a que el control a largo plazo es indudablemente dependiente de la cantidad de inóculo, presente en el ambiente exterior del hospedante; con una alta rata de aplicación inicial, las larvas mas pequeñas mueren mas rápido pero producen menos virus para infectar posteriormente larvas sanas. Sin embargo, las dosis bajas prolongan el período de infección y la larva es de mayor tamaño cuando muere, liberando por lo tanto, mayor cantidad de VPN. También con bajas dosis, una proporción de las larvas que sobreviven pueden llegar al estado adulto y transmitir la enfermedad a sus descendientes como resultado de la contaminación de los huevos y la superficie del follaje.

Lo anterior funciona mejor en Hymenoptera. Cuando se trata de Lepidoptera, VPN no se dispersa bien (en contraste con los VPN de Hymenoptera) porque el virus usualmente mata rápido a la larva hospedante, no se reproduce en abundancia en el intestino de las larvas vivas y por tanto no es excretado en cantidades significativas al ambiente. Como consecuencia, uno no puede confiarse en la dispersión para lograr control y así el virus debe usarse como se hace con insecticidas (en aspersiones).

Un buen ejemplo del uso de virus a manera de insecticida se encuentra en el VPN de la polilla Orygia pseudotsugata (Douglas Fir Tussock Moth) (Brookes et al, 1978) que es el lepidoptero plaga mas importante del abeto (Douglas Fir) en EUA. El (multi) VPN de O. pseudotsugata es uno de los VPN mas virulentos que se conocen. Solo unos pocos polihedros (quizás menos de 10) pueden iniciar una infección. Las epizootias tienden a ocurrir solo a altas densidades de población de la plaga y para evitar el mayor daño posible, una aspersión del insecticida viral debe sincronizarse cuidadosamente, usualmente para que coincida con la máxima eclosión de huevos donde las poblaciones son sincronizadas como en las zonas templadas, porque las larvas jovenes son normalmente mucho mas susceptibles que las mas viejas. Para VPN de O. pseudotsugata, las concentraciones efectivas para aspersión están por el orden de 2.5×10^{11} poliédros/ha (Brookes et al, 1978).

En elegantes estudios de Thompson & Scott (1979) se ha mostrado que la aplicación de dosis altas (2.5×10^{12} poliédros/ha) causa una rápida caída de la población con poca o ninguna supervivencia de larvas hasta los últimos dos instares. Sin embargo, las infecciones en los dos últimos instares larvales son responsables de la mayoría de los poliédros producidos en el ecosistema del bosque, lo que repercute en la permanencia de altos niveles del virus en el ambiente. De ahí que las medidas de control directo, con altas dosis, pueden no solo reducir la cantidad de virus producido en los insectos enfermos comparada con la producida cuando ocurren las epizootias naturales; sino que también reducen la posibilidad de ocurrencia del control por un mayor período de tiempo. Por lo tanto cuando son necesarias las medidas de control directo, puede ser mas apropiada la aplicación de dosis bajas o moderadas del VPN para permitir la supervivencia de algunas larvas hasta el último instar.

Otro ejemplo de VPN usado como un insecticida es el VPN de la polilla gitana, Lymantria dispar (Lewis, 1981). La polilla gitana es un defoliador de importancia forestal y causa severos problemas en Europa Central, Estados Unidos y Japón. Durante los comienzos de la investigación con el VPN, había muchas fuentes disponibles de virus y fué necesario hacer una selección, por bioensayo para el desarrollo de la cepa mas activa.

Algunos virus polihédricos citoplásmicos (CPV) se han usado para controlar ciertos lepidopteros, entre ellos, Thaumetopoea pityocampa, Dendrolimus spectabilis y D. pini (Katigiri, 1981). Los CVP en Lepidoptera, como los VPN en Hymenoptera, tienden a causar enfermedad crónica y los virus son secretados en cantidades significativas al ambiente.

PRODUCCION DE VIRUS.

Todos los virus tienen que cultivarse en células vivas y hasta el presente el medio mas económico para producir virus de insectos es en larvas vivas. Los rendimientos de VPN en Lepidoptera son altos, $10^9 - 10^{10}$ cuerpos poliédricos de inclusión por larva. Para obtener los mejores rendimientos, deben infectarse larvas en tercer instar, las cuales mueren al finalizar el cuarto o quinto instar. En general, las larvas recién muertas producen menos poliedros que aquellas que han muerto hace algún tiempo; la degeneración de las células del insecto probablemente libera mas virus con el tiempo. Los rendimientos de VPN en avispa sierra son mucho mas bajos, del orden de 5×10^7 a 5×10^8 poliédros por larva, pero las dosis efectivas de aspersion son mucho menores que en los VPN de Lepidoptera.

A diferencia de lo que ocurre con Lepidoptera, hasta el momento no se han desarrollado dietas para avispas sierra. Por lo tanto, las larvas deben ser criadas alimentándose sobre su propia planta hospedante. Hay dos maneras de hacer esto. Primera, los insectos pueden ser colectados en el campo, luego infectados en el laboratorio y los virus que se produzcan son colectados de los insectos muertos. El segundo método con-

siste en localizar plantaciones adecuadamente infestadas por el insecto y asperjarlas con el virus para luego hacer la recuperación del campo.

Formulación.

En plantaciones forestales, las aplicaciones repetidas de insecticidas son antieconómicas. Los virus deben ser ingeridos para que sean efectivos, por tanto, las formulaciones no deben interferir la actividad de las larvas. El área de alimentación, preferiblemente ambas superficies de la hoja, debe ser completamente cubierta. Algunas veces pueden agregarse estimulantes alimenticios a la formulación. Los VPN son rápidamente degradados por la luz ultravioleta, por esta razón la formulación debe proveer protección por varios días para asegurar el contacto entre el VPN y el insecto hospedante. La sensibilidad a los rayos ultravioleta es el inconveniente más limitante para el uso de virus en el control de plagas.

CONCLUSION.

No puede haber duda de que los patógenos pueden usarse exitosamente para prevenir daños a los bosques por las plagas. Vale la pena señalar que a menudo no se conoce exactamente que constituye "daño" y se debe insistir en que el nivel económico de daño debe averiguarse en la forma más precisa posible ya que el primer principio del buen manejo de plagas es ciertamente no aplicar medidas innecesarias de control de plagas. Cuando es necesario aplicar medidas de control, las mejores posibilidades de éxito se logran mediante el desarrollo de un buen entendimiento tanto de la plaga como del patógeno. Cuando se desea un control a largo plazo, como en los bosques, tal comprensión permitirá el uso más eficiente posible de un patógeno ya sea en aspersiones como se hace con los insecticidas, como es el caso de los VPN y Bacillus thuringiensis contra Lepidoptera o en aplicaciones menos inundativas en áreas ecológicas limitadas como se hace con los VPN contra Hymenoptera y los virus de la poliedrosis citoplásmica contra Lepidoptera.

BIBLIOGRAFIA.

- BEDDING, R.A. & AKHURST, R.J. 1974. J. Aust. Ent. Soc. 13, 129-135.
- BIRD, F.T. & ELGEE, D.E. 1957. Canadian Entomologist 89, 371-378.
- BROOKS, M.H., STARK, R.W. & CAMPBELL, R.W. 1978. The Douglas-Fir Tussock Moth: A Synthesis. Forest Service Science & Education Agency. Technical Bulletin 1685. Us Dept. of Agriculture, Washington, DC.

- ENTWISTLE, P.F., EVANS, H.F., HARRAP, K.A., RIVERS, C.F., ROBERTSON, J.S. & CARLILL, P. 1980. Field trials on the control of Pine Sawfly (Neodiprion sertifer) using purified Nuclear Polyhedrosis Virus. The Natural Environment Research Council, Second Series, 1978. Technical Report No. 2.
- HALL, R.A. & PAPIEROK, B. 1982. Fungi as biological control agents of arthropods of agricultural and medical importance. *Parasitology* 84, 205 -240.
- HALL, R.A. 1982. Use of Verticillium lecanii (Mycotal) to control whitefly and other pests. Programme and Abstracts IIIrd International Colloquium on Invertebrate Pathology, September 1982, University of Sussex, Brighton, UK, p.:95.
- HUSSEY, N.W. & TINSLEY, T.W. 1981. Impressions of insect pathology in the People's Republic of China. In: "Microbial Control of Insect Pests and Plant Diseases 1970-1980". Ed. H.D. Burges, Academic Press.
- LEWIS, F.B. 1981. Control of the gypsy moth by a baculovirus. In: "Microbial Control of Insect Pests and Plant Diseases 1970-1980" Ed. H.D. Burges, Academic Press.