

CONTENIDO

Páginas

**Artículo de Revisión (Review Paper)**

**Cristóbal LÁREZ VELÁSQUEZ**

Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica

1-22

Some potentialities of chitin and chitosan for uses related to agriculture in Latin America

**Agronomía. Evaluación de Cultivares (Agronomy. Cultivar Evaluation)**

**Morufat Oloruntoyin BALOGUN, Jimoh Abidoye RAJI and Sikirat Remi AKANDE**

Morphological characterization of 51 kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) accessions in Nigeria

23-28

Caracterización morfológica de accesiones de kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) en Nigeria

**Agronomía. Fitopatología (Agronomy. Phytopathology)**

**Arturo MARTÍNEZ MORALES, Luís Ulises HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Rodolfo OSORIO OSORIO, Irán ALIA TEJACAL, Víctor LÓPEZ MARTÍNEZ, Silvia BAUTISTA BAÑOS y Dagoberto GUILLÉN SÁNCHEZ**

Incidencia y severidad de *Botryodiplodia theobromae* en frutos de zapote mamey en Jalpa de Mendez, Tabasco, México

29-32

Incidence and severity of *Botryodiplodia theobromae* in sapote mamey fruits at Jalpa de Mendez, Tabasco, Mexico

**Laura Leticia BARRERA NECHA y Laura J. GARCÍA BARRERA**

Actividad antifúngica de aceites esenciales y sus compuestos sobre el crecimiento de *Fusarium* sp. aislado de papaya (*Carica papaya*)

33-41

Antifungal activity of essential oils and their compounds on the growth of *Fusarium* sp. isolate from papaya (*Carica papaya*)

**Silvia BAUTISTA BAÑOS, Laura Leticia BARRERA NECHA, Ana Niurka HERNÁNDEZ LAUZARDO, Miguel Gerardo VELÁZQUEZ DEL VALLE, Irán ALIA TEJACAL y Dagoberto GUILLÉN SÁNCHEZ**

Polvos, extractos y fracciones de hojas de *Cestrum nocturnum* L. y su actividad antifúngica en dos aislamientos de *Fusarium* spp.

42-51

Powders, extracts and fractions of leaves of *Cestrum nocturnum* L. and their antifungal activity over two isolations of *Fusarium* spp.

**Agronomía. Control de Malezas (Agronomy. Weed Control)**

**Nohelia M. RODRÍGUEZ R. y José Vicente LAZO**

Efecto de la intensidad de luz sobre el crecimiento del corocillo (*Cyperus rotundus* L.)

52-60

Effect of light intensity on growth of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.)

**Agronomía. Tecnología de Semillas (Agronomy. Seed Technology)**

**Jesús Rafael MÉNDEZ NATERA, José Fernando MERAZO PINTO y Nelson José MONTAÑO MATA**

Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.)

61-66

Relationship between imbibition rate and seed germination of corn, French bean and pigeonpea seeds

**Jesús Rafael MENDEZ NATERA, José Fernando MERAZO PINTO, María ZERPA ZERPA y Carlos Enrique BOLÍVAR**

Efecto de la colocación de semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en papel toallín (enrollados y sin enrollar) sobre la germinación y el vigor

67-71

Effect of seed placement of corn (*Zea mays* L.), French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) on towel paper (rolled and without rolling) on germination and vigor

## **Agronomía. Taxonomía de Plantas (Agronomy. Plant Taxonomy)**

**José Baudilio RONDÓN**

*Byttneria wingfieldii* una nueva especie de *Byttneria* sección *Crassipetala* (Byttnerieae, Byttnerioideae, Malvaceae s.l) de Venezuela 72-77

*Byttneria wingfieldii* a new species of *Byttneria* section *Crassipetala* (Byttnerieae, Byttnerioideae, Malvaceae s.l) from Venezuela

## **Agronomía. Agroforestería. (Agronomy. Agroforestry)**

**Agustín de Jesús BASÁÑEZ MUÑOZ, Miguel Angel CRUZ LUCAS, Consuelo DOMINGUEZ BARRADAS, Carlos GONZÁLEZ GÁNDARA, Arturo SERRANO SOLÍS y Alberto HERNÁNDEZ AZUARA**

Estructura y producción de *Conocarpus erectus* L. en el Sitio Ramsar “Manglares y Humedales de Tuxpan”, Veracruz, México 78-87

Structure and production of *Conocarpus erectus* L. at the Ramsar Site “Manglares y Humedales de Tuxpan”, Veracruz, Mexico

## **Agronomía. Bienes Ambientales (Agronomy. Environmental Issues)**

**Ángel Francisco PARADA y Jesús A. RODRÍGUEZ V.**

Valoración económica del Parque Nacional El Guácharo, estado Monagas, Venezuela 88-97

Economic valuation of Parque Nacional El Guácharo, Monagas state, Venezuela

## **Agronomía. Agrosocioeconomía. (Agronomy. Agrosocioeconomy)**

**Hilmig VILORIA y Cira CÓRDOVA**

Sistema de producción de ocumo chino (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) en la parroquia Manuel Renaud del municipio Antonio Díaz del estado Delta Amacuro, Venezuela 98-106

Production system of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) at Manuel Renaud Parish, Antonio Díaz Municipality, Delta Amacuro State, Venezuela

## **Agronomía. Mecánica de Suelos (Agronomy. Soil Mechanics)**

**Américo José HOSSNE GARCÍA**

Índice de friabilidad de un suelo franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela 107-117

Friability index of a savanna sandy loamy soil of Monagas state, Venezuela

## **Agronomía. Tecnología de los Alimentos (Agronomy. Food Technology)**

**Aimed GONZÁLEZ, Aurora ESPINOZA ESTABA, Adolfo Enrique CAÑIZARES CHACÍN y Jesús Rafael MÉNDEZ NATERA**

Obtención de un polvo de ají dulce (*Capsicum chinense*) producido mediante deshidratación por aire forzado 118-126

Production of sweet pepper (*Capsicum chinense*) powder using air-forced dehydration

## **Zootecnia. Mejoramiento Animal (Zootechny. Animal Breeding)**

**Marcilio Dias Silveira Da MOTA and Daniel Madureira GOUVEIA FERREIRA**

Quantitative study for race times in thoroughbreds on dirt and turf tracks in Brazil 127-131

Estudio cuantitativo de los tiempos en las carreras de purasangre en pistas de tierra y césped en Brasil.

## **Zootecnia. Producción de Bovinos (Zootechny. Bovine Production)**

**José Luís RAMÍREZ, Amelia de QUIRIAGUA, Tomás RODRÍGUEZ y Yaneth TORRES**

Evaluación del peso vivo estimado con el uso de medidas corporales de becerros de doble propósito 132-137

Evaluation of estimated body weight by using body measurements from dual purpose calves

## **Microbiología. Calidad de la Carne (Microbiology. Meat Quality)**

**Andreína HERNÁNDEZ, Ana Yndira RAMOS y Ernesto HURTADO**

Incidencia de *Escherichia coli* en chuletas crudas de cerdo vendidas al detal en Maturín, estado Monagas, Venezuela 138-142

Presence of *Escherichia coli*, in raw pork chops sold retailed in the Maturín Municipality of Monagas State, Venezuela

<b>Biología Acuática. Fisiología de Peces (Aquatic Biology. Fish Physiology)</b>	
<b>Alex Chuks CHINDAH, Amabaraye Solomon BRAIDE and Olisa ORANYE</b>	
Response of <i>Sarotherodon melanotheron</i> Rüppell (1852) in the Niger Delta wetland, Nigeria to changes in pH	143-153
Respuesta del pez óseo común <i>Sarotherodon melanotheron</i> Rüppell (1852) en los humedales del Delta del Níger, Nigeria a los cambios de pH	
<b>Biología Acuática. Mamíferos Acuáticos (Aquatic Biology. Aquatic Mammals)</b>	
<b>Luis A. BERMÚDEZ VILLAPOL, Alejandro SAYEGH and Tatiana LEÓN</b>	
Notes on the confirmation of the Dwarf sperm whale <i>Kogia sima</i> Owen, 1866 (Cetacea: Kogiidae) on Venezuelan coasts	154-162
Notas sobre la confirmación de la especie cachalote enano <i>Kogia sima</i> Owen, 1866 (Cetacea: Kogiidae) en las costas de Venezuela	
<b>Luis A. BERMÚDEZ VILLAPOL, Alejandro J. SAYEGH, M. S. RANGEL, M. C. ROSSO and N. I. VERA</b>	
Notes on the presence of Risso's Dolphin, <i>Grampus griseus</i> Cuvier 1812 (Cetacea: Delphinidae), in Venezuelan waters	163-170
Notas sobre la presencia del delfín de Risso, <i>Grampus griseus</i> Cuvier 1812 (Cetacea: Delphinidae) en aguas de Venezuela	
<b>Estatutos de la Revista Científica UDO Agrícola</b>	171-172
<b>Normas de Publicación de Artículos</b>	173-174
<b>Instructions for Publication of Papers</b>	175-176
<b>Hoja de Evaluación de los Artículos</b>	177
<b>Evaluation Sheet of Papers</b>	178
<b>Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente</b>	179



**Del Pueblo Venimos y hacia el Pueblo Vamos**

# Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica

Some potentialities of chitin and chitosan for uses related to agriculture in Latin America

**Cristóbal LÁREZ VELÁSQUEZ**

Laboratorio de Polímeros, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida 5101, Venezuela. E-mail: clarez@ula.ve

Recibido: 23/11/2007      Fin de primer arbitraje: 22/01/2008      Primera revisión recibida: 02/03/2008  
Fin de segundo arbitraje: 14/03/2008      Segunda revisión recibida: 18/03/2008      Aceptado: 19/03/2008

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica sobre las principales aplicaciones de los biopolímeros quitina y quitosano en algunas áreas relacionadas a la actividad agrícola con el objetivo de tener una visión más técnica del estado actual del uso de estos biopolímeros en este campo, con énfasis en la región latinoamericana. En primer lugar, se revisan las diversas propiedades (actividad bactericida, fungicida, antiviral, estimulante del crecimiento, capacidad inductora) que hacen del quitosano y la quitina biomateriales sumamente atractivos para su aplicación en el campo de la agricultura. En segundo término se presentan algunos de los usos más comunes que actualmente se les dan a estos dos biomateriales (recubrimiento de frutos, semillas, alimentos con películas; protección de plántulas; clarificación de jugos de frutas; matrices para la liberación de agroquímicos; biocidas), algunos de los cuales ya han sido aprobados legalmente en varios países y están siendo aprovechados comercialmente. Finalmente, se presenta una breve revisión de la tendencia hacia la producción y el uso del quitosano y la quitina en Latinoamérica. La revisión realizada permite vislumbrar una gran potencialidad para la producción y aplicación de estos biomateriales en el área agrícola en la región latinoamericana.

**Palabras claves:** Agroquímicos naturales, biocidas, estimulación de crecimiento, inductor, protección de plantas

## ABSTRACT

Chitin and chitosan main properties (i.e. bactericide, fungicide, antiviral, growth stimulation, elicitor capability) and their potential agricultural applications are discussed. Some of the more common uses (fruit, seed and food coating, plantlet protection, fruit juice clarification, matrix for agrochemical release, biocide) for these materials are presented, including those which have already been legally approved in several countries and commercially exploited. A brief review on the production and commercialization of products based on chitin and chitosan in the Latin American region is presented. This review points that the biomaterials covered are of great importance for the Latin American industry.

**Key words:** Natural agrochemicals, biocide, growth stimulation, elicitor, plant protection.

## INTRODUCCIÓN

En general, la búsqueda de materiales menos agresivos con el ambiente es una tarea continua en todas las áreas del quehacer humano debido a los altos niveles de contaminación presentes en todo el planeta. En la agricultura este trabajo es doblemente complicado porque, por un lado se deben producir materiales que logren su efecto específico en la planta o en sus productos, mientras que por el otro, se necesita que éstos se eliminen sin efectos perturbadores en el medio ambiente. Adicionalmente, en los sistemas agrícolas es necesario garantizar que los diversos agroquímicos utilizados como biocidas, estimuladores de crecimiento, fertilizantes, etc., no

produzcan efectos perjudiciales como la inducción de resistencia en patógenos o su acumulación en los consumidores humanos. Se estima que muchas de las enfermedades actuales se producen por las causas anteriores.

El uso de agroquímicos de origen natural podría ser una solución satisfactoria a la problemática anterior. Son muchas las sustancias que desde mucho tiempo se usan en este sentido. En el presente trabajo se aborda la revisión de algunas aplicaciones de la quitina y el quitosano, dos biopolímeros de origen natural que se han convertido rápidamente en una alternativa prometedora para la agricultura.

Las propiedades antimicrobianas de la quitina y el quitosano son conocidas por el hombre desde la antigüedad. En un principio, no se conocía la relación entre dichas propiedades y la composición química de estos materiales. Sí se conocían, no obstante, sus propiedades curativas, las cuales fueron aprovechadas ampliamente, como por ejemplo en la aceleración de la cicatrización de heridas. En este sentido, se sabe que los primeros mexicanos usaban preparaciones derivadas de hongos para acelerar la cicatrización de heridas y que los coreanos primitivos utilizaban

quitina, proveniente de la pluma de calamar, para favorecer la curación de abrasiones corporales (Goodman, 1989).

El uso del quitosano en actividades agrícolas es mucho más reciente pero, a pesar de ello, puede considerarse hoy en día abundante y en aumento. El cuadro 1 muestra algunas de las aplicaciones que se han ensayado para este biopolímero en actividades relacionadas con la agricultura.

Cuadro 1. Algunas de las aplicaciones de la quitina y el quitosano en actividades relacionadas con la agricultura.

Uso	Bipolímero	Propiedades aprovechadas	Referencias	Cultivo
Películas para recubrimiento de frutos, hojas, semillas y vegetales frescos	Quitosano	Antimicrobiana	Galed <i>et al.</i> , (2004), Srinivasa <i>et al.</i> , (2004), Ratanachinakorn <i>et al.</i> , (2005) Hewajulige <i>et al.</i> , (2007), Devlieghere <i>et al.</i> , (2004)	Cítricos, mango, toronja, lechosa (papaya), fresa, tomate
Clarificación de jugos de fruta	Quitosano	Coagulante-Floculante	Chatterjee <i>et al.</i> , (2004), Boguslawski <i>et al.</i> , (1990), Root y Johnson, (1978), Hongfei y Hesheng, (2003)	Pera, toronja, limón, manzana
Protección de plántulas	Quitosano	Fungicida	Barka <i>et al.</i> , (2004); Lafontaine y Benhamou, (1996)	Uva de vino, tomate
Liberación controlada de agroquímicos	Quitina y quitosano	Formación de hidrogeles, labilidad de derivados	Mc Cormick <i>et al.</i> , (1982), Teixeira <i>et al.</i> , (1990), Hirano, (1978), Palma <i>et al.</i> , (2005)	Arándano
Estimulación del crecimiento	Quitosano	Bioestimulante	Nge <i>et al.</i> , (2006)	Orquídea
Inhibidor del oscurecimiento de frutos y tubérculos	Quitosano	Biocida	Waliszewski <i>et al.</i> , (2002)	Banana, papa
Biocidas	Quitosano	Antimicrobiana	Liu <i>et al.</i> , (2007), Hadwiger y McBride, (2006), Bautista-Baños <i>et al.</i> , (2006)	Tomate, papa, hortalizas
Corrección de sustratos de crecimiento	Quitina y quitosano	Fungicida, nematicida	Sneh y Henis, (1972), Abd-El-Kareem, (2002), Abd-El-Kareem <i>et al.</i> , (2002), Abd-El-Kareem <i>et al.</i> , (2004), Abd-El-Kareem <i>et al.</i> , (2006)	Lupino blanco (altramuz), guisante, tomate, papa, apio
Inductor de mecanismos de defensa	Oligómeros de quitina y quitosano	Inductor de resistencia	Khan <i>et al.</i> , (2003)	Soya

La diversidad de uso de estos materiales en diferentes áreas del quehacer humano, en muchas partes del mundo, y el poco conocimiento que de éstos se tiene en el sector agrícola de nuestra región ha motivado la realización de esta revisión bibliográfica, buscando darle mayor difusión a este conocimiento acumulado. Igualmente, el trabajo realizado pretende servir de puente entre las investigaciones previas relacionadas con algunas aplicaciones del quitosano desarrolladas por el autor (Lárez, 2002; Lárez, 2006, Lárez *et al.*, 2007) y el sector agroproductor de la región andina de Venezuela, la cual es productora de rubros agrícolas que en nuestro país se obtienen casi exclusivamente en dicha zona, como el caso de la papa, la mora, el apio, etc. Es importante señalar que este sector, especialmente el asentado en la denominada zona alta, ha enfrentado desde hace mucho tiempo graves problemas medioambientales, muchos de los cuales están relacionados con el uso indiscriminado de biocidas y agroquímicos sintéticos, su consecuente acumulación en suelos y la contaminación del agua (Gutiérrez, 1998), con lo cual un trabajo motivador del uso de quitina y/o quitosano para estos fines parece una acción importante.

## 1.- PROPIEDADES DEL QUITOSANO ÚTILES EN AGRICULTURA

### 1.1.- Actividad bactericida

La carga positiva que se desarrolla en el quitosano en medio ácido ( $\text{pH} < 5,5$ ; Figura 1), debido a la protonación del grupo amino presente en cada una de sus unidades glucosamina, lo hace soluble en medio acuoso, diferenciándolo de su polímero matriz la quitina y, según muchos autores, confiriéndole también mayor actividad biocida (Papineau *et al.*, 1991; Helander *et al.*, 2001; Devlieghere *et al.*, 2004).

Los mecanismos de acción por los cuales el quitosano (con distintos grados de acetilación), y por extensión sus derivados, ejercen dicha actividad no

han sido dilucidados completamente; sin embargo, hay algunos mecanismos propuestos para explicar acciones específicas, como por ejemplo:

- La interacción electrostática entre el quitosano cargado positivamente (polielectrolito catiónico) y algunas bacterias con membranas celulares cargadas negativamente (Gram negativas como la *Echerichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus typhimurium*, etc.) altera significativamente las propiedades de barrera de la membrana exterior del microorganismo (Helander *et al.*, 2001). Algunos autores han propuesto que la formación del complejo polielectrolito bloquea físicamente la membrana celular externa del microorganismo, impidiendo el flujo normal de nutrimentos/desechos, provocando la muerte bacteriana (Chung *et al.*, 2004).
- La interacción electrostática entre los grupos  $\text{NH}_3^+$  del polication y los grupos fosforilos (Fernández *et al.*, 2003) de los fosfolípidos presentes en la membrana celular de bacterias Gram negativas causa daños en ésta, provocando la salida de material intracelular (Liu *et al.*, 2004). En este sentido se han realizado estudios espectroscópicos de la salida de dicho material, el cual absorbe en la región ultravioleta (270 nm). Más recientemente Chung y Chen (2008) han determinado que la salida del material intracelular bacteriano se ve favorecida por grados de acetilación más altos, tanto en bacterias Gram negativas (*E. coli*) como en Gram positivas (*Staphylococcus aureus*).
- Para algunas bacterias Gram positivas (como *S. aureus* y *Bacillus cereus*) que carecen de cargas negativas en la membrana celular, el quitosano ha mostrado actividad incluso mayor, en algunos casos, que para bacterias Gram negativas. En el caso de *S. aureus* recientemente se ha planteado la posibilidad de que la membrana celular de estos microorganismos tenga poros lo suficientemente grandes como para que el quitosano logre entrar al interior de las células (Li *et al.*, 2007) y alterar

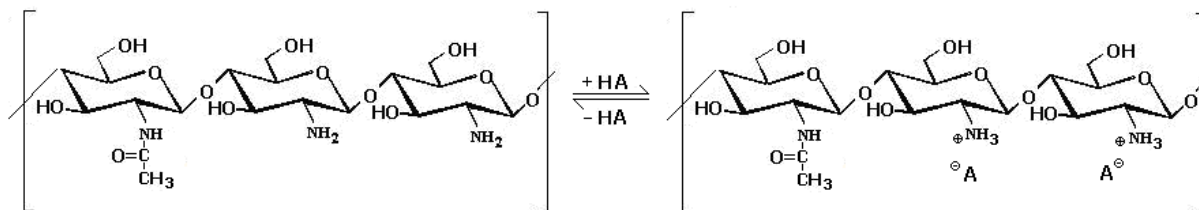


Figura 1. Estructuras químicas del quitosano en función del pH del medio.

funciones vitales de éstas. Su interacción con el ADN, por ejemplo, podría inhibir la replicación del ARNm y la síntesis de proteínas (Hadwiger *et al.*, 1985; Sudarshan *et al.*, 1992) y su efecto quelante podría disminuir la concentración de algunos metales necesarios en procesos enzimáticos (Cuero *et al.*, 1991). Sin embargo, otros autores creen que la longitud de persistencia del quitosano cargado positivamente es demasiado grande para poder pasar al interior de las células (Chung *et al.*, 2003).

- La interacción selectiva del quitosano con trazas de metales pudiera inhibir la producción de toxinas y el crecimiento microbiano (Sudarshan *et al.*, 1992). En este sentido se conoce bien que el quitosano puede ejercer una acción quelante bien específica (Varma *et al.*, 2004).

Como puede inferirse de los mecanismos propuestos, la actividad antimicrobiana del quitosano dependerá en gran manera de aquellos factores que ayuden a acentuar las cargas positivas en la cadena del biopolímero. Entre estos factores cabe destacar el grado de desacetilación, la distribución de los grupos desacetilados a lo largo de la cadena, la longitud de la cadena, la distribución de los pesos moleculares (Terbojevich *et al.*, 1991), el pH, la fuerza iónica del medio, el contraíón asociado en su forma sal y la temperatura.

En ese sentido, la dependencia de la carga con respecto al grado de desacetilación es lineal debido a que los quitosanos más desacetilados (de una misma longitud de cadena) tendrán mayor número de grupos aminos libres para ionizar, lo cual dependerá obviamente del pH del medio (Rinaudo *et al.*, 1993); asimismo, un peso molecular mayor implicará una molécula con más grupos cargados (para un mismo grado de desacetilación y al mismo pH) y una mayor interacción electrostática con grupos cargados negativamente.

Por su parte, el contraíón asociado al quitosano en su forma salina puede apantallar en una extensión variable las cargas positivas de éste, entre otras razones por efectos estéricos (Lárez *et al.*, 2008). Un estudio sobre la actividad del quitosano disuelto en distintos ácidos sobre *E. coli* confirmó que los ácidos orgánicos de menor tamaño produjeron soluciones con mejores propiedades bactericidas. El ácido fórmico es más eficaz que el ácido acético, cuyas soluciones a su vez mostraron mayor actividad

que las preparadas con ácido propanoico (Chung *et al.*, 2003). El apantallamiento de las cargas en la cadena también puede surgir de la presencia de iones externos (algunas veces añadidos al medio para controlar la fuerza iónica), lo que modifica la magnitud de las interacciones entre éstas (Rinaudo *et al.*, 1993); sin embargo, debe considerarse también que las moléculas de quitosano tienen una mayor solubilidad a valores de fuerza iónica mayores, con lo cual pueden compensar la mayor flexibilidad que adquieren en estas condiciones. La mayor actividad bactericida observada contra *E. coli* y *S. aureus* para valores de fuerza iónica más altos así parece demostrarlo (Chung y Chen, 2008).

La explicación anterior también podría ser válida para justificar la mayor actividad bactericida que se ha observado con soluciones de quitosano cuando se incrementa la temperatura (Tsai y Su, 1999), en contra de lo que debería esperarse si se considera que al aumentar la temperatura las cadenas se hacen más flexibles y compactas (Launay *et al.*, 1986) y/o disminuyen su volumen específico porque se desfavorecen los puentes de hidrógeno con el agua (Noguchi, 1981).

## 1.2.- Actividad fungicida

La actividad fungicida del quitosano se ha estudiado, tanto *in vitro* (El Ghaouth *et al.*, 1992a) como *in vivo* (Li y Yu, 2001; Yu *et al.*, 2007). El quitosano inhibe multitud de especies de hongos, exceptuando, o siendo menos efectivo con aquellas que lo poseen en sus paredes celulares (Roller y Covill, 1999; Allan y Hardwiger, 1979), como cabría esperar. Los hongos que poseen quitosano como componente de sus paredes celulares deberían ser menos sensibles a la aplicación de dosis razonables de éste por dos razones: (a) la presencia natural de quitosano en las paredes celulares no genera efectos adversos para el microorganismo y (b) las interacciones electrostáticas del quitosano añadido (exógeno), cargado positivamente, deberían verse menos favorecidas con paredes celulares que poseen quitosano endógeno que cuando éstas poseen material con cargas negativas. Estos estudios han dejado claros los principales requerimientos que deben satisfacerse para lograr una mayor efectividad fungicida del biopolímero. Los más importantes son:

- Existe una alta correlación entre la concentración de quitosano aplicada y la inhibición fúngica; por

ello, para una buena efectividad se deberá encontrar la dosis adecuada en cada situación.

- Existen evidencias de que la sensibilidad de los hongos patógenos hacia el quitosano puede cambiar en los diferentes estadios de su desarrollo. Por ejemplo, en el trabajo de Liu *et al.* (2007), se reporta que el quitosano es mejor inhibidor de la germinación de *Penicillium expansum* que la de *Botrytis cinerea*, contrariamente a lo que se observó en el crecimiento micelial de estas especies. De manera similar, un estudio reciente ha mostrado que el quitosano es más efectivo sobre los conidios que sobre las hifas de algunos hongos fitopatógenos (Palma-Guerrero *et al.*, 2008). En general, estos resultados son similares a los reportados para otros agentes fungicidas, como por ejemplo el caso reportado por Everett *et al.* (2005), quienes encontraron que la germinación de esporas de *Botryosphaeria parva* fue menor con la aplicación del agente fluazinam que la de *Colletotrichum gloeosporioides*, pero ocurrió lo contrario para la inhibición del crecimiento micelial.
- También se ha encontrado una relación directa entre la actividad fungicida y el peso molecular del quitosano (Hirano y Nagano, 1989; Bautista-Baños *et al.*, 2005).

De igual modo, la actividad fungicida del quitosano se ha asociado desde hace mucho a su carácter catiónico. La interacción de los grupos amino libres, cargados positivamente en medio ácido, con los residuos negativos de las macromoléculas expuestas en la pared de los hongos, cambian la permeabilidad de la membrana plasmática, con la consecuente alteración de sus principales funciones

(Benhamou, 1992).

Otras posibles explicaciones de la actividad fungicida del quitosano se relacionan con la inhibición de la síntesis de algunas enzimas presentes en los hongos (El-Ghaouth *et al.*, 1992a) o la ocurrencia de alteraciones citológicas, como se ha reportado en el caso de *B. cinerea*, donde se ha observado al microscopio la aparición de vesículas y/o células vacías carentes de citoplasma, después del tratamiento con soluciones acuosas al 1,75% de quitosano (Barka *et al.*, 2004).

El cuadro 2 muestra algunos de los patógenos para los que se ha determinado *in vitro* la capacidad inhibitoria del quitosano.

### 1.3.- Actividad antiviral

Se han publicado algunos trabajos sobre la inhibición que provocan las soluciones de quitosano en enfermedades de plantas provocadas por virus y viroides (Chirkov, 2002; Pospieszny *et al.*, 1989; Pospieszny *et al.*, 1991; Pospieszny 1997). Así, por ejemplo, Pospieszny *et al.* (1989) encontraron que una solución acuosa 0,1% de quitosano (rociada o adicionada al inóculo) logra controlar completamente la infección local causada por el virus del mosaico de la alfalfa (VMA) en hojas de frijoles. Se obtuvieron resultados similares para otros virus como el virus de la necrosis del tabaco, virus del mosaico del tabaco (VMT), virus del no crecimiento del maní, virus del mosaico del pepino y el virus X de la papa (Pospieszny *et al.*, 1991).

Por otra parte, se ha reportado la inhibición de la enfermedad causada por inoculación de hojas de tomate con un viroide que afecta la papa (potato

Cuadro 2. Algunos fitopatógenos en los cuales se ha estudiado la actividad biocida del quitosano.

Patógeno	Resultados de los estudio realizados	Referencias
<i>Botrytis cinerea</i>	Se encontró que el quitosano (50 ppm) controla la enfermedad conocida como "moho gris" en pepino.	Ben-Shalom <i>et al.</i> , (2003)
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Se encontró que los tratamientos <i>in vitro</i> con quitosano (2 y 3%) tienen efectos fungicida.	Bautista-Baños <i>et al.</i> , (2003)
<i>Fusarium solani</i>	Se demostró que el heptámero no acetilado del quitosano tiene una alta actividad fungicida.	Kendra y Hadwiger, (1984)
<i>Phytophthora capsici</i>	Se demostró que los oligo-quitosanos pueden penetrar la membrana del patógeno y unirse al ADN y/o ARN	Xu <i>et al.</i> , (2007)
<i>Pythium debaryanum</i>	El tratamiento con quitosano favorece la germinación y crecimiento de semillas de lechuga en medios infectados	Kurzawińska, (2007)



spindle tuber viroid), cuando éstas fueron tratadas con soluciones de quitosano (Pospieszny 1997).

Las principales observaciones de estos estudios han sido:

- La eficacia del quitosano en la inhibición de infecciones virales depende de la combinación virus/hospedante, la concentración de quitosano aplicado y la forma de aplicación.
- La mayor protección ocurrió en las partes tratadas con quitosano (hojas) pero el efecto protector también pudo apreciarse en otras partes no tratadas de las plantas que recibieron el tratamiento (efecto sistémico).
- El quitosano añadido a los protoplastos del tabaco bloquea completamente la acumulación del VMT aún después de 6-8 horas de aplicado.
- El tratamiento previo con quitosano reduce significativamente la infección viral en varias especies vegetales.

#### 1.4.- Estimulación del crecimiento

En términos generales, la aplicación de quitosano ha mostrado efectos positivos en el crecimiento de las plantas, tanto en la estimulación de la germinación de semillas como en el crecimiento de partes de la planta como raíces, retoños y hojas. En algunos casos, se ha observado que la estimulación de la germinación de semillas por tratamiento con quitosano ha logrado elevar el porcentaje de germinación a los niveles requeridos para la certificación (Bhaskara *et al.*, 1999).

Los efectos beneficiosos del quitosano se han observado en plantas florales (Wanichpongpan *et al.*, 2001) y en plantas de cosecha (Chibu y Shibayama, 2001). Así, por ejemplo, cuando se aplicaron soluciones muy diluidas de quitosano en las raíces de orquídeas, en forma de aerosol, éstas mostraron una estimulación en su crecimiento y renovaron su

producción de flores (Chandrkrachang, 2002), entre otros efectos favorables. Un estudio más reciente, relacionado con el crecimiento de tejidos vegetales, ha mostrado que el origen del quitosano es un aspecto importante. Los quitosanos procedentes de hongos necesitaron de dosis menores para la inducción de la diferenciación de tejidos de plantas de orquídeas que los oligómeros procedentes de caparzones de camarones (Nge *et al.*, 2006), lo cual no es del todo extraño. A este respecto se sabe que uno de los aspectos fundamentales en las propiedades fisicoquímicas del quitosano es su fuente de extracción. Así por ejemplo, la quitina obtenida de camarones y cangrejos tiene una estructura cristalográfica  $\alpha$ , en la cual las cadenas principales están ordenadas en agregados antiparalelos que les permite formar puentes de hidrógenos intermoleculares muy fuertes, mientras que la procedente de las plumas de calamar tiene una estructura  $\beta$ , con las cadenas ordenadas en arreglos paralelos y fuerzas intermoleculares más débiles (Tolaimate *et al.*, 2000).

En el cuadro 3 se pueden observar algunos resultados interesantes, que confirman el efecto beneficioso del quitosano en algunas variables relacionadas con el crecimiento en plantas de mijo perla, cuyas semillas fueron tratadas previamente con Alexa, un agroquímico que contiene quitosano como ingrediente activo.

#### 1.5. Inducción de resistencia

Desde hace tiempo se ha comprobado que el quitosano induce reacciones de defensa en algunas plantas (Pearce y Ride, 1982), sensibilizándolas para responder más rápidamente al ataque de patógenos. Entre las sustancias cuya inducción se ve favorecida por la presencia de quitina y/o quitosano, así como también muchos de sus derivados, se incluyen:

- Fitoalexinas: pisantina, risitina, orchinol, genistein, etc.
- Proteínas relacionadas a la patogénesis.

Cuadro 3. Mejoría porcentual de algunas variables de crecimiento del mijo perla cuando sus semillas se tratan previamente con Alexa con relación a las semillas no tratadas (Sharathchandra *et al.*, 2004).

Variable	Altura de la planta	Número de retoños	Número de mazorcas	Longitud de las mazorcas	Contorno de Semillas	Peso de 1000 semillas
% de mejoría	42	83	50	8	20	19

- Inhibidores proteicos
- Ligninas.

En el caso del quitosano se ha propuesto que esta sensibilización ocurre porque su presencia estimula mecanismos de defensa ya conocidos (Barka *et al.*, 2004), como por ejemplo la producción de quitinasas y glucanasas (Benhamou, 1996); la lignificación en hojas dañadas (Pearce y Ride, 1982) o intactas (Moerschbacher *et al.*, 1986); la generación de peróxido de hidrógeno (Lee *et al.*, 1999) o la formación de fitoalexinas en legumbres y plantas solanáceas (Cote y Hahn, 1994). Los compuestos que provocan este tipo de respuestas se conocen como inductores.

Un factor importante a considerar en el uso de quitosano como un inductor es, además del peso molecular, su grado de acetilación. Los quitosanos completamente desacetilados no inducen respuestas defensivas en la mayoría de los sistemas donde han sido ensayados; los resultados con materiales parcialmente acetilados son muchas veces dependientes del sistema estudiado, pero en general éstos actúan como excelentes inductores, lo que ha llevado a pensar en mecanismos de inducción diferentes (Lee *et al.*, 1999). Por esa razón, se ha pensado que la actividad del quitosano como inductor reside en sus regiones acetiladas.

La actividad inductora del quitosano altamente desacetilado y la no actividad de los oligómeros completamente desacetilados ha sido explicada por un mecanismo independiente de receptores específicos (Kauss *et al.*, 1989), considerando que puede ocurrir una interacción entre las cargas positivas del polícatión con fosfolípidos negativamente cargados de la membrana plasmática en las plantas, afectándose la integridad de esta última. Sobre la base de estas consideraciones, se debería esperar un aumento en la actividad inductora del quitosano cuando su grado de acetilación disminuye, es decir, cuando sus grupos cargados aumentan; sin embargo, es preciso también recordar que su actividad desaparece cuando el material está completamente desacetilado.

En el cuadro 4 se muestran algunos de los sistemas donde se ha estudiado la capacidad inductora del quitosano. Es importante resaltar que en algunos casos la capacidad inductora del quitosano no sólo puede ser aprovechada para proteger la planta sino

que se puede utilizar para incrementar el rendimiento de alguna sustancia comercialmente importante, como algunos metabolitos secundarios en los casos del aceite esencial d-limoneno en algunos cítricos y el mentol en la menta (Lockwood *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 1998).

## 2.-ALGUNOS USOS ESPECÍFICOS DE LA QUITINA Y EL QUITOSANO EN ÁREAS RELACIONADAS CON LA AGRICULTURA

### 2.1.- Protección de frutos y vegetales frescos con recubrimientos de quitosano

El uso de quitosano para el recubrimiento de frutas y vegetales se ha propuesto y ensayado desde hace más de 15 años (El Ghaouth *et al.*, 1991) debido a sus propiedades bactericidas y fungicidas, su capacidad para formar películas y su baja toxicidad en seres humanos, la cual había sido estudiada en la década de los sesenta del siglo pasado (Arai *et al.*, 1968). En principio, la capacidad del quitosano para formar películas favorece la preservación de los productos debido a la modificación de la atmósfera interna y a la disminución de las pérdidas por transpiración.

En la mayoría de los sistemas estudiados se observó un efecto positivo en la conservación de los productos después de su recubrimiento con quitosano. Así por ejemplo, Devlieghere *et al.* (2004) observaron que el recubrimiento de fresas con soluciones de quitosano tiene efectos benéficos notables a partir del cuarto día, en la preservación del fruto. Las principales observaciones en estos sistemas han sido las siguientes:

- Disminución en las pérdidas por transpiración. La respiración disminuye lentamente, aunque inicialmente se observa un incremento de la misma que se atribuye al estrés ocasionado por la solución acuosa de ácido láctico/lactato de sodio usada para disolver el quitosano.
- Se conserva una mejor textura con el tiempo; en los casos donde se realizaron mediciones cuantitativas se estableció una mayor firmeza en los frutos tratados con quitosano que en aquellos no tratados.
- Aparte de un ligero sabor amargo inicial durante el primer día, que desaparece rápidamente y que no

se aprecia en días posteriores, la presencia de quitosano no causó diferencias organolépticas apreciables entre los frutos tratados y los frutos no tratados con quitosano.

- La carga microbiológica a lo largo del tiempo permaneció siempre más baja en los sistemas tratados con quitosano.

En este mismo trabajo se reportaron resultados similares para una mezcla de legumbres frescas (lechuga, endibia, rábano, etc.) tratadas con

una solución de quitosano al pH natural de éstas. Sin embargo, en este caso se observaron dos situaciones iniciales adversas:

- El sabor amargo inicial de las muestras tratadas con quitosano permanece durante un tiempo mayor, aunque éste va desapareciendo en el tiempo. Se atribuyó este sabor amargo al pH inicial más alto de la solución de quitosano (alrededor de 5) ya que las soluciones de quitosano con  $\text{pH} < 5,5$  tienen un sabor astringente que se hace menos pronunciado a medida que el pH

Cuadro 4. Efecto inductor del quitosano sobre la producción de metabolitos secundarios y la defensa de la planta.

Vegetal	Patógenos	Tratamiento	Resultados	Referencias
Lupino (altramuz) amarillo		Las raíces de las plantas fueron tratadas con solución acuosa 0,1% p/v de quitosano por 24 horas	Se observó un notorio aumento en la síntesis de genistein (una fitoalexina).	Kneer <i>et al.</i> , (1999)
Naranja dorada (Kumquat)		Plantas crecidas en un medio de cultivo conteniendo quitosano (200 mg/L)	Se observó un aumento de la producción de d-limoneno de 17 veces su contenido natural.	Lockwood <i>et al.</i> , (2007)
Menta		Células de <i>Mentha piperita</i> cultivadas en soluciones acuosas que contienen 200 mg/L de quitosano	Aumento de la producción de mentol	Chang <i>et al.</i> , (1998)
Maní	<i>Puccinia arachidis</i>	Hojas tratadas con solución acuosa de 1000 ppm de quitosano	Se observó un aumento en los niveles de ácido salicílico endógeno y una mayor actividad para quitinasa intercelular y glucosanasa.	Sathiyabama y Balasubramania, (1998)
Pepino	<i>Pythium aphanidermatum</i>	Plantas crecidas en soluciones acuosas con distintas concentraciones de quitosano	Se observó formación de barreras físicas en las raíces y estimulación de hidrolasas en raíces y hojas.	El-Ghaouth <i>et al.</i> , (1994)
Soya	<i>F. solani</i> f. sp. <i>glycines</i>	Hojas rociadas con soluciones acuosas de quitosano (0,1-0,5 mg/ml) 24h antes de inocular el patógeno	Inducción de un incremento en la actividad de las quitinasas y retardo del síndrome de muerte súbita	Prapagdee <i>et al.</i> , (2007)
Tomate	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	Recubrimiento de semillas con soluciones acuosas de quitosano junto con enmienda del medio de crecimiento también con quitosano	El pretratamiento estuvo siempre asociado con la expresión de reacciones de defensa de las plantas.	Benhamou <i>et al.</i> , (1994)

aumenta (Rodríguez *et al.*, 2003)

- Una apariencia limosa inicial de las legumbres, que va tornándose con el tiempo similar a la de las muestras control.

La carga microbiológica en la mezcla de lechugas comienza a aumentar a partir del cuarto día; los autores asumen que la actividad bactericida de la solución de quitosano usada en estos ensayos es menor debido a que el pH alto (~5) lo hace tener una menor fracción de cargas positivas.

Los aspectos que deben ser considerados en la preservación de frutos y vegetales mediante el uso de recubrimientos de quitosano son:

- a) El tipo de quitosano a emplear (grado de acetilación, peso molecular, procedencia).
- b) Ácido usado para preparar las soluciones acuosas.
- c) pH del medio, cuidando de respetar el pH natural del producto a proteger.
- d) Temperatura de almacenamiento.
- e) La presencia de otros componentes en el producto a proteger, como por ejemplo azúcares, sales, proteínas, etc.

Se puede observar un resumen de algunos sistemas estudiados mediante protección con recubrimientos de quitosano en el cuadro 5.

## 2.2.- Protección de plántulas

Una de las mayores necesidades agrícolas es la protección de las plántulas contra enfermedades causadas por patógenos. En este sentido, un estudio reciente relacionado con la protección de plantitas de uva (Barka *et al.*, 2004) mostró que el quitosano no sólo es efectivo para inhibir el crecimiento de *B. cinerea* en las plantitas expuestas a este microorganismo sino que además parece activar mecanismos de defensa. Igualmente, el tratamiento con el biopolímero estimuló el crecimiento de las plantitas. Otros estudios realizados con plántulas de tomate han mostrado resultados similares en la inducción de resistencia hacia *Fusarium oxysporum* (Benhamou *et al.*, 1998).

Se considera que el quitosano puede inducir la acumulación masiva de sustancias fungitóxicas en los lugares de aplicación y/o constituirse en una barrera que impida el flujo de nutrimentos hacia el patógeno; esta última consideración se soporta en señales de deterioro que a menudo muestran las células fúngicas expuestas a quitosano, como por ejemplo la formación anormal de depósitos enriquecidos en quitina entre la membrana plasmática y la pared celular (Benhamou *et al.*, 1998; El-Ghaouth *et al.*, 2000).

## 2.3.- Clarificación de jugos de frutas

El carácter coagulante/floculante del quitosano se ha aprovechado desde hace más de 30 años en algunas aplicaciones relacionadas con el tratamiento de aguas provenientes de diversas fuentes (Bough, 1975; Roussy *et al.*, 2005) así como en la recuperación de sólidos suspendidos en aguas residuales que pueden ser aún aprovechables (Bough y Landes, 1978). Sin embargo, la utilidad de dichas aplicaciones ha estado limitada por la solubilidad del biopolímero a valores de pH > 6,5. En ese sentido, una estrategia común ha sido la modificación química del quitosano para generar materiales solubles en un intervalo de pH más amplio, incluyendo valores de pH alcalinos, que pueda permitir el tratamiento de aguas de diversa procedencia. Así, por ejemplo, la metilación exhaustiva del grupo amino del biopolímero produce un material soluble en agua que tiene mejores propiedades coagulantes/floculantes que el quitosano de partida (Lárez *et al.*, 2003).

Por otra parte, en varios países se ha aprobado el uso del quitosano para ser utilizado como aditivo en la clarificación de jugos de frutas (Baxter *et al.*, 2005; Oszmiański y Wojdyło, 2007), aunque éste presenta los mismos inconvenientes de insolubilidad en medios neutros o alcalinos, por lo que se han ensayado quitosanos modificados para solventar dicha insolubilidad. Una de las vías rápidas que se ha encontrado para solubilizar el quitosano es la disminución de su grado de polimerización mediante hidrólisis con ácido acético a 95 °C (Chatterjee *et al.*, 2004); el hidrolizado así obtenido se usó, después de su purificación, como agente coagulante/floculante en la clarificación de jugos de varias frutas (manzana, uva, naranja y limón) obteniéndose resultados satisfactorios. Así por ejemplo, para todos los jugos ensayados con este quitosano se obtuvo una mayor disminución de la turbidez que con otros agentes clarificantes como bentonita y gelatina, un contenido

de ácidos y azúcares similar a los originales y un contenido de sólidos totales y proteínas sólo ligeramente inferior; de la misma manera, las propiedades de sabor, color, apariencia y aceptabilidad mejoraron después del tratamiento con quitosano.

#### 2.4.- Matriz para la liberación controlada de agroquímicos

Los agroquímicos son sustancias usadas para mejorar la producción en las cosechas; sin embargo, su aplicación convencional puede llegar a resultar en

la contaminación de suelos y aguas. Por ello, se hace necesario disminuir las cantidades usadas de ingredientes activos sin reducir la eficiencia de los tratamientos. El reemplazo de formulaciones agroquímicas tradicionales por sistemas de liberación controlada no solo ayuda a evitar el empleo de cantidades excesivas de sustancias activas sino que a menudo ofrece soluciones técnicas adecuadas en áreas especiales, como por ejemplo: el control del arroz silvestre (*Zizania aquatica*), el manejo de enfermedades en campos deportivos, etc. Los objetivos fundamentales que se pretenden alcanzar mediante el uso de formulaciones para la liberación

Cuadro 5. Algunos frutos estudiados con recubrimientos de quitosano.

Producto	Forma de aplicación	Objetivo del recubrimiento con quitosano	Referencias
Fresa	Frutas rociadas con soluciones acuosas 1-2% p/v de quitosano	Inducción de mecanismos de defensa (incremento de la actividad para quitinasa y $\beta$ -1,3-quitosanasas).	Zhang y Quantick, (1998)
Guayaba	Recubrimiento de las rodajas con películas formadas a partir de soluciones acuosas de quitosano.	Conservación de propiedades en rodajas del fruto	Thommohaway <i>et al.</i> , (2007)
Lechosa (papaya)	Frutas cubiertas con películas de quitosanos formadas a partir de soluciones acuosas 1%	Recubrimiento de frutos para protección de la antracnosis. Se observó inhibición en el crecimiento micelial y en la germinación de esporas.	Hewajulige <i>et al.</i> , (2006)
Mandarina	Fruta introducida en solución acuosa de quitosano y dejada secar	Control del crecimiento de hongos. <i>Penicillium digitatum</i> y <i>Penicillium italicum</i> .	Chien <i>et al.</i> , (2007a)
Mango	Cajas del fruto protegidas con películas de quitosano.	Conservación de las propiedades del fruto entero por mayor tiempo.	Srinivasa <i>et al.</i> , (2004)
Mango	Recubrimiento de las rodajas con películas de quitosano (obtenidas dejando secar al aire soluciones acuosas de quitosano en ácido acético 5%)	Conservación de las propiedades de rodajas del fruto por mayor tiempo.	Chien <i>et al.</i> , (2007b)
Manzana	Trozos de fruta recubiertos con películas formadas a partir de soluciones acuosas 1 % de quitosano	Retardo del oscurecimiento en fruto cortado	Worakeeratikul <i>et al.</i> , (2007)
Melocotón	Películas de quitosano obtenidas a partir de soluciones acuosas	Alargamiento del tiempo de almacenamiento	Du <i>et al.</i> , (1997).
Tomate	Películas de quitosano obtenidas a partir de soluciones acuosas	Alargamiento del tiempo de almacenamiento	El-Ghaouth <i>et al.</i> , (1992c).

controlada son:

- Protección de los agentes suministrados.
- Permitir la liberación automática del agroquímico únicamente en el lugar seleccionado, a una velocidad adecuada.
- Mantener su concentración en el sistema dentro de los límites óptimos durante un periodo de tiempo especificado, otorgando especificidad y persistencia

En este sentido, la liberación sostenida en el tiempo de agroquímicos, de diversa índole, es una de las metas a lograr en la agricultura debido a que ésta puede permitir tomar el control de varios problemas, entre los cuales se pueden mencionar:

- Los efectos de los agroquímicos liberados se prolongan con lo cual se obtienen ahorros económicos sustanciales debido a que se puede ejercer un mejor control de las cantidades usadas.
- La liberación desde la matriz ocurre cuando la planta lo necesita, generalmente en dosis menores a las que se obtienen cuando el agroquímico se aplica solo.
- Reducción del número de aplicaciones, disminuyendo el contacto del personal con los agroquímicos y las horas dedicadas a este trabajo, así como también el estrés en las plantas.
- Disminución del riesgo en la toxicidad hacia humanos y animales debido a que la aplicación se realiza en la vecindad de cada planta y en dosis controladas.
- Uso de las cantidades necesarias del agroquímico,

lo que obviamente conlleva a menores costos económicos.

- Un trato más amigable del medioambiente debido a la liberación de las cantidades necesarias para las plantas. Igualmente, la degradación del biomaterial usado como soporte no afecta la calidad del suelo.

Una de las primeras propuestas para el uso de derivados de quitosano, en forma de membrana protectora, para la liberación controlada de agroquímicos fue realizado por Hirano (1978). Así mismo, la quitina se utilizó como matriz para la liberación de un agroquímico en los inicios de los años ochenta, cuando se reportó la unión química del herbicida metribuzin a este biopolímero y su subsiguiente liberación (McCormick *et al.*, 1982). Posteriormente, se publicaron estudios para la liberación controlada de urea y atrazina, un herbicida de uso común para controlar la cizaña (*Lolium temulentum*) en campos de maíz, usando películas y perlas fabricadas con hidrogeles de quitosano y derivados de este biopolímero (Teixeira *et al.*, 1990). Los ensayos mostraron que las matrices usadas eran efectivas para controlar la liberación de los agroquímicos estudiados y extender su tiempo de liberación hasta periodos 180 veces mayores que cuando éstos se aplican solos. En el cuadro 6 se muestran algunos de los sistemas basados en quitina y/o quitosano utilizados para la liberación controlada de agroquímicos.

### 2.5.- Biocidas basados en quitina y quitosano

El uso de la quitina para el control de nemátodos del suelo se conoce desde hace tiempo (Mankau y Das, 1969) y en la actualidad existen en el mercado algunos productos que pueden ser usados con este fin tales como Clandosan, Biolizer NC, Eco-

Cuadro 6. Algunos sistemas basados en quitina y/o quitosano estudiados en la liberación controlada de agroquímicos.

Matriz	Agroquímico estudiado	Referencias
Quitina químicamente sustituida con el agroquímico.	Metribuzin (herbicida)	McCormick <i>et al.</i> , (1982)
Películas y perlas de quitosano cargadas con los agroquímicos	Urea (fertilizante); atrazina (herbicida)	Teixeira <i>et al.</i> , (1990)
Quitosano químicamente sustituido con etil-fosfonato (Ethepon)	Etileno (regulador del crecimiento).	Palma <i>et al.</i> , (2005)
Microcápsulas de quitosano preparadas por una reacción interfacial	3-hydroxy-5-methylisoxazole (herbicida)	Yeom <i>et al.</i> , (2002)