

QUIMIOATRACCION EN CRUSTACEOS: PAPEL DE MOLÉCULAS HOMOLOGAS

Roberto Mendoza, Jesús Montemayor, Julia Verde y Carlos Aguilera

**Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas
Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza Nuevo León México
C.P 66450. A.P. F-56. Tel/Fax + (8) 3529772
E-mail: rmendoza@ccr.dsi.uanl.mx**

RESUMEN

El uso de atractantes en los alimentos balanceados ha adquirido una enorme importancia económica y ecológica, ya que mediante su utilización resulta posible optimizar las tasas de conversión alimenticias al maximizar el consumo y reducir el desperdicio del alimento, lo cual repercute directamente sobre los costos de producción. Sin embargo, a pesar de que la quimiorecepción como área de estudio data de al menos 20 años, en la actualidad se cuenta con escasos productos comerciales eficaces y aún se desconoce el potencial de numerosas moléculas. En efecto, la mayor parte de los estudios se han restringido a evaluar extractos orgánicos y algunas moléculas sintéticas tales como amino ácidos y nucleótidos. Considerando esta premisa, se llevaron a cabo una serie de experimentos con *Macrobrachium rosebergii* orientados a la evaluación del potencial de moléculas naturales. Dos aminas biogénicas (Putrescina y Cadaverina) y dos feromonas (una presente en la orina de jaiba y otra presente en extractos de glándula de la orina de langostino) fueron comparadas con productos de referencia cuyo poder attractante había sido demostrado, tales como extractos de calamar y un attractante comercial. Cada uno de los attractantes fue agregado a una dieta formulada para que no tuviera ningún poder attractante. Los resultados fueron obtenidos mediante tres aproximaciones diferentes. Primero se llevo a cabo un bioensayo de quimioatracción, el cual consistió en medir el tiempo que tardaba un animal en presentar diferentes etapas alimenticias (percepción, orientación, movimiento, arribo e ingestión). Una segunda aproximación fue realizada en una granja comercial. Para este efecto, se colocó una cierta cantidad de alimento con el attractante a probar en una charola, la cual fue sumergida en una jaula (1 m³) en la que se habían colocado 10 individuos (5 machos y 5 hembras) de un peso promedio de 20 g. La charola fue levantada a diferentes tiempos (10, 20, 40 y 80 minutos) para estimar el número de pelles consumidos. Se llevaron a cabo tres repeticiones por tratamiento. Una tercera aproximación destinada a corroborar la ingestión del alimento consistió en incorporar un anticuerpo en este. Siguiendo una metodología similar a la anterior, se colectaron los hepatopancreas y las partes bucales de 3 individuos a cada tiempo. Más tarde se realizaron pruebas de inmunodifusión para constatar la ingestión. Los resultados obtenidos

a partir de las diferentes pruebas, mostraron que la cadaverina incluida al 0.2% resultó el atractante más potente. Por otra parte, las orinas de jaiba y de langostino mostraron buenos resultados únicamente con los machos, de aquí que su utilización pueda ser recomendada para cultivos monosexuales.

INTRODUCCION

La necesidad de optimizar las tasas de conversión alimenticia y de reducir los problemas asociados con la acumulación de sedimentos orgánicos en los estanques, han sido identificados como algunos de los puntos más importantes para lograr disminuir los costos de producción en las empresas acuícolas. Para llevar a cabo este propósito es necesario adoptar medidas que permitan preservar un ambiente adecuado para el buen desarrollo de los organismos en cultivo y, al mismo tiempo, disminuir el posible impacto ambiental en la zona en donde son liberados los efluentes (Boyd y Tucker, 1995).

Una alternativa viable para solventar este tipo de problemas consiste en la adición de atractantes a las dietas comerciales, propiciando de ésta manera que el animal localice rápidamente el alimento, lo que conlleva a aumentar la probabilidad de ingestión. Adicionalmente, esta medida implicaría disminuir la incorporación de ligantes en el alimento, cuya presencia puede resultar detrimental para la calidad del mismo (Mendoza, 1993), y por otra parte permitiría la incorporación de fuentes proteicas vegetales, que como la soya, al ser incluidas en proporciones importantes en la formulación resultan en la disminución de los niveles de ingestión (Lee y Meyers, 1996a y 1996b).

Lo expuesto anteriormente responde a algunas de las necesidades de la industria acuícola, la cual viene exigiendo mejores alimentos en términos de atracción, para de esta forma asegurar la ingestión del mismo, ya que una dieta, por más completa que sea, si no es ingerida de inmediato o en un corto lapso de tiempo, es poco probable que se aproveche su valor nutricional. Asumiendo que una dieta contenga una mezcla ideal de proteínas, vitaminas y minerales, esta requiere que todo el alimento que se ofrece al organismo sea consumido, en la práctica esto raramente se cumple ya que una proporción de la dieta no es ingerida, lo cual reduce la tasa de conversión alimenticia, causando además una cierta contaminación en el agua.

Por otra parte, debe considerarse que el alimento representa entre el 50 y el 60% de los costos de producción en una granja de langostino, por lo que es de suma importancia buscar alternativas para que su valor nutricional sea aprovechado al máximo.

No obstante que la inclusión de atractantes de buena calidad se considere definitiva para garantizar la ingestión de los alimentos en condiciones comerciales, dichas condiciones resultan ser a menudo adversas para la fácil localización del alimento, debido principalmente a la importante disolución de los atractantes en grandes volúmenes de agua y a la existencia de una gran variedad de moléculas con poder igualmente atractante presentes tanto en el bentos como en la columna de agua.

Por otro lado, cabe remarcar la limitada investigación sobre la detección de comportamientos alimenticios y/o quimiorrecepción en crustáceos de agua dulce comparada con la existente para crustáceos marinos (Tierney y Dunham, 1982).

Considerando el contexto anterior, el presente trabajo se orientó a demostrar el potencial de atracción de moléculas naturales hasta ahora nunca probadas, como lo son las feromonas y las aminas biogénicas en las dietas para langostinos.

ESPECIE

No obstante que el 90% de la actividad acuícola esta centrada en la producción de camarones peneidos, debido a lo atractivo que resulta la exportación de este producto, existen recursos con un enorme potencial aún no completamente explotado entre los crustáceos de aguas continentales, como el caso de langostino *Macrobrachium rosenbergii*, el cual presenta ventajas considerables para su cultivo, tales como poca agresividad, rápido crecimiento y adaptabilidad a las condiciones de cultivo, entre otras (Magallón, 1980).

QUIMIORRECEPTORES

En los crustáceos, los quimiorreceptores están divididos en función de su estructura, en astetascos (Figura 1) y no astetascos (Ache y Derby, 1985). Los astetascos se encuentran exclusivamente en el flagelo lateral de las anténulas en donde se componen como mechones de sensillia inervados por múltiples células bipolares (400,000/anténula). Los axones de los receptores celulares forman el nervio antenular que se proyecta hacia el lóbulo olfatorio del protocerebro de los crustáceos. Por otra parte, los movimientos antenulares desempeñan un papel significativo en la fisiología de la quimiorrecepción adaptándose al ambiente local al cual están expuestos los astetascos propiciando cambios mecánicos en la posición de los receptores. En efecto, los movimientos de las antenas sirven para aumentar la exposición de los astetascos a los químicos propiciando la circulación del agua (Pearson, et al., 1977).

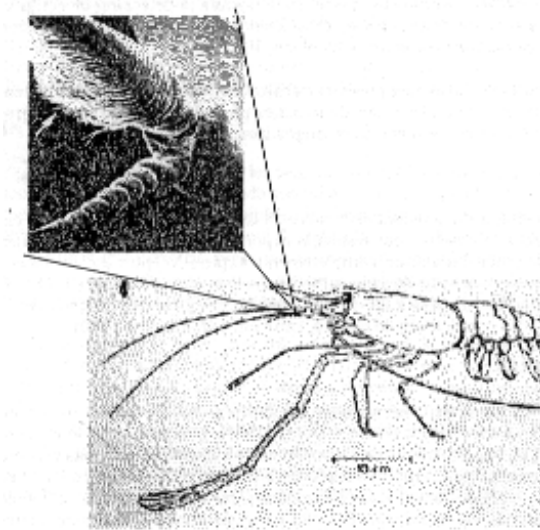


Figura 1. Localización de los astetascos.

La función de los astetascos esta asociada con el sentido del olfato (receptores de distancia), mientras que otro tipo de quimiorreceptores sensitivos localizados en apéndices masticadores y partes bucales funcionarían como el sentido del gusto (receptores de contacto). Así, un animal es capaz de detectar el alimento a distancia mediante el tipo de receptores antenales (astetascos) y una vez que se ha acercado a este lo explora con los pereiópodos y apéndices bucales en donde intervienen los receptores de contacto, de esto dependerá que acepte o rechace el alimento (Atema, 1977).

Cabe mencionar que la habilidad para percibir la presencia y calidad del alimento se debe considerar no sólo como una ventaja que poseen los organismos sino también como una estrategia energética, ya que se minimiza el tiempo de búsqueda y se maximiza la proporción neta de energía o nutrientes ingeridos. La decisión para alimentarse se realiza bajo la influencia de diferentes factores, tanto internos (nivel de inanición, dominancia social, sexo y estatus reproductivo), como externos (presencia de predadores o competidores).

ACTIVADORES E INHIBIDORES DEL COMPORTAMIENTO ALIMENTICIO

Existe cierto grado de confusión en torno a la clasificación de los estímulos químicos, por lo que muchos incitantes o estimulantes alimenticios han sido erróneamente identificados como quimioatractantes. Esto ha originado que muchos de los primeros reportes tengan un valor comparativo limitado debido a la inconsistencia en la metodología y a la pobre descripción de las condiciones del medio ambiente, la salud de los animales y la variabilidad individual (Derby y Atema, 1982).

Según Lindstedt (1971), Heinen (1980) y Mackie (1982) existen diferentes activadores e inhibidores del comportamiento alimenticio (Figura 2).

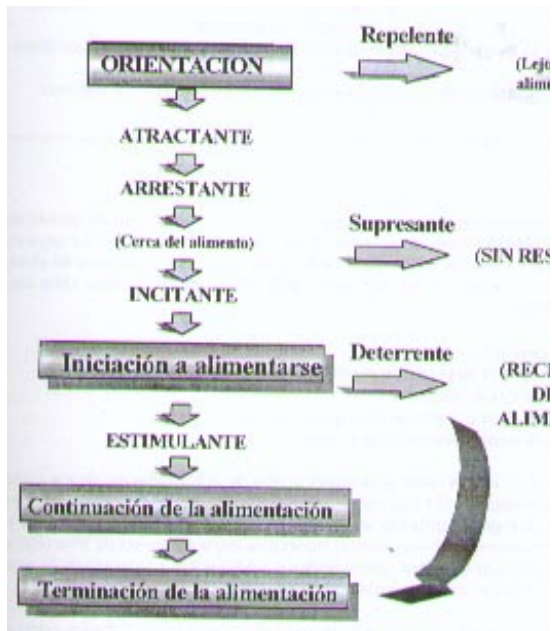


Figura 2. Activadores e inhibidores del comportamiento alimenticio.

Para describir de manera precisa y poder predecir las respuestas a un estimulante alimenticio, las diferentes clases de estímulos deben ser inicialmente clasificados, categorizándose entonces las respuestas comportamentales para cada estímulo específico. Estos comportamientos (Tabla 1) ya han sido identificados en los crustáceos (Lindstedt, 1971; Mackie y Mitchel, 1985; Lee y Meyers, 1996a).

Tabla 1. Características de las fases que presentan los estímulos químicos.

Fases	Característica
Orientación	Fase durante la cual los químicos pueden actuar como atractantes, repelentes o arrestantes.
Iniciación a alimentarse	En esta fase los químicos pueden actuar como incitantes o supresores.
Continuación de la alimentación	Los químicos pueden actuar como estimulantes o deterrentes.
Terminación de la alimentación	Los deterrentes actúan provocando que cese la ingestión.

ATRACTANTES

Dentro de las aproximaciones utilizadas para investigar el papel de los atractantes, la mayor parte de los estudios realizados se han restringido a evaluar extractos orgánicos y en ocasiones algunas moléculas puras. Esto ha originado que los productores de alimentos utilicen compuestos a los que se refieren como atractantes, encontrándose entre los más conocidos los siguientes:

- Harina de pescado
- Extractos solubles de pescados marinos
- Harina de cabeza de camarón
- Harina de calamar o aceite de hígado de calamar
- Extracto hidroalcoholosoluble de calamar

Sin embargo, su inclusión como atractantes dentro de la formulación de los alimentos implica ciertos problemas debido a la variabilidad del producto, determinada a su vez por el tipo de proceso, la especie utilizada, el estado de la materia prima, etc. Por otra parte, no obstante que actualmente existen algunas moléculas cuyo potencial de atracción ya ha sido demostrado, tales como ciertos aminoácidos y compuestos cuaternarios de amonio, su utilización es limitada ya que su empleo resulta oneroso (Holland y Borski, 1993).

Dentro de la amplia gama de extractos de organismos acuáticos probados como atractantes, cabe mencionar en particular las investigaciones desarrolladas con extractos de moluscos, crustáceos y otros organismos, como se ilustra en la Tabla 2.

De manera general se han identificado tres características importantes de los estímulos alimenticios presentes en estos extractos:

- a) Los estimulantes más potentes son metabolitos comunes de bajo peso molecular (aminoácidos, compuestos cuaternarios de amonio, nucleótidos y ácidos orgánicos).
- b) Especies diferentes pueden responder a diferentes sustancias presentes en un mismo extracto.
- c) La estimulación del comportamiento alimenticio de la mayor parte de los extractos se debe a una mezcla de sustancias más que a una sustancia dominante.

Tabla 2. Resumen de los bioensayos realizados con extractos de moluscos, crustáceos y otros organismos.

Grupo	Extracto	Especie	Resultados	Moléculas	Autor
Molusco	Alcoholosoluble de calamar	<i>Erimacrus isenbekii</i>	positivo	Ac. glutámico, glicina, prolina, beta`na, taurina	Takei, 1977
Molusco	Alcoholosoluble de calamar	<i>Homarus gammarus</i>	positivo	N.I.*	Mackie y Shelton, 1972
Molusco	Extracto de bivalvo, <i>Perna canaliculus</i>	<i>Penaeus esculentus</i>	negativo	N.I.	Hill y Wassenberg, 1987
Molusco	Ext. de <i>Mytilus edulis</i> (fracc. de bajo M.W.)	<i>Homarus americanus</i>	positivo	N.I.	Derby, 1984
Molusco	Ext. de <i>Mytilus edulis</i> (fracc. de alto M.W.)	negativo americano	N.I.	Derby, 1984	
Molusco	Mezcla sintáctica	<i>salmo gairdneri</i>	positivo	N.I.	Mackie, 1973b
Molusco	de calamar	<i>Scophthalmus maximus</i>	positivo	prolina, glicina, alanina, arginina	Mackie, 1973a
Molusco	Extracto de calamar	<i>Homarus gammarus</i>	positivo	Mackie y	
Molusco	Extracto de calamar	<i>Scophthalmus maximus</i>	positivo	Mackie y	Adron, 1978
Molusco	Ensilado de vísceras de abulón	<i>Haliotis fulgens</i>	positivo	N.I.	Viana et al., 1994
Molusco	Caracoles en descomposición	<i>Coenobita rugosus</i>	positivo	N.I.	Rittschhof, 1980
Molusco	Extracto de ostras	<i>Logodon rhomboides</i>	positivo	beta`na	Carr et al., 1977
Crustáceos	Extractos de jaiba y camarón	<i>Palaemonetes pugio</i>	positivo	glicina	Carr y Dreby, 1986
Crustáceos	Extractos de jaiba	<i>Palaemonetes pugio</i>	positivo	glicina	Carr y Dreby, 1984
Crustáceo	Ext. del camarón	<i>Penaeus esculentus</i>	positivo	N.I.	Hill y Wassenberg, 1987
	<i>Metapenaeus benettiae</i>				

(Continúa Tabla 2)

Grupo	Extracto	Especie	Resultados	Moléculas	Autor
Crustáceo	Extracto de Krill	Pagrus major	positivo	N.I.	Shimizo, et al. 1990
Crustáceo	Euphausia superba	penaeus vannamei	positivo	N.I.	Holland y Borski, 1993
Otros	Extracto de cabeza de Camarón P. monodon	Chysophrys major	positivo	aminoácidos	Fuke et al., 1981

* N.I. = No Identificada.

Como grupo estas sustancias son solubles en agua y se presentan de manera ubicuita en los tejidos a concentraciones mayores que las presentes en el medio ambiente.

AMINOACIDOS

Los aminoácidos libres son abundantes como osmolitos en los tejidos de todos los invertebrados acuáticos, los cuales constituyen la dieta principal de los crustáceos omnívoros. Debido a que los aminoácidos se difunden rápidamente de las presas muertas, ellos probablemente determinan la frescura de los tejidos (Zimmer-Faust, 1987). De la misma manera que en los extractos, la acción de los aminoácidos es sinérgica, ya que estos resultan más efectivos en forma conjunta que cuando se usan por separado (Heinen, 1980).

Por otra parte, en el caso de los bioensayos con aminoácidos, las generalizaciones resultan delicadas puesto que en la mayor parte de los casos sólo se han probado algunos aminoácidos y eso únicamente con ciertas especies, lo cual implica el desconocimiento sobre el potencial de la mayor parte de estos. En la Tabla 3 se sumarizan algunas series experimentales que denotan la eficacia de algunos aminoácidos en particular.

Tabla 3. Resumen de los bioensayos realizados con aminoácidos como atractantes alimenticios en diferentes especies.

Aminoácidos	Organismo	Resultado	Autor
L-glutámico	Crustáceos Decápodos	positivo	Heinen, 1980
glicina, taurina	Homarus americanus	positivo	McLeese, 1970
arginina, lisina	Ostrina sp.	positivo	Beck y Hance, 1958a
taurina	Penaeus merguensis	positivo	Hindley, 1975
arginina, alanina	Macrobractium rosenbergii	positivo	Harpaz et al. 1987
lisina, arginina			
taurina, glicina			
arginina			
taurina, prolina	Pleuronectes platessa	positivo	Mackie, 1980
arginina, glicina			
alanina			
arginina	Palaemon elegans	positivo	Kurmaly, 1990
glicina	Cambarus sp.; Panalirus sp.	positivo	Hodgson, 1958
arginina, lisina	Oreonectes limus	positivo*	Hatt, 1984
taurina			
arginina	Penaeus japonicus	positivo	Kitabayashi et al., 1971b
arginina	Homarus americanus	positivo	Carter y Steele, 1982b
arginina Penaeus japonicus	positivo	Nakamura, 1987b	
Lisina	Homarus amicanus	positivo	Carter y Steele, 1982b
Lsoleucina, glicina	Oreonectes virilis	positivo	Tierney y Atema, 1987
hidroxi-L-prolina			
L-glutamato, L-valina	Oreonectes rusticus	positivo	Tierney y Atema, 1987
glicina, L-glutamato	Panulirus argus	positivo	Derby y Atema, 1988
glicina, taurina	Macrobrachium rosenbergii	positivo*	Derby y Harpaz, 1988
L-arginina			
taurina	Homarus americanus	positivo*	Derby y Atema, 1988
hidroxi-prolina			
taurina			

(Sigue **Tabla 3**)

Aminoácidos	Organismos	Resultado	Autor
L-glutamato, taurina hidroxi-L-prolina L-arginina L-glutamato hidroxi-L-prolina L-aspartato, L-arginina, glicina	Homarus americanus	positivo*	Corotto, et al. 1992
		Homarus americanus	positivo* Derbi y atema, 1981

*bioensayos realizados mediante técnicas electrofisiológicas

*citados por lindstedt, 1971

*citados por lee y meyers, 1996a.

OTRAS MOLÉCULAS

Además de los estudios realizados con aminoácidos, se han probado con buenos resultados otras moléculas tales como nucleótidos, compuestos cuaternarios de amonio, compuestos nitrogenados, azúcares y otras moléculas, como se muestra en la Tabla 4. Destacan los resultados obtenidos en bioensayos realizados con betaína, trimetilamina y los nucleótidos ATP, ADP, etc., (Harpaz et al., 1987) observándose en la mayoría de los casos que los compuestos más degradados funcionan mejor como atrayentes que los compuestos con alta carga energética.

Tabla 4. Bioensayos realizados en los cuales se probaron diferentes moléculas como atractantes alimenticios de organismos acuáticos.

Grupo	Molécula	Organismo	Resultado	Autor
Nucleotico	(AMP) Adenosina monofosfato	Palaemonetes pugio	positivo	Carr Thompson, 1983
Nucleotico	(ATP) Adenosina Trifosfato	Palaemonetes pugio	negativo	Carr Thompson, 1983
Nucleotico	(IMP) Inosina 5' Monofosfato	Scophthalmus maximus	positivo	Mackie y Adron, 1978
Nucleotico	(ATP) Adenosina Trifosfato	Penulirus sp.	positivo	Zimmer-Faust, 1987
Nucleotico	(AMP) Adenosina monofosfato	negativo	Zimmer-Faust, 1987	
Nucleotico	Xantina	Haliotis discus	positivo	Harada, 1986
	AMP y Citosina			
Nucleotico	IMP, AMP	Palaemonetes elegans	positivo	Kurmal et al., 1990
C.C. de A.	Beta'na y Trimetilamina	Macrobrachium rosenbergii	positivo*	Harpaz, et al., 1987
C.C. de A.	Beta'na	Macrobrachium rosenbergii	positivo*	Harpaz y Stainer, 1990
C.C. de A.	Beta'na	Macrobrachium rosenbergii	negativo	Sick, 1976
C.C. de A.	Beta'na	Negaprion brevirostris	positivo	Hodgson y Mathewson, 1976
C.C. de A.	Beta'naLagodon rhomboides	positivo	Carr y Chaney, 1975	
C.C. de A.	Beta'na, Cloruro de Amonio	Homarus americanus	positivo	Carotto, et al. 1992
C.C. de A.	Beta'na	Orconectes limosus	positivo	Hatt, 1984
C.C. de A.	Beta'na	Lagodon rhomboides	positivo	Carr y Chaney, 1975
C.C. de A.	Beta'na	Panulirus argus	positivo	Derby y Atema, 1988
C.C. de A.	Beta'na	Palaemonetes pugio	positivo	Carr, 1978a
C.C. de A.	Beta'na	Macrobrachium rosenbergii	positivo	Derby y Harpaz, 1988a
C.C. de A.	TMAH	Macrobrachium rosenbergii	positivo	Costa-Pierce y Laws, 1985
C.C. de A.	TMAO	Cambarus sp.	positivo	Hodgson, 1958b
C.C. de A.	TMAO	Palaemonetes elegans	positivo	Kurmaly et al., 1990
C.C. de A.	Urea	Penaues marginensis	negativo	Hindley, 1975
Azucar	Celobiosa, Suerosa y Maltosa	Orconectes rusticus	positivo	Tierney y Atema, 1987
Azucar	Maltosa, Dulcitol y Filodulcina	Haliotis discus	positivo	Harada et al., 1994
A.B.	Putrescina	Orconectes rusticus	positivo	Tierney y Atema, 1987
O.M.	Sal sintética	Macrobrachium rosenbergii	positivo	Derby y Harpaz, 1988

C.C. de A.: Compuestos Cuaternarios de Amonio

* Resultados obtenidos mediante técnicas electrofisiológicas.
a citados por Lee y Meyers, 1996a
b citados por Lindstedt, 1971

FEROMONAS

Las feromonas han sido definidas como aquellas sustancias que al ser secretadas al medio ambiente por un individuo y percibidas por otro, regularmente de la misma especie, originan una reacción específica (Buchau y Fontaine, 1984). Se ha reportado para un gran número de especies que las feromonas facilitan la cópula, ya que propician la atracción de los machos hacia las hembras o viceversa.

El grado de avance en el conocimiento de las feromonas ha llegado a un punto en el que se puede generalizar acerca de su estructura molecular, así se sabe actualmente que los atractantes sexuales son en general compuestos que contienen entre 10 y 17 átomos de carbono y cuyo peso molecular varía entre 180 y 300 Daltons (Wilson, 1963 citado por Gleeson, 1990).

En lo que concierne a la estructura de las feromonas acuáticas, estas han sido pobremente descritas, con excepción de algunas hormonas esteroides y sus derivados glucoronoides en el caso de los peces (Carr, 1982).

En el caso de los crustáceos, la frecuente sincronización entre la muda y la cópula en ciertos grupos ha llevado a varios investigadores a proponer a la ecdisona y sus derivados como atractantes sexuales, o al menos como componente de un complejo feromonal (Bauchau, 1986), sin embargo, experimentos posteriores no apoyan esta conclusión, ya que cuando se probaron cuatro ecdisonas con *Homarus americanus* ninguna de ellas estimuló un comportamiento sexual. (Gleeson et al., 1984).

En otro experimento, se demostró que dos concentraciones de crustecdisona no estimulaban el comportamiento de cortejo en jaibas *Callinectes sapidus* (Gleeson et al, 1983).

Gleeson (com. pers.), en un estudio para caracterizar la feromona sexual de la jaiba *Callinectes sapidus*, encontró que la molécula no poseía características físicas de un esteroide, siendo posible que fuera un péptido pequeño.

Las feromonas se subdividen en disparadoras o inductoras, dependiendo del tiempo en que tarda en presentarse el efecto y su implicación en la fisiología del organismo receptor.

No todas las feromonas promueven una atracción positiva, en efecto, algunas pueden actuar como repelentes. Las mismas feromonas que atraen hembras o machos y viceversa pueden actuar como repelentes en animales del mismo sexo, particularmente durante el período de alimentación (Daloze, et al., 1980).

Hasta el momento, los métodos para la obtención de las feromonas se han basado en extracciones en las que se emplean organismos completos. Esto implica obviamente la utilización de un número elevado de individuos para obtener apenas una cantidad suficiente de feromona. Sin embargo, para muchas especies el mejor método consiste en extraer las feromonas directamente de las glándulas en las cuales se producen o almacenan, o bien, en su defecto

extraer el fluido en el cual se secretan, lo que reduce el número de organismos necesarios para su colecta (Nordlund, 1981).

En el caso particular de los crustáceos, algunos de los principales estudios se han centrado en la extracción de feromonas sexuales que son liberadas por medio de la orina. Esto se ha investigado con detalle en las hembras de *Carcinus maenas* durante la fase de premuda copulatoria. La dicha feromona es percibida por los centros quimiorreceptores localizados en las anténulas de los machos. Se han postulado los órganos excretores (glándula de la orina o glándula verde), como el sitio más probable de síntesis, ya que los análisis de hemolinfa y otros órganos resultan sin actividad (Fontaine, et al., 1989).

El hecho de que la orina de los crustáceos sea almacenada es una indicación de la necesidad de una liberación controlada. Esta orina es liberada de un par de papilas bilaterales (nefroporos) localizados en la base de las antenas relacionado directamente a la corriente branquial, por lo que se sugiere que esta corriente es utilizada, entre otras funciones, como un sistema para dispersar la señal química. De hecho ha sido constatado que la corriente branquial llega a proyectar la orina a una distancia de siete veces la longitud corporal del animal (Atema y Cowan, 1986). Después de esta distancia se disuelve y se diluye. Posteriormente las corrientes locales se encargan de disipar y diluir aún más estas señales.

AMINAS BIOGÉNICAS

Las aminas biogénicas son moléculas provenientes de la degradación de diferentes aminoácidos (Gouygou et al., 1989), proceso que se presenta normalmente en condiciones de descomposición de la materia orgánica.

Con la finalidad de lograr un mejor entendimiento, se deben de tomar en cuenta los procesos que ocurren inmediatamente después de la muerte de un organismo. Primeramente, los sistemas de regulación cesan sus funciones y se detiene el suplemento de oxígeno y por consecuencia la producción de energía. Enseguida, las células empiezan una nueva serie de procesos caracterizados por la descomposición del glicógeno (glicólisis) y la degradación de compuestos ricos en energía, tales como el ATP.

En los organismos vivos el ATP es formado por la reacción entre el ADP y creatina fosfato (fosfágenos), formándose un reservorio de grupos de fosfatos ricos en energía en las células del músculo. Cuando este reservorio se agota, el ATP es regenerado a partir de ADP por refosforilación durante la glicólisis. Después de muerto el organismo, cuando cesa la regeneración, el ATP es rápidamente degradado y cuando sus niveles son bajos, se desarrolla lo que comúnmente se denomina rigor mortis (Huss, 1988).

La fase de premuda copulatoira ocurre justo antes de la muda, durante esta fase las hembras liberan una feromona para atraer a los machos a fin de que estos las protejan, debido a que en ese momento presentan un exoesqueleto muy blando por lo cual pueden ser presa fácil de otros organismos o de sus congéneres. Este comportamiento juega un papel importante en la reproducción ya que es justo en el momento en que acaban de mudar cuando se lleva a cabo la cópula (siempre se producen una hembra "blanda" con un macho "duro".)

El ATP se degrada mediante una serie de reacciones de desfosforilación y desaminación hasta convertirse en inosina monofosfato (IMP), el cual a su vez se degrada en Inosina (HxR) y esta en hipoxantina (Hx) y ribosa (R).

Por otro lado, debido a la falta de oxígeno, la glicólisis se desarrolla en condiciones anaerobias y su producto final es el ácido láctico, el cual causa una disminución en los valores de pH y por lo tanto en la capacidad de las proteínas de retener agua, favoreciendo así las condiciones para el desarrollo de la actividad bacteriana y enzimática (caso de la catepsina D). La catepsina D tiene una actividad óptima a valores de pH de 4 y es de las enzimas más importantes para iniciar la degradación de las proteínas endógenas a péptidos, los que a su vez son degradados por otras catepsinas (A,B,C). De esta forma las proteínas se descomponen en péptidos de diferentes tamaños, que después son hidrolizados finalmente en aminoácidos y por último degradados (descarboxilados) en aminas biogénicas, por medio de las enzimas bacterianas.

En cuanto a las bases nitrogenadas, las clases más comunes que se encuentran en los animales acuáticos son el TMAO (óxido de trimetilamina) y las betainas. El TMAO puede ser reducido enzimáticamente a TMA (trimetilamina) por la TMAO reductasa de los microorganismos. La segunda reacción de descomposición es la formación de DMA (dimetilamina) y formaldehído (FA), esta reacción se puede llevar a cabo enzimáticamente o no enzimáticamente. Las betainas son componentes menores en el músculo de los peces pero se pueden presentar en grandes concentraciones en crustáceos y moluscos. El más común de estos compuestos es la glicina-betaina.

Uno de los factores que juega un papel importante dentro del proceso de descomposición es la presencia de la flora bacteriana tanto en la superficie (piel y branquias) como en el intestino del organismo recién muerto.

Los cambios que se observan después de la muerte de un organismo se presentan en la Figura 3.

Existen otras aminas menos abundantes como la tiramina y la histamina que derivan de los amino ácidos tirosina e histidina, respectivamente.

ESTUDIO SOBRE LA FUNCION DE AMINAS BIOGÉNICAS Y FEROMONAS COMO ATRACTANTES

La inclusión en el alimento de moléculas cuyo papel fisiológico es el de asegurar normalmente el comportamiento de atracción, puede resultar una alternativa interesante y económica. De aquí que se haya diseñado una serie experimental orientada a elucidar el potencial de atracción de moléculas homólogas, las cuales fueron comparadas con productos de referencia reconocidos como atractantes eficaces, tales como extractos de calamar y un atractante comercial.

Se llevaron a cabo tres diferentes aproximaciones: 1) Un bioensayo de quimiorecepción en el cual diferentes atractantes fueron agregados a una dieta de base, en este caso la respuesta fué evaluada por medio de una serie de descriptores comportamentales. 2) Un bioensayo de campo en una granja comercial en donde se evaluó el consumo de diferentes dietas peletizadas (tratamientos). 3) Un segundo bioensayo de campo en el cual se monitorearon moléculas de referencia (anticuerpos) las cuales fueron incluidas en una dieta peletizada para demostrar la ingestión real del alimento.

SERIE EXPERIMENTAL

1. BIOENSAYO DE QUIMIORECEPCION

Tratamientos: Se compararon 7 tratamientos incluyendo dos testigos positivos y uno negativo:

- Cadaverina
- Putrescina
- Extractos de glándula de la orina de langostino
- Orina de Jaiba azul
- Testigo positivo-attractante comercial (Langobuds²).
- Testigo positivo-extracto hidroalcoholosoluble de calamar (Ex.HAS)
- Testigo negativo-dieta base

Extracción de feromonas de langostino: Para la extracción de las feromonas sexuales de langostino se llevó a cabo como un primer paso la identificación de las hembras en estadio precopulatorio. Para esto fueron identificados un grupo de 10 individuos de langostinos de ambos sexos mantenidos en condiciones adecuadas (temperatura de 25-28oC, pH 7.4, alimentación tres veces al día a razón del 3% de su biomasa) mediante la técnica propuesta por Sagi y Ra'anán (1985). Dicha técnica se basa en el examen externo del desarrollo gonadal de las hembras y el comportamiento reproductivo típico de los machos que es llevado a cabo sólo

² El uso de marcas o el nombre del fabricante no implica la recomendación de este producto

cuando las hembras son receptoras. Durante el desarrollo gonadal los ovarios crecen desde la parte posterior del cefalotórax y el desarrollo completo es fácilmente identificable a través del caparazón como una masa color naranja que ocupa una gran porción del cefalotórax, aproximadamente desde el corazón hasta la base del rostrum. Es durante esta última fase en la cual las hembras comienzan a liberar las feromonas sexuales con el fin de atraer a los machos. Las hembras que presentaban estas características fueron colectadas y sacrificadas con el fin de extraerles la glándula de la orina. Las glándulas fueron homogeneizadas y centrifugadas a 4,200 r.p.m. durante 20 minutos y el sobrenadante fue congelado para su utilización posterior.

La extracción de la orina de la jaiba *Callinectes sapidus* fue realizada en el Laboratorio Whitney de la Universidad de Florida, por el Dr. Richard Gleeson, siguiendo la metodología propuesta por él mismo (1990). Dicha metodología se basa en la extracción de la orina de hembras púberes, ya que esta ha sido identificada como la vía de liberación de las feromonas. La recolección se ejecuta por aspiración directa de los poros de la glándula antenal, por medio de una pipeta Pasteur modificada. La orina colectada es inmediatamente congelada y almacenada hasta obtener la cantidad necesaria para llevar a cabo los bioensayos.

Para comprobar la presencia de la feromona en la orina se llevaron a cabo bioensayos preliminares en acuarios en los cuales se pusieron en contacto muestras de orina con machos adultos de jaibas y langostinos observando la eventual respuesta de excitación entre los mismos.

Para esto, fueron añadidos 300 μ l de la orina de jaiba al acuario en el cual se habían colocado langostinos machos “detectores” (aquellos que presentan dominancia en la población y se caracterizan por poseer pinzas color azul brillante), y se observó la respuesta provocada. Después de 24 horas se llevó a cabo un cambio parcial de agua (50%) y se añadieron 300 μ l de orina de langostino para observar igualmente la respuesta. La misma metodología se utilizó en acuarios conteniendo ejemplares machos en estado receptivo de la jaiba *Callinectes sapidus*.

A fin de corroborar que la respuesta observada fue ocasionada exclusivamente por la presencia de feromonas, se utilizaron otros tipos de estímulos tales como:

- a) agua de acuario libre de crustáceos
- b) trozos pequeños de músculo de langostino y de jaiba
- a) agua salada y dulce en los acuarios de langostino y jaiba, respectivamente.

Las observaciones realizadas demostraron la presencia de las feromonas en ambos casos ya que sólo cuando se les agregaba la orina, los machos de ambas especies exhibían comportamientos precopulatorios.

En el caso de las jaibas, los machos se levantaban y caminaban sobre las puntas de sus apéndices posteriores, extendiendo las quelas anteriores, mientras movían rápidamente sus apéndices bucales y las antenas.

Obtención de aminos biogénicos: Las aminos biogénicos fueron obtenidas comercialmente de Janssen Chimica,³ Bélgica.

Descriptorios: Para cada uno de los tratamientos se registraron los tiempos en que los ejemplares presentaron las diferentes fases de comportamiento alimenticio, esto es, percepción, orientación, movimiento hacia el estímulo, arribo al alimento e ingestión del mismo, tal y como lo recomiendan Costero y Meyers, (1993).

Categorización de la prueba: El test se registró como negativo si no llegaba a presentarse respuesta después de 500 segundos.⁴

Sistema experimental: La metodología que se utilizó fue similar a la propuesta por Costero y Meyers (1991), quienes describen el uso de acuarios de 120 cm de largo X 30 cm de ancho X 40 cm de altura. En este caso se introdujo una modificación consistente en eliminar el flujo de agua. Estos acuarios tienen una división removible en un extremo lo que permite mantener a los animales mientras se coloca el alimento en el otro extremo del acuario. Se utilizó únicamente un solo individuo por prueba debido principalmente a que la presencia de un eventual competidor pudiera potenciar el efecto del atractante e influir en la tendencia de los resultados. Los individuos no fueron reutilizados después de las pruebas para evitar cualquier tipo de preferencia por un atractante en particular. Después de cada prueba se vaciaron los acuarios y se llenaron con agua fresca que presentaba las mismas características de temperatura ($26 \pm 1^\circ \text{C}$) y pH (7.5-8). Esto se realizó con la finalidad de evitar que los estímulos dispersos en el agua de un bioensayo anterior afectaran las respuestas de los organismos a los nuevos estímulos. Se utilizó un fotoperiodo natural y las pruebas se corrieron siempre a la misma hora del día, para evitar cualquier posible influencia de la luz.

Adición de atractantes: Los atractantes fueron agregados por aspersión a una dosis de 0.2%. Se utilizó como dieta base una formulación con un alto contenido de soya (30%) y harina de trigo lo cual le confiere un efecto antiatractante y antipalatable (Tabla 5). Dicha dieta fue utilizada como testigo negativo. El atractante comercial se mezcló con aceite de pescado y se espreó a la dieta peletizada. El resto de los atractantes fueron mezclados con agua destilada y espreados igualmente. Todos los atractantes fueron agregados en una base volumen:volumen, excepto por la cadaverina la cual se agregó en una base peso: volumen.

³ El uso de marcas o el nombre del fabricante no implica la recomendación de este producto.

⁴ Se consideró el tiempo de 500 segundos debido a que en bioensayos previos se determinó que después de este tiempo los individuos no cambiaban su comportamiento hacia un estímulo.

Tabla 5. Composición de la dieta base

Ingrediente (peso seco)	Porcentaje
Harina de Pescado	5.000
Pasta de soya	30.00
Harina de camarón	4.001
Harina de trigo	55.190
Lecitina	1.830
Aceite de pescado	2.701
Metionina	0.110
Mezcla vitamínica	0.220
Vitamina C	0.025
Monofosfato de Sodio	0.923

Registro de la prueba: Se utilizó una cámara video la cual se manejo a control remoto para evitar cualquier influencia sobre el comportamiento de los animales. Se cuantificaron las secuencias filmadas de los diferentes comportamientos alimenticios. Se utilizó un cronómetro para registrar el tiempo real, de manera simultánea al contador de la video-cámara. El tiempo cero fue considerado a partir del momento en que se levantó la división del acuario. Cada secuencia filmada fue evaluada por dos personas independientes.

Diseño Experimental: Para confirmar el efecto de atracción sobre los sexos se llevaron a cabo cinco repeticiones para cada tratamiento con hembras y con machos por separado. Los ejemplares de langostino utilizados (35 machos y 35 hembras de 20 + 3 g) fueron mantenidos en una pileta de fibra de vidrio con capacidad de 1,500 litros (40 cm de altura X 200 cm de diámetro). Estos fueron escogidos de manera aleatoria y se colocaron en un acuario limpio 24 horas antes de cada prueba con el fin de estandarizar el tiempo de inanición antes del bioensayo. Todos los animales probados se encontraban en fase de intermuda, puesto que ha sido sugerido que el nivel de respuesta varía de acuerdo con la etapa del ciclo de muda (Harpaz et al., 1987). La designación de las diferentes etapas se realizó de acuerdo a los criterios descritos por Peebles (1977). Se empleó un ANOVA para determinar las eventuales diferencias entre los tratamientos. Cuando se llegaron a detectar diferencias significativas entre los tratamientos se utilizó una prueba de comparación múltiple de Tuckey (Steel and Torrie, 1980). Para detectar diferencias eventuales entre los sexos se aplicó una “t” de Student .

2. BIOENSAYO DE CAMPO (PRUEBA DE INGESTION POR MEDIO DE CHAROLAS)

Con la finalidad de confirmar los resultados obtenidos en el laboratorio se llevó a cabo un bioensayo de ingestión, el cual se realizó en una granja de langostino (Granja Acuícola Los Desmontes, Tecomán, Colima), en donde se evaluó la ingestión de cada uno de los atractantes

en condiciones de producción con el fin de probar el poder attractante y palatable de cada dieta en grandes volúmenes de agua y en presencia de otros attractantes naturales. Este bioensayo se orientó hacia la observación directa de la ingestión del alimento.

Condiciones experimentales: En una jaula de un metro cubico se colocaron 10 ejemplares de langostino (5 hembras y 5 machos) con un peso promedio de $20 + 3g$, de acuerdo a la densidad utilizada en la granja. A los langostinos se les ofrecieron 80 pellets de tamaño uniforme (0.4 cm) en una charola (cantidad equivalente a 6 gramos de alimento). Las charolas fueron levantadas a diferentes tiempos (10, 20, 40 y 80 minutos). El número de pellets presente fue contabilizado a cada tiempo, para que, por diferencia con respecto al número inicial de ellos, se obtuviera el número de pellets consumido. Se llevaron a cabo tres replicados por tratamiento. Los tratamientos comparados fueron los mismos que aquellos establecidos para el bioensayo de laboratorio, siendo la única variante la dieta de base a la cual fueron agregados los attractantes; en este caso se utilizó la dieta comercial empleada regularmente en la granja. Se utilizó un ANOVA para determinar las diferencias entre los tratamientos y la prueba de separación de medias de Tuckey.

3. BIOENSAYO DE CAMPO (MONITOREO DE INGESTION POR UN METODO INMUNOLOGICO)

Un tercer bioensayo también a escala comercial fue llevado a cabo con el fin de constatar que efectivamente había existido ingestión de los pellets con attractantes. Para este efecto se empleó un método inmunológico destinado a determinar cual de los tratamientos resultaba más eficaz. Para llevar a cabo esta fase experimental se elaboró un alimento similar a la dieta base con la diferencia de que en esta se incluyó 25% de suero conteniendo anticuerpos dirigidos contra adultos de *Artemia salina*.⁵ Dicho alimento se ofreció de manera similar que en el experimento anterior (en charolas) y después de cada uno de los tiempos anteriormente estipulados se colectaron 3 organismos a los cuáles se les seccionó el cefalotorax. Los cefalotorax conteniendo el hepatopáncreas y las partes bucales fueron congelados a $-20^{\circ}C$ y posteriormente fueron analizados por inmunodifusión. En este caso se consideró la presencia o ausencia de reacción inmunológica. Para detectar diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó una prueba de X^2 .

RESULTADOS

Los diferentes comportamientos relacionados con la detección e ingestión del alimento considerados para cuantificar la quimiotaxis, fueron similares a los identificados para otros crustáceos tales como *Panaeus vannamei* (Costero y Meyers, 1993) y *M. rosenbergii* (Harpaz, et al., 1987). En la Tabla 6 se presenta una breve descripción de estas fases.

⁵Se incluyó el suero al alimento debido a la alta proporción que se necesitaba, de tal forma que si se hubiese agregado el antígeno (*Artemia salina*) este podría haber actuado como attractante.

Tabla 6. Fases secuenciales del comportamiento alimenticio

de *Macrobrachium rosenbergii*

Fase	Comportamiento
Percepción	Esta fase está caracterizada por movimientos de las anténulas, las cuales se mueven a manera de látigo, lo que sirve para aumentar el contacto del estimulante con los quimiorreceptores. El ritmo y la velocidad de estos movimientos depende de la naturaleza del atractante.
Orientación	En esta fase el animal despliega movimientos antenales así como de los pereiópodos, con el fin de guiarse a la fuente del estímulo. El animal cambia continuamente su posición hasta apuntar su rostro hacia la fuente de atracción.
Movimiento	El animal inicia la locomoción hacia la fuente del estímulo, esta se lleva a cabo usando únicamente sus pereiópodos. Durante esta fase el primer par de pereiópodos continua su búsqueda en el área frontal y se lleva a la boca cualquier materia que encuentre en el camino. Los movimientos antenales y antenulares continúan efectuándose.
Arribo.	Es el evento final en el cual el animal llega a la fuente de estimulación. El animal hace contacto con los estímulos utilizando los pereiópodos y sus partes bucales en un movimiento típicamente exploratorio.
Ingestión	En esta fase el animal ingiere el alimento en definitiva o bien, lo rechaza.

El ANOVA reveló la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos (atractantes) durante las diferentes fases del comportamiento alimenticio ($F= 10.57$; g.l. 10, 6 $P << 0.001$) (Tabla 7). Cuando se consideraron únicamente los machos en el análisis, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos durante las fases de Percepción, Orientación y Movimiento, siendo la dieta base la única excepción ya que mostró los peores resultados en términos de atracción. Las diferencias significativas se presentaron hasta la fase de Arribo, en la cual la cadaverina y los extractos de glándula verde de langostino generaron los mejores resultados, seguidos por el atractante comercial, la orina de jaiba y la putrescina, mientras que el extracto de calamar no evocó sino resultados mediocres, solo superando a la dieta basal. En la última fase (ingestión) se repitió la misma tendencia con la diferencia de que la cadaverina destaca aún más. En efecto, considerando la clasificación de efectores químicos del comportamiento alimenticio propuesta por Lindstedt (1971) y Mackie (1982) la dieta de base actuó no solo como un arrestante, ya que los animales cesaron su locomoción al estar cerca de esta fuente de estímulos; sino como repelente, ya que los animales se alejaban eventualmente de esta fuente; y aún como supresante ya que el inicio de la alimentación era inhibido cuando alguno de los animales llegaba tomar el alimento con sus apéndices masticatorios. Contrastando con lo anterior, los resultados fueron diferentes al considerar solamente a las hembras. En este caso se observó la siguiente categorización: cadaverina, putrescina, atractante comercial y extracto de calamar, seguido por las feromonas y la dieta base. Generalmente la cadaverina destaca no solo como el mejor atractante, ya que provocó que los animales se orientaran hacia las dietas que la contenían, sino también como el mejor incitante, propiciando el inicio de la alimentación; e incluso como el mejor estimulante promoviendo la ingestión y la continuación del alimento. Sin embargo, cabe

hacer notar que la cadaverina no difiere significativamente de la putrescina, del atractante comercial y del extracto de calamar, así como tampoco de las feromonas en el caso de los machos.

Al considerar el tiempo total entre las fases de percepción e ingestión (Figura 4), se pudo

Tabla 7. Promedio \pm S.D. (tiempo en segundos) obtenidos durante las diferentes fases de comportamiento alimenticio para cada tratamiento.

Tratamiento	Percepción		Orientación		Movimiento		Arribo		Ingestión	
	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra
Hembra										
Dieta base	110.8c \pm 15.09	104.4c \pm 27.19	231.5c \pm 47.06	198.0c \pm 32.90	349.0c \pm 51.41	268.6c \pm 46.67	473.0c \pm 37.51	448.4c \pm 50.02	496.0c \pm 7.15	478.0c \pm 37.25
Orina de jaiba	96.0bc \pm 83.10	25.6b \pm 10.43	202.0c \pm 33.2	39.0b \pm 20.57	257.8a \pm 179.8	52.2b \pm 13.70	434.0bc \pm 88.66	105.2ab \pm 16.88	439.4c \pm 46.22	112.0ab \pm 16.34
Estracto de glandula verde de langostino	109.4c \pm 12.03	24.6b \pm 6.14	127.6bc \pm 11.94	34.8b \pm 7.91	194.2bc \pm 12.23	42.4b \pm 8.59	361.8b \pm 35.19	95.8a \pm 12.04	449.8c \pm 21.70	109.8ab \pm 17.12
cadaverina	20.2a \pm 4.70	23.6b \pm 7.40	28.2b \pm 8.16	25.2b \pm 7.44	37.8a \pm 14.53	38.0b \pm 8.30	78.8a \pm 24.10	92.0c \pm 12.28	100.6b \pm 19.20	104.4a \pm 9.09
Putrescina	28.2ab \pm 7.8ab	28.4b \pm 9.2b	42.0bc \pm 6.2bc	43.4b \pm 5.6b	51.0ab \pm 7.4ab	54.2b \pm 6.8b	115.8a \pm 113.4a	118.4ab \pm 102.4ab	126.2b \pm 130.2b	127.4ab \pm 130.6ab
Atractante comercial	\pm 11.45	\pm 13.92	\pm 27.15	\pm 15.63	\pm 21.91	\pm 4.38	\pm 13.01	\pm 14.99	\pm 19.30	\pm 27.89
Estracto de calamar	39.0ab \pm 11.37	40.2b \pm 12.37	54.0bc \pm 21.26	49.2b \pm 15.38	65.2ab \pm 22.60	68.6b \pm 39.19	151.8a \pm 39.80	153.2b \pm 31.98	162.6b \pm 37.77	165.4b \pm 40.02

Las medidas de las columnas con el mismo superscript corresponden a grupos homogéneos (Comparación de medias por el método de Tukey)

notar que la progresión de estas fases fué particularmente rápida en el caso de las aminas biogénicas, el attractante comercial y el extracto de calamar. La prueba de “t” de Student reveló diferencias significativas entre los sexos únicamente cuando fueron probadas la orina de jaiba y los extractos de glándula verde de langostino. En efecto, los machos percibieron e ingerieron el alimento más rápido que las hembras.

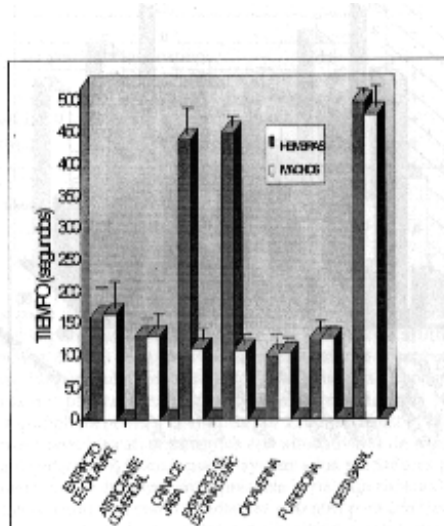


Figura 4. Tiempo transcurrido hasta la fase de ingestión.

La Figura 5 muestra los resultados obtenidos a partir de esta serie de bioensayos. Se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($F= 34.425$; g.l. 6, 72 $P << 0.001$) así como entre los diferentes tiempos ($F= 266.839$; g.l. 3, 72 $P << 0.001$). No se observaron diferencias significativas durante los primeros 10 minutos, pero a partir del periodo de 20 minutos, y de ahí en adelante se pudieron identificar diferencias en la tasa de consumo. Las diferencias más importantes fueron obtenidas con las aminas biogénicas y con los controles positivos. Sin embargo, las feromonas no lograron producir un incremento en el consumo. Estos

resultados fueron confirmados por medio de pruebas de inmunodifusión (Tabla 8). La prueba de X2 reveló la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos ($X^2=23.57$; 6 g.l. $P << 0.001$).

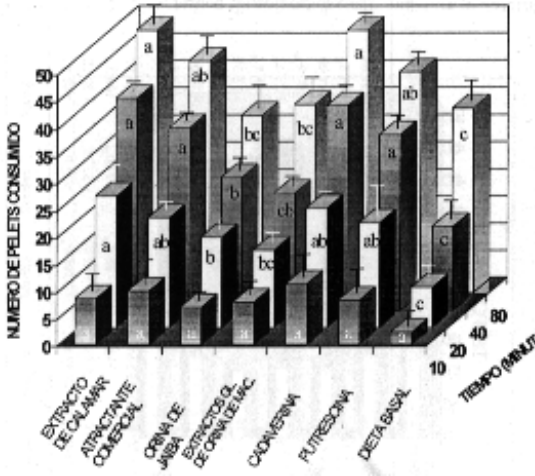


Figura 5. Número promedio de pellets consumido por tratamiento a diferentes tiempos de muestreo.

Tabla 8. Respuesta cualitativa observada por precipitaciones inmunológicas en condiciones comerciales.

Tratamientos	Repeticiones				
	1	2	3	4	5
Dieta base	—	—	—	—	—
Orina de jaiba	—	—	+	—	—
Extracto de glandula verde de langostino	—	—	—	+	—
Cadaverina	+	+	+	+	+
Putrescina	+	+	+	+	+
Atractante comercial	+	+	+	+	+
Extracto de calamar	+	—	+	—	+

(-) Sin respuesta

(+) Respuesta Inmunológica

DISCUSION

En la mayor parte de los estudios concernientes a la quimioatracción no se ha mostrado que alguna molécula purificada sea más potente que las mezclas artificiales o naturales de atractantes, como fue el caso de la cadaverina en este estudio al ser comparada con ambos testigos positivos. En particular, los resultados concernientes al poder de atracción de las aminas biogénicas nos proveen de diversos puntos de reflexión que podrían ser conjuntados en una teoría complementaria a la emitida por Zimmer-Faust (1987), quien señala que los crustáceos carnívoros buscan organismos con altos niveles de energía (en términos de carga energética de adenilato) lo cual puede ayudar a los predadores para reconocer a sus presas. En contraste con lo anterior, en la presente serie experimental se encontró que las aminas biogénicas funcionaron como atractantes potentes para *Macrobrachium*, crustáceo de hábitos omnívoros, indicando que tienden a ser atraídos por moléculas degradadas, las cuales son liberadas a menudo dentro del proceso de descomposición de los organismos, así como durante la excreción y que en consecuencia presentan un bajo valor en cuanto a carga energética. Por lo cual se podría considerar que la respuesta estaría adaptada al tipo de alimentación. Adicionalmente, las aminas biogénicas actuaron no solo como quimioatractantes (causando que el animal se desplazara hacia las dietas que las contenían) sino que también funcionaron como incitantes (disparando la respuesta alimenticia) y como estimulantes alimenticios (provocando que el animal siguiera alimentándose).

Un fenómeno similar ha sido reportado en el caso de los cangrejos ermitaños los cuales pueden localizar una nueva concha a cierta distancia (Kratz y Rittschof, 1991; Rittschof, 1990). La atractividad parece ser debida a péptidos específicos (generados por un proceso degradativo; dichos péptidos contienen un cierto número de residuos neutros y un residuo básico como arginina o lisina en el extremo carboxilo terminal) liberados a partir del tejido muscular de gasterópodos muertos o heridos, lo cual señala la disponibilidad de las nuevas conchas. De la

misma manera, las langostas son capturadas con mayor frecuencia en trampas en las cuales se utilizan abulones que han muerto un día antes, que cuando se utilizan abulones frescos (Lee y Meyers, 1996b; Zimmer-Faust et al., 1984). Otros estudios han reflejado la sensibilidad de los crustáceos a moléculas de este tipo, en efecto, la tasa de ingestión de dietas artificiales de langostinos juveniles se vio mejorada al adicionar hidrocloreuro de trimetilamina (TMAH) en la superficie de estas (Costa - Pierce y Laws, 1985). Se supuso que el TMAH simulaba el olor de pescado en descomposición induciendo así a los langostinos a comer.

Parece lógico suponer que las aminas biogénicas pudieran actuar de manera positiva, ya que el análisis de los fluidos naturales o de extractos de materias primas atractivas para los crustáceos han mostrado generalmente que los estimulantes principales son sustancias de bajo peso molecular cuyas propiedades son consistentes con la hipótesis de que se trata de aminoácidos o sustancias relacionadas (Heinen, 1980). La mayor parte de las sustancias de bajo peso molecular que han resultado ser estimulantes potentes y habitualmente atractantes en crustáceos, son los aminoácidos mientras que las azúcares, alcoholes, almidones y los ácidos grasos y otros compuestos han dado menores respuestas (o ninguna), esto puede ser atribuido a los hábitos alimenticios de la especie utilizada, así tenemos que *Orconectes rusticus* (herbívoros) es más sensible a azúcares que *Orconectes virilis* (carnívoro) el cual es más sensible a aminoácidos (Tierney y Atema, 1988).

Desde el punto de vista estructural, se ha reportado que el grupo amino no debe ser substituido y debe portar una carga para poder reaccionar con los quimiorreceptores, en contraste con las modificaciones a nivel del grupo carboxilo, incluyendo la remoción de una carga lo cual puede ser tolerado solo con una mínima pérdida de efectividad. (Hatt, 1984).

En lo que respecta a la orina de jaiba y a los extractos de glándulas verdes de langostino, las moléculas atractantes lograron tener un efecto marcado en los machos de *Macrobrachium*. Este hallazgo es controversial ya que las feromonas han sido definidas a menudo como moléculas que actúan de manera intraespecífica. Sin embargo los resultados de algunas investigaciones llevadas a cabo con crustáceos (Kittredge et al., 1971) e insectos (Rojas et al., 1990) han mostrado la posibilidad de acción intraespecífica. No obstante no se descarta la posibilidad de que otras moléculas tales como productos de excreción (e.g. urea, aminas terciarias, y ácidos nucleicos), presentes en la orina pudieran haber actuado como atractantes o bien, que hubieran potenciado el efecto de las feromonas.

La adición de atractantes por aspersión parece ser un buen método de suplementación, ya que de esta manera se encuentran disponibles casi inmediatamente al momento en que los pellets entran en contacto con el agua, produciendo así una respuesta rápida.

Los resultados obtenidos en los experimentos a escala comercial y en particular la comprobación inmunológica de ingestión mostraron, primeramente que la dieta comercial, a pesar de contener diferentes fuentes de atractantes naturales, tales como harina de pescado y aceite de pescado, no fueron lo suficientemente eficaces para atraer a los animales y estimular el proceso de alimentación. Este aspecto fue confirmado con la adición del attractante comercial

y las aminas biogénicas a la dieta. En lo que respecta al papel de las fuentes de feromonas en términos de ingestión, este fue relativamente pobre, posiblemente debido a su baja concentración o a su rápida disolución. Por otra parte los extractos de calamar han sido considerados a menudo como una buena fuente de atrayentes para los crustáceos (Takei, 1977; Mackie y Shelton, 1972; Mackie, 1973), sin embargo, siempre existe cierto riesgo al incorporar extractos naturales ya que la constancia en la composición de la materia prima no puede ser predecida, por lo cual se debe esperar cierta variabilidad, como fue el caso en este estudio.

Por medio de esta serie de experimentos, fue posible confirmar el papel potencial de las aminas biogénicas y las feromonas en términos de atracción y estimulación alimenticia. Adicionalmente, el presente estudio confirma que no solo los movimientos antenulares sino la secuencia completa de comportamientos de búsqueda de alimento, como lo describen Harpaz et al. (1987) puede ser inducida por la adición de un solo quimioestimulante. Sin embargo estos resultados pueden ser considerados solo como validos para adultos *M. rosenbergii* ya que los patrones de alimentación y de selección alimenticia varían a través del ciclo de vida de los crustáceos. En particular, las etapas larvales tienen diferentes hábitos alimenticios, así los quimioatractantes y estimulantes a los cuales responden cambian con el tiempo (Lee y Meyers, 1996a y 1996b). A este respecto, se ha reportado que las etapas larvales de los crustáceos dependen más de encuentros al azar con las partículas alimenticias para atraparlas (Kurmaly et al., 1990).

Un hecho que debe ser considerado es que la validez de los resultados se puede ver alterada por las concentraciones utilizadas, particularmente en el caso de las aminas biogénicas. Este parámetro resulta ser especialmente delicado, ya que existen antecedentes de efectos nocivos al utilizar las aminas biogénicas en grandes concentraciones (Smith, 1990; Cowey y Cho, 1992). En el otro extremo, si no se adiciona una concentración suficiente es probable que su efecto como atrayente se vea limitado. Esta consideración no debería prejuzgar el eventual uso de éstas moléculas, puesto que se encuentran normalmente en todos los organismos vivos y cumplen con funciones biológicas particulares. Entre las funciones de la putrescina en el metabolismo de los organismos destaca que es esencial para el crecimiento celular y se cree que tiene un papel importante en la síntesis del DNA, RNA y proteínas (Pegg, 1984). También se le atribuye un rol en la estabilización de los ribosomas y un aumento en la absorción de aminoácidos por las células. Además, la Putrescina puede tener un papel promotor de crecimiento (Smith, 1990). Por otro lado, afectan las actividades de ciertas enzimas y en adición la Putrescina puede proteger a las células de un shock osmótico (Pegg, 1986, citado por Cowey y Cho, 1992).

En términos de aplicabilidad, la producción de aminas biogénicas resulta simple y poco onerosa (Susuki et al., 1994) y debe ser preferida a la adquisición de moléculas puras, ya que su precio aún a las concentraciones probadas, permanece alto (e.g. 1 kg de cadaverina = 203 USD). En el caso de las feromonas su utilización implica la necesidad de sintetizar las moléculas, pero pueden tener cierto potencial en los cultivos monosexuales o en la separación de sexos. Es necesario emprender un experimento en el que se estudie el efecto dosis - respuesta, igualmente resulta indispensable encontrar el umbral para la concentración funcional mínima y observar el efecto de estas moléculas al ser mezcladas con otras que pudieran potencializar su respuesta.

Adicionalmente se requieren correr pruebas paralelas de sustancias preparadas a partir de tejidos en descomposición.

Finalmente, la relevancia de este estudio se vió reflejada en el hecho de que la adición de diferentes atractantes promovió un aumento significativo en el consumo de la dieta comercial la cual ya contenía algunas fuentes de atractantes. Este aspecto es particularmente importante ya que la detección del alimento y su ingestión determinan finalmente el valor comercial de una dieta (Lee y Meyers, 1996b; Takeda y Takii, 1992).

CONCLUSIONES

Las moléculas utilizadas en el presente estudio resultaron ser atractantes e incitantes, destacando las aminas biogénicas Cadaverina y Putrescina. Este es un dato sumamente interesante tomando en cuenta que en la naturaleza la mayoría de los decápodos, debido a sus hábitos alimenticios, tienen marcadas preferencias por material en descomposición de origen animal o vegetal.

En lo que respecta a los testigos positivos, la ventaja del attractante comercial sobre el extracto de calamar es su consistencia en la composición, mientras que el extracto de calamar puede mostrar en algunas ocasiones buenos resultados, su composición depende de la especie, el tamaño, el estado fisiológico y su nutrición.

Las diferencias en atracción que se presentaron entre hembras y machos indican que las muestras de orina efectivamente presentaban actividad “feromonal”, ya que solo los machos eran atraídos hacia el estímulo. A pesar de no haber mostrado buenos resultados con hembras como los otros atractantes, existe cierto potencial para que estas pueden ser utilizadas en cultivos monosexuales de *Macrobrachium rosenbergii*.

Tomando en cuenta que el alimento representa entre el 50 y 60% de los gastos de operación en una granja de langostino, el uso de atractantes es una buena opción para mejorar las condiciones de cultivo y por lo tanto incrementar la rentabilidad del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- Ache, B.W., Z. Fuzessery and W.E.S. Carr (1976) Antennular chemosensitivity in the spiny lobster, *Panulirus argus*: Comparative test of high- and low-molecular-weight stimulants. *Biol. Bull.* 151 273-282.
- Atema, J. and D. Cowan (1986) Sex-identifying urine and molt signals in lobster (*Homarus americanus*). *Journal of Chemical Ecology.* 12:2065-2080.
- Atema, J. (1988) Distribution of chemical stimuli. In: Atema, J., A.N. Popper, R.R. Fay & W.N. Tavolga, eds, *Sensory biology of aquatic animals*, pp. 29-56. Springer-Verlag, New York.

- Bauchau, A.G. (1986) Sex Pheromones in Crustacea. Elsevier Science Publishers B.V. *Advances in Invertebrate Reproduction* 4. M.Porchet, J.-C.Andries and A. Dhainaut editors. pp:337-243.
- Boyd, C. and C. Tucker.(1995). Sustainability of channel catfish farming. *World Aquaculture*. 26(3):45-53.
- Carr, W.E.S. and T. Chaney.(1975). Chemical Stimulation of Feeding Behavior in the Pinfish, *Lagodon rhomboides*: Characterization and Identification of Stimulatory Substances Extracted From Shrimp. *Comp. Biochem. Physiol.* 54A:437-441.
- Carr, W.E.S. (1982). Chemical stimulation of feeding behaviour. In: *Chemoreception in Fishes*. Hara, T. Ed.. Elsevier Scientific Publishing Company. Canada.
- Carr, W.E.S and H.W.Thompson. (1983). Adenosine 5'-monophosphate, an internal regulatory agent, is a potent chemoattractant for a marine shrimp. *J.Comp. Physiol.*, 153:47-53.
- Carr, W.E.S., Netherton, J.C.III and M.L.Milstead. (1984). Chemoattractants of the shrimp *Palaemonetes pugio*: variability in responsiveness and the stimulatory capacity of mixtures containing amino acids, quaternary ammonium compounds, purines and other Substances. *Comp. Biochem. Physiol.*, 77A, 469-474.
- Carr, W.E.S. and C. Derby (1986) Behavioral chemoattractants for the shrimp, *Palaemonetes pugio*: identification of active components in food extracts and evidence of synergistic mixture interactions. *Chemical Senses* Vol. 11(1): 49-64.
- Corotto, F; R. Voigt and J. Atema (1992) Spectral tuning of chemoreceptor cells on the third maxilliped of the lobster, *Homarus americanus*. *Biol. Bull.* 183:304-306.
- Costa-Pierce, B.A. and E.A.Laws (1985) Chemotactically-active feed additive for prawns (*Macrobrachium rosenbergii*). *The Progressive Fish Culturist* 47(1), 59-61.
- Costero M.C. and S.P. Meyers (1993a) Evaluation of chemoreception by *Penaeus vannamei* under experimental conditions. *The Progressive Fish Culturist*. 55:157-162.
- Cowey, C.B. and C.Y. Cho (1992) Failure of Dietary Putrescine to Enhance the Growth of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 49:2469-2473.
- Daloze, D., J.C. Braekman and B. Tursch (1980) Chemical communication in the marine environment. In R. Gilles (ed.), *Animal Environmental Fitness. Physiological and Biochemical Aspects of Adaptation and Ecology*, Vol. 1 Invented lectures. Pergamon Press, Oxford, pp.243-261.
- Derby, C.D. and J. Atema (1982) The function of chemo- and mechanoreceptors in lobster (*Homarus americanus*) feeding behaviour. *Journal of Experimental Biology* 98, 317-327.

- Derby, C.D. (1984) Molecular weight fractions of natural foods that stimulate feeding in crustaceans, with data from the lobster *Homarus americanus*. *Mar. Behav. Physiol.* Vol 10, pp.273-282.
- Derby, C.D. and S.Harpaz (1988) Physiology of chemoreceptor cells in the leg of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Comp. Biochem. Physiol.* 90A(1): 85-91.
- Derby, C.D. and J. Atema (1988) Chemoreceptor cells in aquatic invertebrates: peripheral mechanisms of chemical signal processing in decapod crustaceans. In *Sensory Biology of Aquatic Animals*. Atema, J., Fay, R.R., & Tavolga, W.N. eds). pp 365-385. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Fontaine, M.T., A.G.Bauchau and E.Passelecq-Gerin (1989) *Carcinus maenas* (L.)(Decapoda, Reptantia) sex pheromone: Site of synthesis. *Crustaceana*, 57(2):208-216.
- Fujita, K., T. Nagatsu and K. Shinpo (1983) Assay methods for polyamines. In *Methods in Biogenic Amine Research*. Edited by S. Parvez, T.Nagatsu & H.Parvez.
- Gleeson R.A., M.A. Adams, & A.B.Smith (1984) Characterization of a sex pheromone in the blue crab, *Callinectes sapidus*: Crustecdysone studies. *Journal of Chemical Ecology* 10(6):913-921.
- Gleeson, R.A., M.A. Adams and A.B. Smith (1987) Hormonal Modulation of Pheromone-Mediated Behavior in a Crustacean. *Biol. Bull.* 172: 1-9.
- Gleeson, R.A. (1990) Intrinsic factors mediating pheromone communication in the blue crabs, *Callinectes sapidus*. In: *Crustacean Sexual Biology*. Columbia University Press. New York. pp 17-32.
- Gouygou, J.P.; Mertin, C.; Sinquin, C. and Durand, P. (1989) Determination of biogenic amines in fish. *Oceanis*. 15: 599-604.
- Harada, K. (1986) Feeding Attraction Activities of Nucleic Acid-Related Compounds for Abalone, Oriental Weatherfish and Yellowtail. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. 52(11):1961-1968.
- Harada, K., T. Miyasaki and T. Yakiyosi (1994) Chemoattract effects of sugar and their related compound on black abalone *Haliotis discus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 109 A (1):111-115.
- Harpaz, S., Kahan, D., Galun, R and I. Moore (1987) Responses of fresh water prawn *Macrobrachium rosenbergii*, to chemical attractants. *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 13, No. 9.

- Harpaz, S. and J.E. Steiner (1990) Analysis of Betaine-induced feeding behavior in the prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1987) (Decapoda, Caridae). *Crustaceana* 58 (2) 175-185.
- Hatt, H. (1984) Structural requirements of amino acid and related compound for stimulation of receptors in crayfish walking leg. *J. Comp. Physiol. A.* 155:219-231.
- Heinen J.M. (1980) Chemoreception in decapod crustacea and chemical feeding stimulants as potential feed additives. *Proc. World Maricul. Soc.* 11:319-334.
- Hill J. and J. Wassenberg (1987) Feeding behaviour of adult Tiger Prawns, *Penaeus esculentus*, Under Laboratory Conditions. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 38:183-190.
- Hindley J.P.R. (1975) The detection, location and recognition of food by juvenile banana prawns, *Penaeus merguensis* de Man. *Marine Behaviour and Physiology.* 3, 193-210.
- Hodgson, E.S. (1958) Electrophysiological studies of arthropod chemoreception. III Chemoreception of terrestrial and freshwater arthropods. *Biol. Bull.* 115:114-125.
- Holland, K.N. and B.J. Russell (1993) A palatability bioassay for determining ingestive stimuli in the marine shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 109:153-164.
- Kittredge, J.S., M. Terry and F.T. Takahashi (1971) Sex pheromone activity of the molting hormone, crustecdysone, on male crabs (*Phcygrapsus crassipes*, *Cancer antennarius* and *C. anthonyi*). *U.S. Fish Wildl. Serv. Fish Bull.* 69:337-343.
- Kratt C.M. and D. Rittschof (1991) Peptide attraction of hermit crabs *Clibanarius vittatus* Bosc: roles of enzymes and substrates. *Journal of Chemical Ecology.* 17: 2347-2365.
- Kurmaly, K., D.A. Jones and A.B. Yule (1990) Acceptability and digestion of diets fed to larval stages of *Homarus gammarus* and the role of dietary conditioning behaviour. *Marine Biology.* 106: 181-190.
- Lee, P.G. and S. Meyers (1996a) Chemoatraction and Feeding Stimulation in crustacea. *Aquaculture Nutrition aquaculture nutrition* (2): 157-164.
- Lee, P.G. and S. Meyers (1996b) Chemoatraction and Feeding Stimulation. In: *Crustacean Nutrition.* D' Abramo, L. Conklin, D. & D. Akiyama (Eds). *Advances in World Aquaculture Society Series. Volume 6.* Louisiana, USA.
- Lindstedt, J. (1971) Chemical Control of Feeding Behavior. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol.39A, pp:553-581.
- Ling, S.W. (1969) The General Biology and Development of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). *Proceedings of the World Scientific Conference on the Biology and Culture of Shrimps and Prawns.* Roma. pp: 589-606.

- Mackie, A.M. and R.G. Shelton (1972) A whole-animal bioassay for the determination of the food attractants of the lobster *Homarus gammarus*. *Marine Biology*. 14:217-221.
- Mackie, A.M. (1973) The Chemical Basis of Food Detection in the Lobster *Homarus gammarus*. *Mar. Biol.* 21: 103-108.
- Mackie, A.M. and J.W. Adron (1978) Identification of inosine and inosine 5'-monophosphate as the gustatory feeding stimulants for the turbot, *Scophthalmus maximus*. *Comp. Biochem Physiol.* 60:79-83.
- Mackie, A.M. (1982) Identification of the gustatory feeding stimulants. In *Chemoreception in Fishes*. Edited by Toshiaki J. Hara. Elsevier Scientific Publishing Company. Canada. pp:228-240
- Mackie, A.M. and A.I. Mitchell (1985) Identification of gustatory feeding stimulants for Fish-Applications in Aquaculture. In *Nutrition and feeding in fish*. Edited by C.B.Cowey, A.M.Mackie & G. Bel. Academic Press. Great Britain. pp: 177-189.
- McLeese, D.W. (1970) Orientation of lobsters *Homarus americanus* to odor. *J. of the Fish. Res. Board of Canada*. 30: 838-840.
- Nordlund, D.A., Jones, R.L. and W.J. Lewis (1981) *Semiochemicals, their role in pest control*. Wiley Interscience Publication. New York, pp 306.
- Pearson, W.H., P.C. Sugarman, D.L. Woodruff and B.L. Olla (1979) Thresholds for detection and feeding in the dungeness crab, *Cancer magister* (Dana). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 39: 65-78..
- Peebles, J.B. (1977) A rapid technique for molt staging in live *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*. 12: 173-180.
- Rittschof, D. (1990) Enzymatic production of small molecules attracting hermit crabs to stimulated gastropod predation sites. *J. Chem. Ecol.* 6(3):665-675.
- Rojas, J.C., E.A. Malo, A. Gutierrez and R.N. Ondarza (1990) Mating behavior of *Triatoma mazzottii* (Hemiptera: Reduviidae) under laboratory conditions. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 83: 598-602.
- Sagy, A. and Z. Ra'anan (1985) Rapid identification of reproductive state and the receptive period of females in pond populations of *Macrobrachium rosenbergii*-A new technique. *Aquaculture*, 48:365-367.
- Shimizu, C., A. Ibrahim, T. Tokoro and Y. Shirakawa (1990) Feeding stimulation in sea bream, *Pagrus major*, fed diets supplemented with Antarctic krill meals. *Aquaculture*. 89: 43-53

- Smith, T.K. (1990) Effect of Dietary Putrescine on Whole Body Growth and Polyamine Metabolism. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 194: 332-336.
- Steel, R. and J. Torrie (1980) Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach. McGraw-Hill Book Co., New York, 633 pp.
- Susuki, S., K. Kobayashi and K. Takama (1994) Occurrence of biogenic amines at different processing stages of dried herring. *Fisheries Sciences.* 60:353-354.
- Takeda, M. and K. Takei (1992) Gustation and nutrition in fishes: application to aquaculture. In: *Fish Chemoreception*, T.J.Hara Ed. Chapman & Hall, London, England.
- Takei, M. (1977) Feeding behavior of crabs *Erimacrus isenbekii* and *Neptunus trituberculatus*. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.* 89:75-82.
- Tierney, A.J. and D.W. Dunham (1982) Chemical communication in the reproductive isolation of the crayfishes, *Orconectes propinquus* and *Orconectes virilis* (Decapoda, Cambaridae). *J. Crust. Biol.*, 2:544-548.
- Tierney, A.J. and J. Atema (1988) Behavioral responses of crayfish (*Orconectes virilis* and *Orconectes rusticus*) to chemical feeding stimulants. *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 14, No.1, pp 123-133.
- Viana, M., M. Cervantes-Trujano and R. Solana-Sensores (1994) Attraction and palatability activities in juvenile abalone (*Haliotis fulgens*): nine ingredients used in artificial diets. *Aquaculture* 127:19-28.
- Voigt, R. and J. Atema (1992) Tuning of chemoreceptor cells of the second antenna of the American Lobster (*Homarus americanus*) with a comparison of four of its other chemoreceptor organs. *J. of Comparative Physiology A.* 171:673-683.
- Zar. J.H. (1984) *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. N.J. pp.345.
- Zimmer-Faust, R.K. (1987) Crustacean Chemical Perception: Towards a Theory on Optimal Chemoreception. *Biol. Bull.* 172:10-29.
- Zimmer-Faust, R.K. (1989) The relationship between chemoreception and foraging behavior in crustaceans. *Limnol. Oceanogr.*, 34(7): 1367-1374.