

## ALGUNOS ASPECTOS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICION Y LA MICROBIOLOGIA AMBIENTAL

*Héctor Bastardo*

Universidad Experimental de Guayana

### INTRODUCCIÓN

Al discutir el proceso de descomposición de una especie vegetal en particular o de un conjunto de ellas, debemos tomar en cuenta la dinámica de desaparición de la planta en sí (materia seca) y de sus componentes moleculares (materia orgánica y lignocelulósicos). Esta dinámica está sujeta a una serie de cambios de estado en el material vegetal, los cuales son atribuidos a la calidad de los constituyentes orgánicos del sustrato, como son el contenido celular las reservas alimentarias y la pared celular. El primer grupo es rico en proteínas y azúcares solubles, el segundo en almidones, grasas y proteínas estructurales, y el tercero consiste en dos tipos de materiales lignocelulósicos y el cemento vegetal. La distribución de estos compuestos en la planta, su concentración y disposición, así como su estructura química van a determinar la velocidad con la cual este material se degrada y posteriormente se mineraliza.

Hay una serie de procesos que determinan los cambios y la cinética de desaparición del material vegetal sometido a descomposición y se les puede clasificar en abióticos y bióticos. Mediante los primeros se elimina el material no estructural del sustrato vegetal por la acción del agua, viento o acción mecánica por fractura o ruptura física de aquél. Esto trae como consecuencia una rápida pérdida inicial de peso, así como cambios en la composición química del sustrato. Este es un proceso físico y ocurre principalmente durante las primeras etapas de la descomposición. Es el paso que conlleva a la reducción o partición del sustrato por acción mecánica, permitiendo un mayor acceso o contacto con el agua de lavado o los organismos descomponedores.

Los mecanismos bióticos son esencialmente la actividad enzimática de los descomponedores y

transforman el sustrato de modo que los componentes orgánicos complejos estructurales del esqueleto vegetal se degradan hasta moléculas sencillas. Este paso quizás es el más importante porque permite la continuidad del proceso hacia su etapa final (mineralización), mediante la cual se hacen accesibles los nutrientes necesarios para el mantenimiento de los organismos productores.

La interacción de estos mecanismos va a determinar la velocidad con que se desarrolla el proceso de descomposición y ambos actúan simultáneamente, lo que hace imposible su separación física en el tiempo y espacio.

Cuando los organismos descomponedores comienzan a atacar las diferentes formas de materia orgánica presente como detritus, utilizan primeramente los compuestos más ricos en energía y nutrientes. Durante este tiempo ocurre una inmovilización del sustrato y se observa que aquellos organismos con mayor capacidad adaptativa serán los favorecidos en este momento. Así, podemos señalar que las bacterias, las cuales se reproducen por división binaria y muestran un tiempo de generación relativamente corto (alta tasa de crecimiento), hacen que este grupo morfológico tenga la máxima eficiencia en el uso del sustrato. El inicio del proceso total depende de la disponibilidad de estos microorganismos.

En el estudio detallado de la actividad microbiana durante la descomposición se emplean diversos métodos. Cinco de los más utilizados son las bolsas de descomposición (Wiegert y Evans, 1964, Bulla y *col.*, 1980, Bastardo, 1981 y 1993), el método de los acuarios (Bastardo, 1979, Hobaica, 1992, Rivera y Bastardo, 1991, Bastardo y Rangel, 1995); la relación verde-seco (Bulla y *col.*, 1980); la relación clorofila-feopigmentos (Bastardo, 1980) y las bolsas de polietileno (Bastardo y De la Ville, 1987).

## PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN EN PLANTAS ACUÁTICAS SUMERGIDAS Y GRAMÍNEAS.

Bastardo (1979), encontró que durante el proceso de descomposición de plantas acuáticas sumergidas, ocurre una serie de cambios sucesionales en las poblaciones bacterianas que actúan durante este proceso, en el cual los diferentes grupos de bacterias compiten por el sustrato y predominan inicialmente aquellos que utilizan más rápidamente los azúcares solubles como glucosa y lactosa. Luego intervienen aquellos que utilizan proteínas solubles, seguidos por los degradadores de hemicelulosa y lignina, y así sucesivamente. Todos estos eventos ocurren bajo la influencia de cambios que ocurren en el medio, los cuales a su vez dependen de la disponibilidad de nutrientes y propiedades del sustrato que soporta los organismos productores involucrados. Las interacciones de los organismos descomponedores son de vital importancia para la productividad de los ecosistemas.

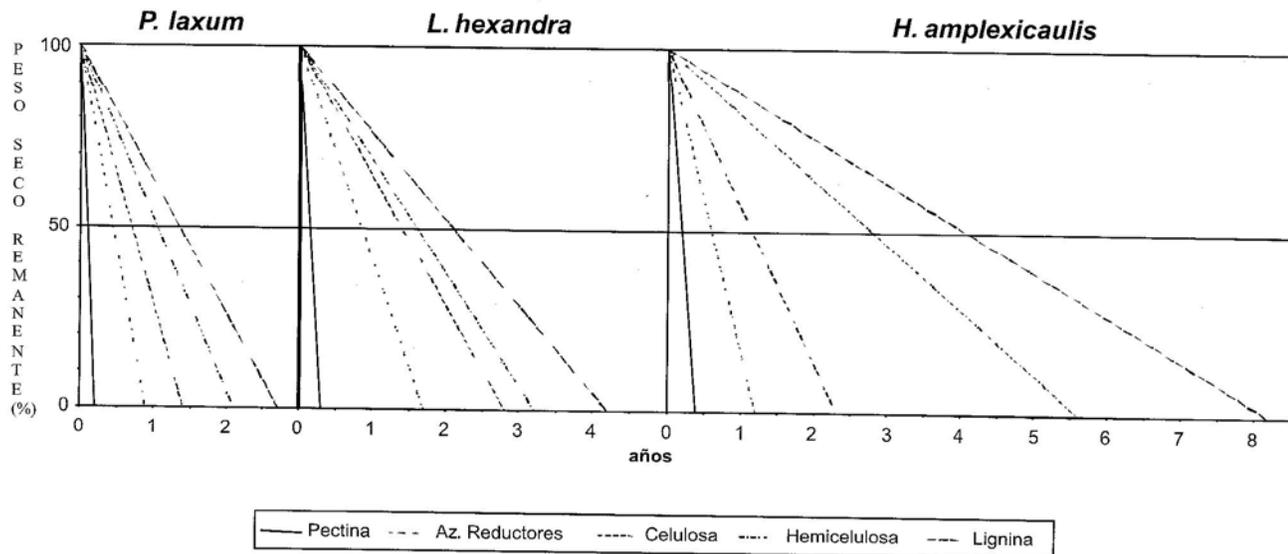
Las sabanas inundables de los llanos venezolanos cumplen con este esquema, ya que se caracterizan por una marcada bioestacionalidad que durante la temporada de sequía ocasiona una acumulación de materia orgánica o mantillo que posteriormente se descompone en la época lluviosa. Este proceso permite la disponibilidad de los nutrientes necesarios para la producción primaria. En este sentido, se estudió la dinámica de desaparición de la hojarasca proveniente de tres especies predominantes en las sabanas inundables de Mantecal, Estado Apure. Se analizó la cinética de desaparición de los principales componentes orgánicos de las gramíneas, con énfasis en la participación de los organismos descomponedores (Fig. 1).

De acuerdo con estos resultados se puede concluir que la tasa de desaparición de los diferentes componentes orgánicos del esqueleto vegetal depende del grado de utilización y accesibilidad a los organismos que realizan la descomposición, siendo ésta muy rápida en azúcares reductores y pectina; luego celulosa y hemicelulosa, y finalmente lignina. Estos resultados señalan que existen diferencias entre las tasas de descomposición de distintos componentes y que a su vez éstas dependen de la complejidad de la estructura dentro de cada especie. La colonización y sucesión del sustrato

susceptible a descomposición depende notablemente de la fisiología de los diferentes grupos morfológicos de microorganismos actuantes en el proceso (Bastardo, 1981; Espinoza, 1981; Medialdea, 1981; Roque, 1981; Bastardo y Col. 1982; Rivera y Bastardo, 1991)

## ESTRUCTURA FUNCIONAL DE LA COMUNIDAD DE MICROORGANISMOS.

Todo esto nos lleva a señalar que los microorganismos están interrelacionados entre sí, constituyendo comunidades que de acuerdo con el hábitat donde ellas se desarrollan, serán simples o complejas, influyendo además la acción de los factores ambientales que presionan sobre ellos. Tomando en cuenta estas premisas se puede afirmar que todo aquel conjunto de comunidades bacterianas que posea una determinada característica para degradar un compuesto orgánico, puede pertenecer a un grupo de organismos con características semejantes, constituyendo de esa forma lo que podemos denominar Grupo Funcional de Microorganismos. Estos gremios o grupos de microorganismos son capaces de ejercer una función similar en el tiempo y espacio. Así, el análisis funcional de un determinado grupo de microorganismos permite determinar la frecuencia de aparición de aquellos individuos con características bioquímicas y fisiológicas semejantes, permitiéndonos de esta manera conocer su capacidad de soportar condiciones ambientales extremas, de modo tal que se pueda determinar que estos organismos son resistentes o muy sensibles a las condiciones ambientales presentes. Ramos y col (1997) señalan que la definición de grupo funcional surge como la necesidad de buscar una forma de identificación de aquellos microorganismos que poseen una serie de características comunes y que interaccionan en un ambiente determinado, lo que nos permite utilizarlos como bioindicadores. En este sentido, se puede inferir que la mejor forma de interpretar la actividad microbiana a este nivel del ecosistema es mediante el conocimiento de sus características fisiológicas, morfología, actividad enzimática, así como su resistencia a tensiones ambientales. De este modo, a través del uso de métodos estadísticos podremos agrupar a todos aquellos organismos con similitud de actividad en gremios con una funcionalidad especializada.



**Figura 1.-** Desaparición de Componentes Orgánicos de tres especies de gramíneas durante el proceso de descomposición (Bastardo, 1999)

Bastardo (1993), señala que en los ambientes lagunares costeros, la circulación de compuestos orgánicos como recurso energético depende de los organismos descomponedores, los cuales contribuyen su oxidación. De acuerdo con estas premisas, se realizaron estudios de la caracterización microbiológica de la laguna marino-costera de Tacarigua. La aplicación de este esquema permitió conocer de manera integral las interacciones entre los diferentes grupos de microorganismos que participan en el proceso de descomposición en el agua y en la interfase agua-sedimentos. Haciendo ensayos con muestras provenientes de diferentes sectores del complejo lagunar y que constituían ambientes contrastantes, se establecieron sus similitudes fisiológicas y su frecuencia de aparición en los diferentes ambientes como respuesta a las presiones ambientales.

En ese estudio se dividió el complejo Lagunar en cinco sectores tomando como criterio la topo-grafía y la separación natural de esta albufera, además de las características contrastantes que definen la dinámica del ecosistema lagunar. En algunos sectores se estableció más de una estación de muestreo debido a las condiciones críticas que prevalecen en ellas, tales como los cambios físico-químicos, sedimentación, contaminación microbiológica u orgánica (Isava, 1996; Linares, 1996; Bastardo, 1999).

Los sectores y las respectivas estaciones de muestreo se indican en la Tabla 1 y son las siguientes: El Guapo: Caño Madre Casaña (M1); Laguna Grande: Caño San Ignacio (M2); Laguna Arenas: Club Miami (M3) y Manatí (M4); El Cazote: Marapata (M5) y El Placer: Carambola (M6) y La Boca (M7). Los análisis bioquímicos permitieron establecer las similitudes correspondientes que permitieron agrupar los diferentes gremios de bacterias en grupos funcionales (Tablas 1 y 2). Aquí podemos señalar que los grupos funcionales M2 y M4 son los más comunes dentro del complejo lagunar, mientras que la zona 1 (Caño Madre Casañas) presenta la mayor diversidad de grupos funcionales (Tabla 2).

Las interacciones entre los factores bióticos y abióticos contribuyen en la dinámica de cambios que ocurren en el tiempo y en el espacio en la laguna de Tacarigua. En este tipo de ecosistemas la alteración de los parámetros físico-químicos que ocurre en la interfase agua-sedimento incide notablemente sobre la estructura de las comunidades presentes. Así podemos señalar que la salinidad y el oxígeno disuelto representan dos parámetros determinantes en la distribución y frecuencia de aparición de los organismos asociados a este tipo de ecosistema. La variación depende de los aportes de agua dulce del río Guapo y los numerosos caños

**Tabla 1.** Respuestas bioquímicas de los grupos funcionales de los bioindicadores aislados (Bastardo y col., 1997)

Grupos funcionales	Urea	Proteínas	Carbohidratos	N	NMP	BOD	H2S
M1	2.1	39.3	3.6	32.1	14.3	15.7	13.6
M2	0.0	3.6	25.0	7.1	7.1	3.6	10.0
M3	32.1	3.6	14.3	3.6	3.6	3.6	0.0
M4	7.1	3.6	3.6	0.0	14.3	5.0	0.9
M6	0.0	3.6	3.6	3.6	0.0	3.6	0.0
M7	0.0	14.3	14.3	14.3	0.0	4.3	2.8

NMP: Numero más probable superior a los limites permitidos

**Tabla 2.** Frecuencia de aparición de grupos funcionales de bacterias bioindicadoras aisladas (Bastardo y col., 1997)

Muestras	Grupos Funcionales							%
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	
1		*	*	*	*	*		71.4
2			*		*			28.6
3		*	*					28.6
4	*	*		*				42.8
5					*		*	28.6
6				*				14.3
7		*		*		*		42.8
%	14.3	57.1	42.9	57.1	42.9	28.6	14.3	

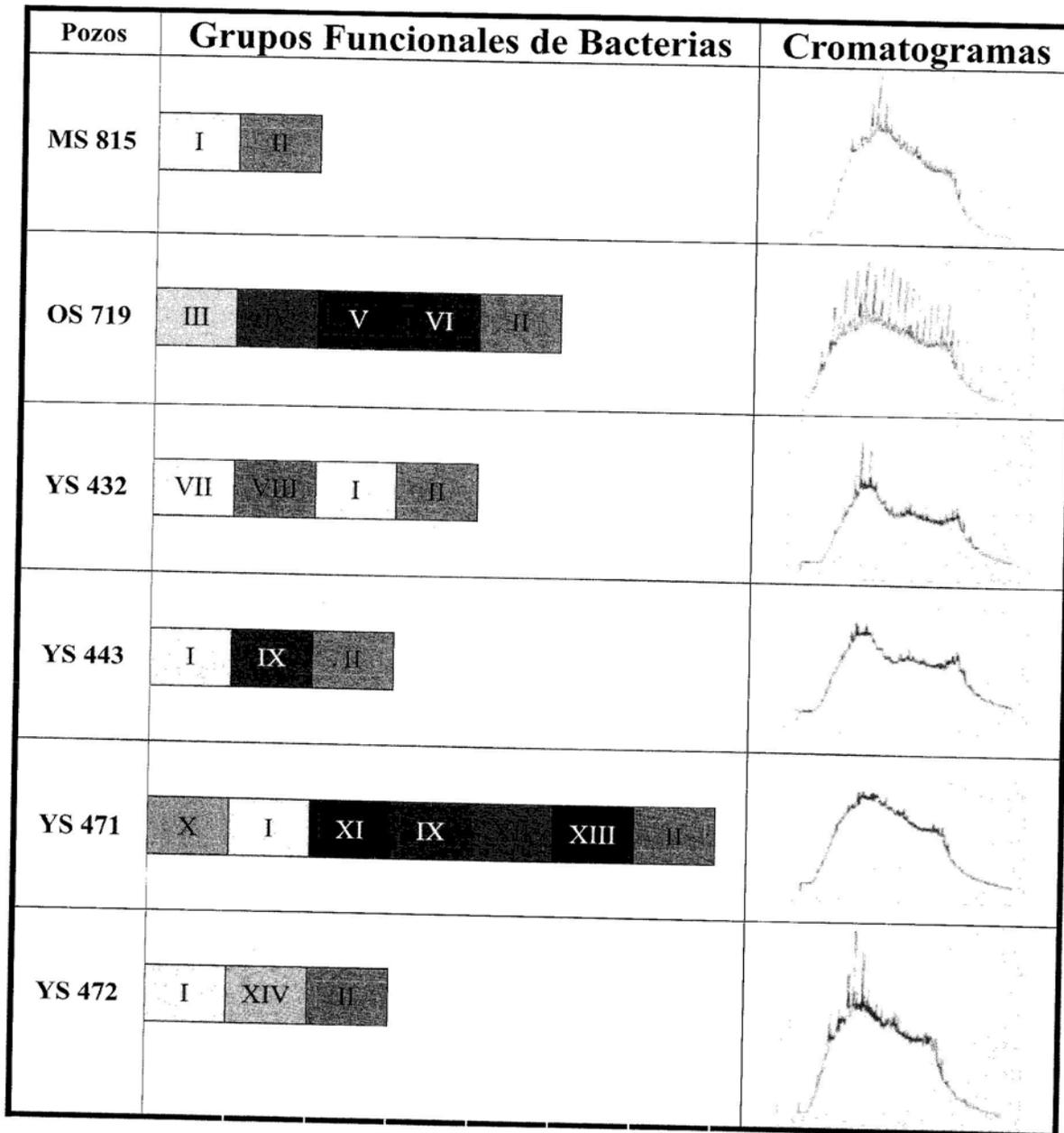
que desembocan en la laguna, principalmente el caño Pirital y el caño San Ignacio, además de los otros factores anteriormente mencionados (Bastardo 1993, Isava 1996, Linares 1996).

## MICROBIOLOGÍA GEOQUÍMICA

Estos resultados permitieron la utilización de Grupos Funcionales en investigaciones sobre saneamiento ambiental. Para ello se aislaron microorganismos asociados a los hidrocarburos en el suelo o en yacimientos con el objeto de conocer su asociación con el sustrato a estudiar y de este modo establecer relaciones entre los grupos funcionales, el crudo, el suelo y el tiempo de permanencia de los mismos en el sitio de estudio.

La Figura 2 ilustra cómo la presencia de grupos funcionales está directamente relacionada con la edad y el estado estructural del crudo. Allí se analizaron diferentes grupos funcionales de bac-

terias asociadas a crudos provenientes de diferentes pozos, todos pertenecientes a la Formación Oficina de la costa oriental de Venezuela. Comparando los cromatogramas provenientes de los distintos pozos podemos observar que el grupo funcional II es el único que está presente en todas las muestras estudiadas, mientras que el grupo I aparece en cinco de los seis pozos estudiados pero está ausente en aquel que presenta menor estado de degradación en el cromatograma. Esto conduce a señalar que existe una estrecha relación entre estos grupos funcionales y el estado de degradación del crudo así como su permanencia en el tiempo. Un estudio mas detallado de estos grupos funcionales condujo a su utilización en ensayos dirigidos al saneamiento de fosas de desechos de la industria petrolera y así se caracterizaron y aislaron grupos funcionales de microorganismos con capacidad de producir surfactantes (Bastardo y Rangel, 1995; Hernandez, 1998; Bastardo y col., 2006; Bermudez y col., 2006).



**Figura 2.** Grupos funcionales de bacterias asociados a las fracciones de n-parafinas provenientes de diferentes pozos ubicados en la Formación Oficina de la Cuenca Oriental de Venezuela (Bastardo y col.,1993)

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al CDCH de la UCV, CONICIT ahora FONACIT, al Instituto de Zoología Tropical por su invaluable apoyo durante

la realización de estas Investigaciones, además a todo el personal técnico, de servicios y a mis colegas. En especial, agradezco al grupo de estudiantes que se incorporaron en estas investigaciones con sus Trabajos de Grado, y que me ayudaron a hacer realidad estas investigaciones.

## LITERATURA CITADA

- BASTARDO, H.**  
 1979. Laboratory studies on decomposition of littoral plants. *Polskie Arch. Hydrobiol.*, 26 (3): 267-300.  
 1980. The chlorophyll: a phaeopigment ratio as an indicator of the process of decomposition in some freshwater plants. *Acta Biologica Venezuelica*, 10 (3): 241-253.  
 1981. Actividad microbiana durante la descomposición de gramíneas tropicales en sabanas inundables. *Acta Biologica Venezuelica*, 11(2):149-168.  
 1993. Decomposition process in *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* under oil. *Acta Biológica Venezuelica*, 14(2):53-60.
- BASTARDO, H., C. J. RIVERA Y A. SANTANA**  
 1982. Descomposición de gramíneas tropicales en sabanas inundables 'e los llanos venezolanos. Proc. Regional Colloquium on Soil Organic Matter Studies: 35-43. CENA. Sao Paulo, Brasil.
- BASTARDO, H. Y N. DE LA VILLE**  
 1987. Cambios en el contenido de Fósforo y Nitrógeno en sabanas inundables. *Acta Científica Venezolana.*, 38(2):292-293.
- BASTARDO, H., L. VIERMA Y A. ESTEVEZ**  
 1993. Microbial characteristics and metabolic activity of bacteria from Venezuelan oil wells. *Developments in Petroleum Science* 39: 307-318 Microbial Enhanced Oil Recovery-recent advances. E. Premuzic and A. Woodhead (Editors). Elsevier.
- BASTARDO, H. Y O. RANGEL**  
 1995 Production of biosurfactants from heavy crude oil deposited in oil pits. Proceedings of III International Congress of Energy, *Environment and Technological Innovations* 2:3-10
- BASTARDO, H., F. ISAVA Y J. RAMOS.**  
 1997. Aspectos ecológicos de la comunidad bacteriana de la Laguna de Tacarigua, Venezuela. Memorias de Labores del XI Congreso Centroamericano y V Nacional de Microbiología de Guatemala. VI: 11-12.
- BASTARDO, H., D. BERMÚDEZ, L. BETANCOURT, E. RAMÍREZ, Y L. RAMOS.**  
 2006. Frequency of appearance of functional group of bacteria associated to a spill of light hydrocarbons in an "Morichal" ecosystem in Monagas State, Venezuela. Proceedings of 10<sup>th</sup> Congress of Asociación Latinoamericana de Geoquímica Organica. San Carlos. Bahia Brasil. Vol. I:262-265.
- BERMÚDEZ, D., H. BASTARDO, L. BETANCOURT, E. RAMÍREZ E.**  
 2006. Water sanitation of a "Morichal" impacted by an oil spill coming from a tank at the "MUSCAR" gas complex of PDVSA, Punta de Mata, Monagas State, Venezuela. Proceedings of 10<sup>th</sup> Congress of Asociación Latinoamericana de Geoquímica Orgánica. San Carlos. Bahia Brasil. Vol. I:287-289.
- BULLA, L., J. M. PACHECO Y R. MIRANDA**  
 1980. Estabilidad, dinámica del mantillo y descomposición en una sabana inundable. *Bol. Soc. Ven. Cien. Nat.* 16:45-57
- CONEO, O.**  
 2000. Simulación a escala de laboratorio de la técnica de biorremediación en fluidos de perforación base aceite (Gasoil). Tesis de Licenciatura, Fac de Ingeniería, UCV. 87p.
- ESPINOZA, Y.**  
 1981. Caracterización de las comunidades de micro-organismos acuáticos de los Esteros de Mantecal, Edo. Apure. Tesis de Licenciatura en Biología, Fac. Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 53p.
- HERNÁNDEZ, A.**  
 1999. Producción de biosurfactantes por utilización de diferentes sustratos. Tesis de Licenciatura en Biología, Fac. Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 63p.
- HOBACA, Y.**  
 1989. Degradación microbiológica de hidrocarburos venezolanos sobre ecosistemas estuarinos. Tesis de Licenciatura en Biología, Fac. Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 62p.
- ISAVA, F.**  
 1996. Caracterización de las bacterias presentes en la interfase agua-sedimento de la Laguna de Tacarigua. Tesis de Licenciatura en Biología, Fac. Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 60p.
- LINARES, A.**  
 1996. Distribución espacial y temporal de las bacterias acuáticas y su implicación sanitaria en la calidad del agua de la Laguna de Tacarigua. Tesis de Licenciatura en Biología, Ciencias, Univ. Central de Venezuela. 72p.

*MEDIALDEA, C.*

1981. Sucesión y Colonización de Microorganismos del Suelo en sabanas de Mantecal, Edo. Apure. Tesis de Licenciatura en Biología, Fac. Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 68p.

*RAMOS, J., N. MALAVER Y H. BASTARDO*

1997. Las Interacciones Biológicas en Biotecnología. Memorias de Labores del XI Congreso Centroamericano y V Nacional de Microbiología de Guatemala. II-11-12.

*RIVERA, C. J., Y H. BASTARDO*

1991. Desaparición de componentes lignocelulosicos en gramíneas". *Acta Biologica Venezuelica*. 13(1-2):122-135.

*ROQUE, L.*

1981. Actividad de los microorganismos durante el proceso de descomposición en sabanas inundables de Mantecal, Edo. Apure. Tesis de Licenciatura en Biología, Fac. Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 41p.

*RIVERA, C. J., Y H. BASTARDO*

1982. Descomposición de componentes lignocelulosicos en sabanas inundables de los llanos venezolanos. Proc. Reg. Colloquium on Soil Organic Matter Studies: 59-64. CENA, Sao Paulo, Brasil.