

## Evaluación de Activadores Naturales para Acelerar el Proceso de Compostaje de Residuos Orgánicos en el Municipio de Quillacollo

### *Evaluation of Natural Activators Accelerating Process of Organic Waste Composting in the Municipality of Quillacollo*

Sheila Azurduy<sup>1</sup>, Mauricio Azero<sup>1</sup> y Noel Ortuño<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana, c. Márquez s/n, Cochabamba Bolivia. <sup>2</sup>Fundación PROINPA Centro El Paso, Av. Meneces s/n. km 4, Zona El Paso, Cochabamba Bolivia.

n.ortuno@proinpa.org

**Resumen:** En el Municipio Quillacollo alcanza a 60 t d<sup>-1</sup> de residuos urbanos siendo orgánico el 72,8%. Estos no reciben tratamiento alguno, por eso se planteó el realizar diferentes tratamientos, en el Vivero Municipal de Quillacollo, implementándose como sigue T1=activador TC (té de compost y fermento de estiércol), T2=activador BC (harina de hueso, torta de soya, salvado de arroz, melaza y biol), T3=activador LC (levadura y melaza), T4=activador EM (microorganismos efectivos), T5=Testigo 1 (estiércol de vaca), T6=Testigo 2 y T7=Testigo 3 (pila a la intemperie). Los resultados mostraron que los activadores favorecen al incremento de la temperatura en periodo corto. La cubierta de plástico (T1-T6) mantuvo la humedad constante en las pilas de compostaje, protegiéndolas de las altas precipitaciones y evitando la lixiviación de nutrientes. A los 2,5 meses, los tratamientos que lograron descomponer más del 50 % del volumen inicial fueron T1 (57 %) y T5 (52 %), donde T1 redujo el 84 % del volumen inicial. Las características físicas, químicas y biológicas del compost procesado, fueron calificadas de óptima calidad, porque favorecieron el normal crecimiento de la planta, lo cual se verificó con un bioensayo. El análisis económico, indicó que los tratamientos con mayor beneficio neto fueron T1 (137,5 Bs), T7 (110,6 Bs), T6 (105,6 Bs), T3 (72,6 Bs) y T5 (29,8 Bs). Por tanto, el activador TC se constituye en el mejor activador orgánico que acelera el proceso de compostaje, generando los mayores beneficios económicos.

**Palabras clave:** Proceso de compostaje, residuos orgánicos urbanos, activadores orgánicos.

**Abstract:** In the municipality Quillacollo reaches 60 t d<sup>-1</sup> organic urban waste being 72.8%. They receive no treatment, so they raised the performing different treatments, in the Municipal Nursery Quillacollo, implemented as follows T1 =

activating TC (compost tea and ferment manure), T2 = activator BC (bone meal, cake soybeans, rice bran, molasses and biological), T3 = activator LC (yeast and molasses), T4 = activator EM (effective microorganisms), T5 = Witness 1 (cow dung), T6 = Witness 2 and T7 = Control 3 (pile outdoors). The results showed that activators favor the increase in temperature in short period. The plastic cover (T1-T6) kept constant moisture in compost piles, protecting high rainfall and preventing nutrient leaching. At 2.5 months, they managed to break treatments that more than 50% of the initial volume were T1 (57%) and T5 (52%), where T1 reduced 84% of the initial volume. The physical, chemical and biological characteristics of the processed compost, were rated the highest quality, because they favored the normal growth of the plant, which was verified with a bioassay. Economic analysis indicated that the treatments were T1 higher net profit (137.5 B), T7 (110.6 B), T6 (105.6 B), T3 (72.6 B) and T5 (29.8 Bs) . Therefore, the TC activator becomes the best organic activator that accelerates the composting process, generating greater economic benefits.

**Keywords:** Process composting municipal organic waste, organic activators..

## 1 Introducción

Los países en vías de desarrollo generan un mayor porcentaje de material orgánico biodegradable a diferencia de los países altamente desarrollados (BID, 1997). Este es el caso de América Latina y el Caribe, donde la generación de residuos orgánicos (RO) oscila entre un 40 y 70 % (Acurio *et al.*,1997).

Ante esta situación, se fueron buscando alternativas de tratamiento a los RO para la recuperación, reutilización y transformación de los mismos, a fin de convertirlos en insumos útiles para sectores productivos, disminuyendo así el efecto negativo sobre el medio ambiente. Una de las alternativas es el compostaje, que es una forma práctica, conveniente y ecológica de transformar los RO en un recurso útil como mejorador del suelo, además de que contribuye a reducir la cantidad elevada de RS que son depositados en los vertederos, aumentando la vida útil de éstos (INTEC, 1999).

El proceso de compostaje requiere un tiempo de 4 a 6 meses para su elaboración, dependiendo de los factores climáticos. El periodo tiende a ser mayor cuando se manejan elevados volúmenes de RO lo que implica también costos muy altos porque se requieren superficies adicionales proporcionales a los volúmenes ocupados por los residuos en ese tiempo de proceso. Esta situación puede ser revertida por el avance tecnológico, por ejemplo incorporando aditivos al proceso de compostaje con el fin de acelerarlo.

Uno de los aditivos incorporados al proceso de compostaje son los activadores (Uranga, 1995 cit. Jiménez, 1998), que son un suministro de azúcares, nitrógeno, cepas seleccionadas de bacterias u otros microorganismos, enzimas, plantas medicinales y preparados biodinámicos. Todos estos aditivos incrementan

la población de microorganismos en los primeros días y aceleran dicho proceso permitiendo disminuir el tiempo de compostaje (Dalzell *et al.*, 1991).

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Sitio de estudio

El trabajo se llevó a cabo en el Vivero Municipal de Quillacollo, ubicado en el km 11,5 de la avenida Blanco Galindo, de la zona de Cotapachi, distrito 6 de la Provincia de Quillacollo, durante los meses de septiembre a diciembre del año 2006.

### 2.2 Metodología

El estudio comprendió cuatro etapas:

#### Etapa 1: Recolección de datos

Primeramente se realizó una revisión bibliográfica y paralelo a ello se hizo un diagnóstico de la situación actual sobre la generación de RO en el municipio de Quillacollo, a través de dos técnicas de investigación: una entrevista estructurada a los personeros de la Empresa Municipal de Aseo Urbano de Quillacollo (EMAUQ) y otra la observación directa a los mercados 9 de Diciembre, mercado Central y Cementerio de Quillacollo (1 semana).

#### Etapa 2: Implementación de la parte experimental

El trabajo de campo se desarrolló en el Vivero Municipal de Quillacollo, donde se trató a nivel experimental los RO procedentes del mercado 9 de Diciembre y cementerio del Municipio a través del proceso de compostaje, en el que se incorporó activadores orgánicos con el fin de acelerar dicho proceso.

Los pasos que se siguieron para la implementación del trabajo de campo fueron:

**Preparación del sitio y los materiales:** Nivelación del terreno, depósito de los materiales, preparación de indumentaria para los trabajadores.

**Separación de los residuos orgánicos e inorgánicos:** Separación manual de los mismos.

**Preparación de activadores orgánicos:** Basado en bibliografía y experiencias desarrolladas en la Fundación PROINPA.

- Activador TC: Té de compost (Bellota, 2006), Fermento de estiércol (Garvizú, 1978)
- Activador BC: Harina de hueso, Torta de soya, Salvado de arroz, Melaza, Biofertilizante (Ortuño, 2005).

- Activador LC: Levadura fresca, Melaza (Ortuño, 2005).
- Activador EM: Microorganismos efectivos (producto comercial obtenido desde Santa Cruz por AGEARTH).

### 2.3 Implementación del trabajo del campo

#### Tratamientos

Los tratamientos fueron implementados con tres repeticiones en una parcela del Vivero Municipal de Quillacollo, en dirección de norte a sud, cada pila presentó las siguientes dimensiones: 1,5 m de ancho, 3 m de largo, 1,5 m de altura y una separación entre pilas de 2 m. A continuación se detalla las pilas implementadas.

- Pila 1 T<sub>1</sub>: RO + activador T.C. + suelo
- Pila 2 T<sub>2</sub>: RO + activador B.C. + suelo
- Pila 3 T<sub>3</sub>: RO + activador L.C. + suelo
- Pila 4 T<sub>4</sub>: RO + activador EM + suelo
- Pila 5 T<sub>5</sub>: Testigo <sub>1</sub> = RO + estiércol de vaca + suelo
- Pila 6 T<sub>6</sub>: Testigo <sub>2</sub> = RO + suelo
- Pila 7 T<sub>7</sub>: Testigo <sub>3</sub> = RO + suelo (Intemperie)

#### Formación de las pilas

**Tratamiento 1-4:** En la base se colocó una capa de RO del mercado (15 cm), tierra (2cm) y se aplicó el activador orgánico (20 L), después se apiló una capa de las flores del cementerio (8 cm) y tierra (2cm) y nuevamente se aplicó el activador orgánico (20L). Se apiló hasta alcanzar 1,5 m de altura.

**Tratamiento 5:** Se colocó en la base una capa de RO del mercado (15 cm), una capa de estiércol de vaca (5 cm) y tierra (2cm), seguidamente se humedeció con agua (20 L), después se apiló las flores del cementerio (8 cm), una capa de estiércol de vaca (5 cm) y tierra (2cm). Se apiló hasta alcanzar 1,5 m de altura.

**Tratamiento 6 y7:** En la parte de la base se apiló los RO del mercado (15 cm), una capa de tierra (2cm), luego se humedeció con agua (20 L), después se apiló una capa de las flores del cementerio (8 cm), otra capa de tierra (2cm) y se humedeció con agua (20 L). Se apiló hasta alcanzar 1,5 m de altura.

Es importante mencionar que los tratamientos 1-6 fueron cubiertas con plástico negro a excepción de T7.

### Etapa 3: Evaluación del proceso de compostaje

**Temperatura:** Fue tomada con un geotermómetro a 20 cm de profundidad cada dos días y a la misma hora. Se tomó 6 lecturas de temperatura por pila.

**Humedad:** Se tomó dos muestras por pila cada 7 días y fue analizada por el método gravimétrico. También se evaluó la humedad en campo a través de la prueba “muestra de puño”, cada dos días.

**Compost procesado:** A los 2,5 meses (78 días) se evaluó el compost obtenido de los diferentes tratamientos. Para ello se dividió cada pila en tres áreas, luego se procedió a tamizar cada área y se calculó el volumen de compost descompuesto y no descompuesto.

### Parámetros físicos

Se aplicó el test de Parámetros Físicos, en base al Test de Bonitut (Jiménez, 1998). Las variables fueron:

**Tabla 1:** Test de parámetros físicos.

Variable	Indicador	Categorías
Color	Marrón oscuro	3
	Marrón claro	2
	Original	1
Olor	Tierra vegetal	3
	Neutro	2
	Desagradable	1
Humedad	Baja	3
	Media	2
	Original	1
Degradación	Descompuesto	3
	Intermedio	2
	Original	1
Impurezas	No se detectan (2<%)	3
	Pocos (2-10%)	2
	Presencia muy evidente (>10%)	1
CALIDAD Muy buena>13; Buena:13-10; Regular: 9-6; Baja < 6		

### Parámetros Químicos

Se realizó un análisis químico de los siguientes parámetros: % MO, % N<sub>t</sub>, % P<sub>t</sub>, % K y C/N al inicio y a final del proceso de compostaje y se envió al Laboratorio de Suelos y Aguas de la UMSS.

### **Parámetros Biológicos**

Para evaluar la madurez del compost se realizó un test de tipo biológico, en bioensayo de cebada, con el fin de evidenciar la presencia de posibles compuestos fitotóxicos en el compost. Para ello se tomó una muestra homogénea del compost procesado de cada tratamiento y se realizó un ensayo con tres repeticiones.

El ensayo consistió en colocar en macetas los diferentes sustratos de compost puro de cada tratamiento y 10 semillas de cebada, luego se humedeció con agua de pozo y se dejó a temperatura ambiente del vivero.

Las variables agronómicas evaluadas fueron: % de emergencia, altura de planta, longitud de raíz y síntomas por carencia de nutrientes.

### **Etapas 4: Análisis económico**

Se realizó un análisis de costos incrementales para identificar los tratamientos que presentaron las mejores alternativas económicas. Los costos incrementales calculados fueron: costos de insumos, preparación de insumos y mano de obra.

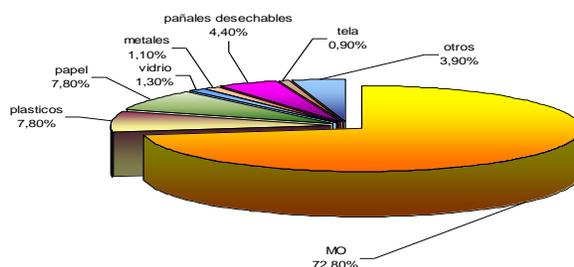
Luego se calculó el beneficio bruto (BB) y el beneficio neto (BN<sub>i</sub>), considerando los costos incrementales únicamente. Finalmente se graficó los BN<sub>i</sub> en función de los costos que varían.

## **3 Resultados y discusión**

### **3.1 Diagnóstico de la generación de los RO en el Municipio de Quillacollo**

#### **Resultados de la entrevista estructurada**

El Municipio de Quillacollo genera al día 60 t de RS, cuya composición se muestra en la Figura 1:. El porcentaje de generación de RO en el Municipio es elevado (72,8%), lo que sugiere alternativas de tratamiento para transformar los mismos y convertirlos en un recurso útil como mejoradores del suelo a través del proceso de compostaje y reducir más del 70% de los RS que son depositados en el vertedero de K´ara Marka.



**Figura 1:** Composición de RSU del Municipio de Quillacollo (EMAUC, 2005).

La Tabla 2: muestra los resultados del diagnóstico de la generación de RO en el Municipio:

**Tabla 2:** Resultados del diagnóstico de la generación de RO.

Diagnóstico	Resultados	Rendimiento m <sup>3</sup> día <sup>-1</sup>
Lugares o fuentes de mayor generación de RO	Cementerio	1 – 1,5
	Floristas	1
	Mercado 9 de Diciembre.	16
	Mercado Central	4 - 5
	Lugares gastronómicos	1 – 1,5
	Residuos domiciliarios	58 t d <sup>-1</sup>
Recolección y separación de los residuos sólidos	El 1 <sup>er</sup> sistema de recolección carro basurero, 2 <sup>do</sup> cochecito de mano, 3 <sup>er</sup> camioneta de estacas, 4 <sup>to</sup> lugares de acopio. No se realiza una separación de los RS.	
Tratamiento de los residuos sólidos	Los RS son depositados en el Vertedero de K`ara Marka, vertidos en fosas, cubiertos con tierra. Los lixiviados son conducidos a piscinas de evaporación y los gases son controlados por chimeneas.	

### Resultados de la observación directa

La observación directa aplicada a las fuentes de generación presentó los resultados que se muestran en la Tabla 3:

**Tabla 3:** Resultados de la observación directa.

Fuentes de generación	Cantidad de RS generado [m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ]	% RO	% RI	Total
Mercado 9 de Diciembre				
días de feria	14 -16	65 %	35 %	100 %
Mercado Central				
días de feria	5 – 6	45 %	55 %	100 %
días particulares	3 – 4	40 %	60 %	100 %
Cementerio	0,5 - 1	95 %	5 %	100 %

En el cuadro 3 se puede observar que en el mercado 9 de Diciembre se genera la mayor cantidad de RS, de los cuales el 65 % corresponde a la fracción orgánica y un 35 % a los residuos inorgánicos, sin embargo en el mercado Central la generación de RS es inferior y existe mayor predominio de RI. En el caso del Cementerio de Quillacollo, la generación de RS oscila entre el 0,5 y 1 m<sup>3</sup>, cantidad aún pequeña. Sin embargo, el 95 % de RO podría ser transformado en compost.

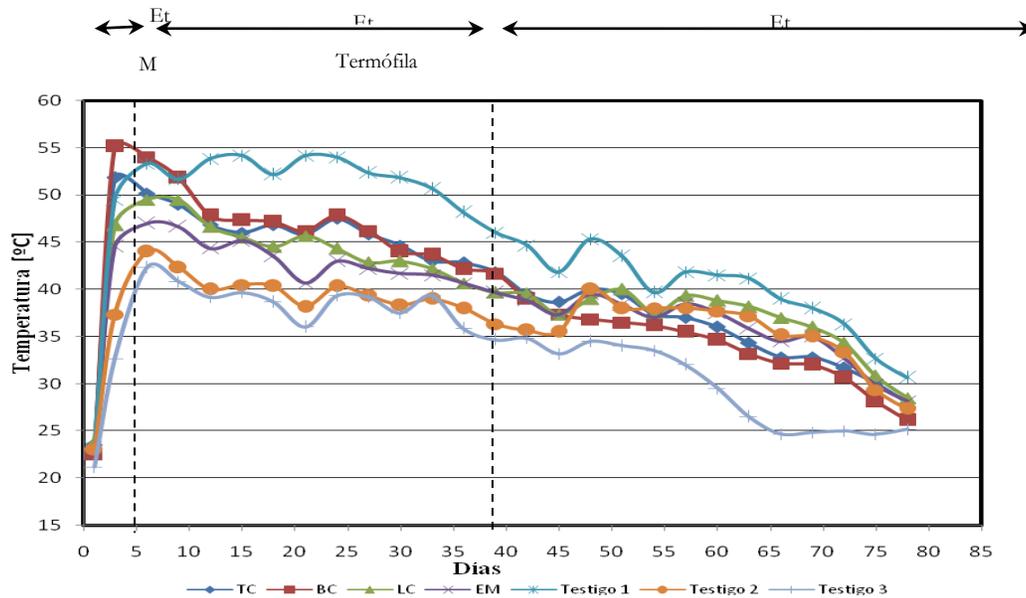
A través de la observación directa las fuentes o lugares que se identificaron de donde procederían los RO para ser tratados a nivel experimental fueron: el mercado 9 de Diciembre (65 %) y el Cementerio (95%) por ser fuentes de elevado porcentaje y volumen de RO.

### 3.2 Evaluación y análisis de la eficiencia del proceso de compostaje

#### Durante el proceso de compostaje

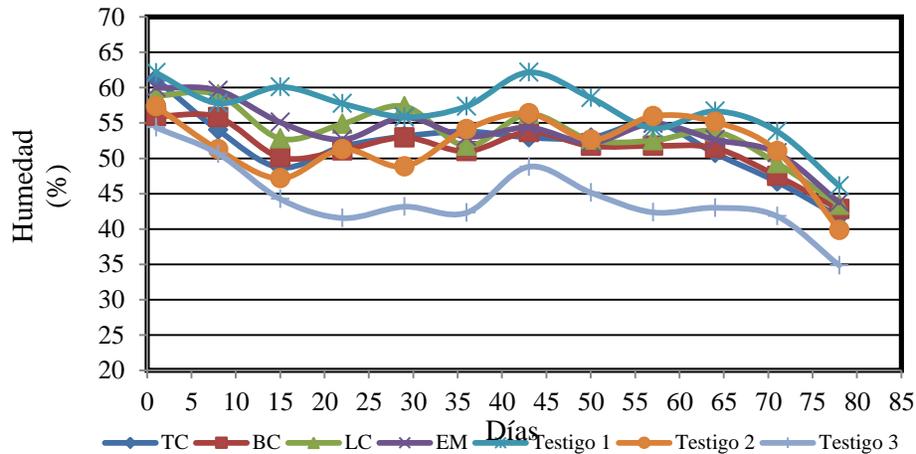
La temperatura registrada en los diferentes tratamientos, presentó las variaciones que se observan en la figura 2. En general, el periodo mesófilo duró tres días, el termófilo 30 días y el enfriamiento 45 días, siendo en total de 78 días (2,5 meses).

La temperatura inicial fue similar entre todos los tratamientos oscilando alrededor de los 23 °C. Al tercer día se observó un incremento de las temperaturas, alcanzando los tratamientos T2 (activador BC) y T1 (activador TC) sus máximas temperaturas de 55 y 51 °C. Luego, al sexto día los tratamientos T3 (activador LC), T4 (microorganismos efectivos), T6 (Testigo 2) y T7 (Testigo 3) registraron sus máximas temperaturas de 50 °C, 47 °C, 44 °C y 43 °C respectivamente y al doceavo día el tratamiento T5 (Testigo 1) registró también su máxima temperatura con 54 °C. Luego de registrarse las máximas temperaturas, estos fueron disminuyendo paulatinamente a excepción del tratamiento T5 (Testigo 1), el cual registró temperaturas superiores a los 50 °C durante todo el periodo termófilo. A los 78 días, la temperatura de los diferentes tratamientos descendió hasta alcanzar temperaturas próximas a las del ambiente.



**Figura 2:** Variación de la temperatura en el proceso de compostaje de siete tratamientos.

La humedad registrada en el proceso de compostaje (78 días) mostró el comportamiento observado en la figura 3:



**Figura 3:** Humedad de las pilas de compostaje por tratamiento y días de evaluación.

Durante todo el proceso de compostaje se registró una humedad elevada en los diferentes tratamientos oscilando entre los 46 y 62 por ciento (excepto el

tratamiento T7), hasta los 63 días. A partir de esa fecha se observó un descenso de humedad en todos los casos.

### 3.3 Compost procesado

#### Volumen del compost

La Tabla 4: presenta el volumen inicial y final del compost obtenido. Es importante resaltar que el tratamiento T1 (activador TC), logró reducir un 84 % de volumen inicial, restando un 16 % para posterior reutilización y además de superar el 50 % de volumen descompuesto al igual que el tratamiento T5 (Testigo 1). Los testigos T2 (activador BC) y T7 (Testigo 3) presentaron los menores volúmenes de compost descompuesto.

**Tabla 4:** Volumen inicial y final de la pila de compostaje por tratamiento.

Tratamientos	Volumen Inicial ----m <sup>3</sup> ----	Volumen Final				
		Descompuesto		No descompuesto		pérdida
		----m <sup>3</sup> ----	----%----	----m <sup>3</sup> ----	----%----	----%----
TC	2,71	1,56	57	0,43	16	27
BC	2,71	1,15	42	0,86	32	26
LC	2,40	1,13	47	0,98	41	12
EM	2,40	1,06	44	0,77	32	24
Testigo 1	2,66	1,39	52	0,94	35	13
Testigo 2	2,35	1,03	44	0,82	35	21
Testigo 3	2,35	0,98	42	0,86	37	21

#### Parámetros físicos del compost

La Tabla 5: muestra las características físicas del compost procesado:

**Tabla 5:** Características físicas del compost.

Tratamiento	Variables físicas del compost									$\Sigma$
	Color		Olor		Humedad		Degradación		Impurezas	
TC	2	b	3	a	2,7	a	3,0	a	1	11,7
BC	2	b	3	a	3,0	a	2,3	b	1	11,3
LC	2	b	2	b	3,0	a	3,0	a	1	11
EM	2	b	2	b	3,0	a	2,0	b	1	10
Testigo1	3	a	3	a	2,7	a	3,0	a	1	12,7
Testigo 2	2	b	2	b	2,7	a	2,0	b	1	9,7
Testigo 3	2	b	2	b	2,7	a	2,0	b	1	9,7

**CALIDAD** Muy buena >13; Buena: 13-10; Regular: 9-6; Baja < 6

\* Color: Marrón oscuro: 3; Marrón claro: 2; original: 1

\* Olor: Tierra vegetal: 3; Neutro: 2; desagradable: 1

\* Humedad: Baja: 3; Media: 2; original: 1

\* Degradación: alta: 3; Intermedio: 2; original: 1

\* Impurezas: No se detectan (2<%) : 3; Pocos (2-10%): 2; Presencia muy evidente (>10%): 1

Respecto al color del compost, el tratamiento T5 (Testigo 1) presentó un color marrón, a diferencia del resto de los tratamientos, posiblemente debido al contenido de estiércol de vaca. En cuanto al olor, los tratamientos T1 (activador TC), T2 (activador BC) y T5 (Testigo 1) presentaron un olor a tierra vegetal, mientras que los tratamientos T3 (activador LC), T4 (microorganismos efectivos), T6 (Testigo 2) y T7 (Testigo 3) presentaron un olor neutro. La humedad del compost en todos los tratamientos fue baja. Al respecto Jiménez (1998), señala que una humedad baja en el producto de compost no solo es un indicador de un buen proceso de compostaje, sino que evita el transporte de agua y facilita el proceso de tamizado. En relación a la degradación del compost, los tratamientos T1 (activador TC), T3 (activador LC) y T5 (Testigo 1) alcanzaron un alto grado de descomposición, a diferencia de los tratamientos T2 (activador BC), T4 (microorganismos efectivos), T6 (Testigo 2) y T7 (Testigo 3) que presentaron un grado de descomposición intermedio. Respecto a las impurezas presentes en el compost, todos los tratamientos mostraron residuos inorgánicos > 10 %, sobresaliendo entre estos el plástico. Al respecto, Benzing (2001) señala que para producir un compost de buena calidad, los desechos domésticos tienen que separarse en el lugar de origen, ya que la separación en el lugar de destino (área de tratamiento), no solamente es desagradable y nociva para la salud de los trabajadores, sino que en general no permite una selección adecuada.

La sumatoria total de los parámetros físicos del compost procesado indica que los tratamientos T1 (activador TC), T2 (activador BC), T3 (activador LC), T4 (microorganismos efectivos) y T5 (Testigo 1) reúnen las condiciones óptimas de un compost de buena calidad, en cambio los tratamientos T6 (Testigo 2) y T7 (Testigo 3) presentaron un compost de regular calidad.

#### **Parámetros químicos del compost**

La Tabla 6; muestra los resultados del análisis químico del compost, realizado al inicio y al final del proceso de compostaje. Se observa que al inicio del proceso de compostaje, el % de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total y la relación

C/N, presentaron valores menores en todos los tratamientos y que con transcurso del tiempo estos se incrementaron.

Concluido el proceso de compostaje, el % de materia orgánica muestran valores elevados en los tratamientos T1 (activador TC), T2 (activador BC), T3 (activador LC), T4 (microorganismos efectivos) y T5 (Testigo 1), todos aquellos a los que se incorporaron activadores orgánicos y sólo T5 (Testigo 1) se encuentra dentro del rango que propone la FAO y OMS como compost maduro. Respecto al nitrógeno total del compost todos los tratamientos se encuentran dentro del rango de referencia de la FAO y OMS (0,4 – 3,5). En relación a los valores de fósforo total, el 100 % de los tratamientos, se encuentran dentro del rango de un compost de calidad de 0,1 a 1,6 por ciento. Los valores de potasio del compost obtenido, muestran que todos los tratamientos aplicados se encuentran dentro de los rangos normales de un compost maduro (0,4-1,6). Finalmente, la relación C/N de todos los tratamientos aplicados, muestran una relación aceptable, según la OMS y la FAO para clasificarlo como un compost maduro

**Tabla 6:** Relación de tratamientos en sus parámetros químicos del proceso de compostaje.

Tipo de análisis	Tratamientos														Valores de referencia <sup>1</sup>
	TC		BC		LC		EM		Testigo 1		Testigo 2		Testigo 3		
	P <sub>i</sub>	P <sub>f</sub>													
% MO	6,23	18,24	4,68	20,82	3,13	22,32	3,13	17,12	3,13	26,03	7,01	11,91	5,46	10,43	25-50
% Nt	0,196	0,7	0,168	0,77	0,168	0,875	0,210	0,84	0,252	1,155	0,154	0,630	0,154	0,490	0,4-3,5
% Pt	0,081	0,33	0,060	0,283	0,092	0,283	0,103	0,294	0,146	0,33	0,039	0,259	0,018	0,225	0,1-0,6
% K	---	0,65	---	0,75	---	0,81	---	0,65	---	0,78	---	0,45	---	0,65	0,4-1,6
% C/N	16,73	13,7	14,64	14,2	9,82	13,4	7,85	10,7	6,54	11,9	23,96	10	18,63	11,2	10-30

<sup>1</sup>Compost maduro en base a datos de la OMS y la FAO  
Nota: % en peso seco

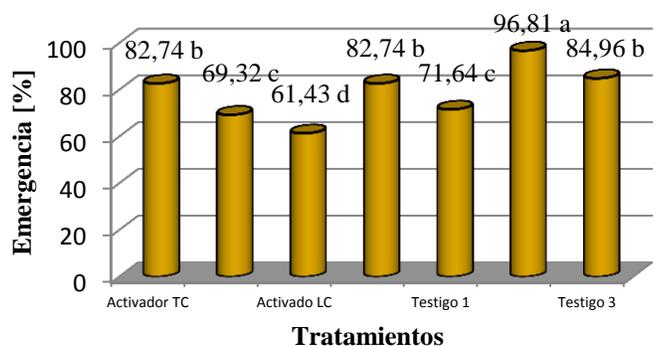
P<sub>i</sub> = Proceso inicial del compostaje  
P<sub>f</sub> = Proceso final del compostaje

### 3.4 Parámetros biológicos del compost

#### Porcentaje de emergencia

Se estimó el porcentaje de emergencia a los 7, 14 y 21 días (ver Fig. 4). El mayor porcentaje de emergencia se obtuvo con el tratamiento T6 (Testigo 2), seguido de los tratamientos T1 (activador TC), T4 (microorganismos efectivos) y T7 (Testigo 3), los mismos que presentaron similar efecto. En el caso de los

tratamientos T2 (activador BC) y T5 (Testigo 1) mostraron valores inferiores frente a los anteriores tratamientos pero sin diferencia significativa entre si y finalmente el tratamiento T3 (activador LC) presentó el menor porcentaje de emergencia.



**Figura 4:** Porcentaje de emergencia de la cebada por tratamiento en macetas.

#### Altura de planta

Al mismo tiempo, se evaluó la altura de planta (ver Fig. 5). Es importante resaltar en la figura 5 que al inicio de la evaluación (7 días), el tratamiento T7 (Testigo 3), alcanzó la máxima altura y en el transcurso del tiempo su crecimiento fue lento, mientras que los tratamientos T1 (activador TC), T2 (activador BC), T3 (activador LC) y T4 (microorganismos efectivos), al inicio registraron alturas bajas y en la segunda (14 días) y tercera evaluación (21 días) mostraron un crecimiento vertiginoso. Por lo anterior se puede inferir que los tratamientos que contenían activadores orgánicos y suplementos contribuyeron al incremento de nutrientes en el compost, a partir del 7mo día después de la siembra. Al respecto, Hernández y Terron (1992) indican que los principales factores que influyen en la velocidad de crecimiento de la planta son: la temperatura, el fotoperiodo, la luz, el CO<sub>2</sub>, los nutrientes y el agua. En el caso de la cebada el principal factor que influye para su normal crecimiento es la disponibilidad de nutrientes ya que ésta gramínea es resistente a las sequías.

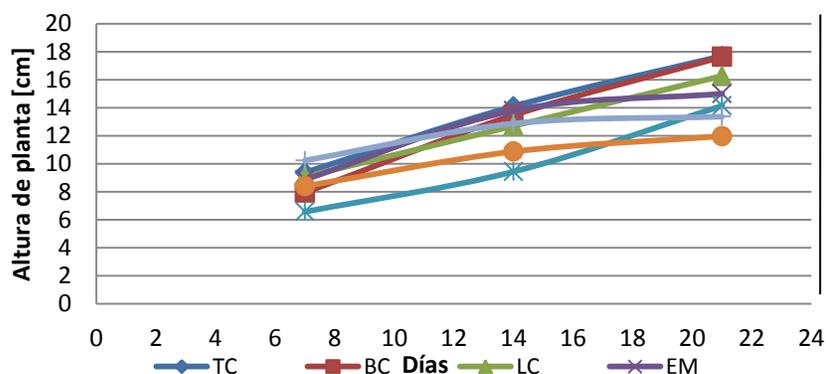


Figura 5: Efecto de siete tratamientos sobre la altura de la planta de cebada.

### Longitud de raíz

La figura 6 muestra diferencias radiculares por el efecto de los tratamientos aplicados. El tratamiento que presentó mayor longitud radicular fue T7 (Testigo 3), seguido de los tratamientos T6 (Testigo 2), T4 (microorganismos efectivos), T1 (activador TC) y T3 (activador LC), presentado longitudes intermedias con similar efecto. Los tratamientos T2 (activador BC) y T5 (Testigo 1), presentaron menor longitud de raíz.

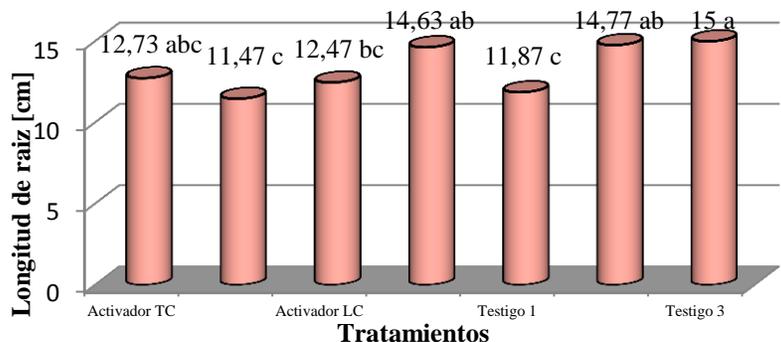
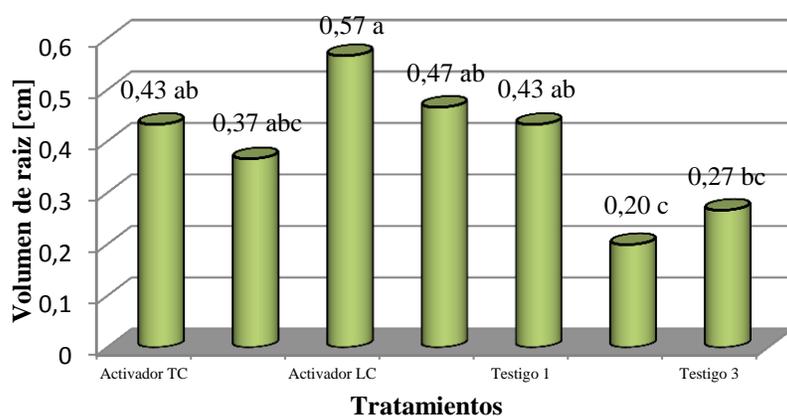


Figura 6: Efecto de siete tratamientos de compost sobre la longitud de raíz en las plantas de cebada.

### Volumen de raíz

La figura 7 muestra diferencias marcadas, por el efecto de los diferentes tratamientos en el volumen de raíz de la cebada. El tratamiento T3 (activador LC) registró el mayor volumen radicular, presentando similar efecto los tratamientos T1 (activador TC), T2 (activador BC), T4 (microorganismos efectivos), T5 (Testigo 1). Finalmente los tratamientos T7 (Testigo 3) y T6 (Testigo 2), que no contenían

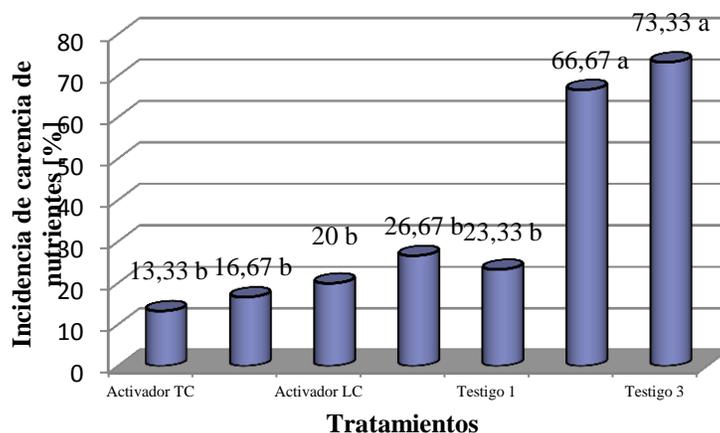
suplemento alguno presentaron menores volúmenes radiculares. Hernández y Terron (1992) indican que los suelos permeables y pobres en nutrientes a menudo presentan cultivos con un sistema radicular poco denso.



**Figura 7:** Efecto de siete tratamientos sobre el volumen de raíz en la planta de cebada

### Síntomas por carencia de nutrientes

Se evaluó a través de la incidencia de la carencia de nutrientes en la cebada por el efecto de los diferentes tratamientos (ver Fig. 8). Los tratamientos T7 (Testigo 3) y T6 (Testigo 2) fueron afectados por la carencia de nutrientes entre el 65 y 75%, sin diferencia significativas entre sí. Los demás tratamientos a los que se incorporaron los activadores orgánicos y suplementos presentan carencia de nutrientes inferior al 30 %, debido a que estos contenían mayor cantidad de nutrientes los que ha favorecido al normal desarrollo de la planta.



**Figura 8:** Efecto de siete tratamientos sobre la incidencia de carencia de nutrientes en la cebada.

### 3.5 Análisis económico

#### Producción de compost de residuos orgánicos urbanos sin separación en el lugar de origen

Los costos de producción fueron estimados a través de las siguientes variables (Tabla 7):

- Costo de insumos de producción para cada tratamiento.
- Costo de mano de obra (preparación de activadores orgánicos, separación de los RO).

**Tabla 7:** Costos variables en la aplicación de diferentes activadores orgánicos en el proceso de compostaje de residuos orgánicos urbanos sin separación en el origen.

Costos Variables	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Costo de insumos aplicados, Bs	48,2	186,5	71,0	347,0	136,0	16,0	0,0
Costo mano de obra, Bs							
Preparación activadores orgánicos	17,5	10,5	0,0	10,5	0,0	0,0	0,0
Separación de residuos orgánicos	140,0	175,0	105,0	140,0	140,0	105,0	105,0
<b>Costo total [Bs]</b>	<b>205,7</b>	<b>372,0</b>	<b>176,0</b>	<b>497,5</b>	<b>276,0</b>	<b>121,0</b>	<b>105,0</b>

T1: *activador TC*, T2: *activador BC*, T3: *activador LC*, T4: *microorganismos efectivos*, T5: Testigo 1, T6: Testigo 2 y T7: testigo 3

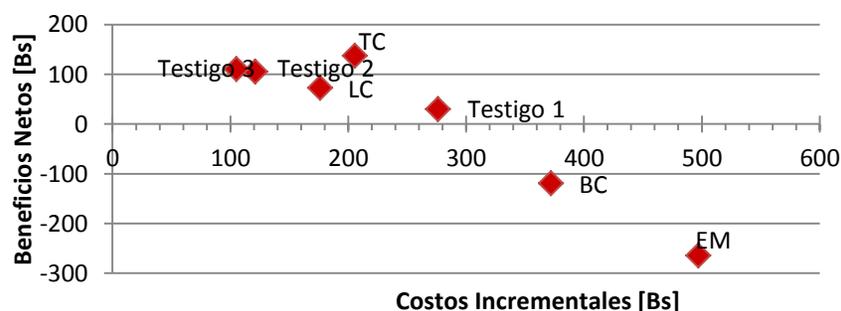
La Tabla 7: muestra el beneficio neto calculado:

**Tabla 8:** Beneficios económicos por la aplicación de diferentes activadores orgánicos en el proceso de compostaje de residuos orgánicos urbanos sin separación en el origen.

Beneficio neto	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Volumen del compost, m <sup>3</sup>	1,56	1,15	1,13	1,06	1,39	1,03	0,98
Precio del compost mercado, Bs m <sup>-3</sup>	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00
Beneficio bruto, Bs	343,20	253,00	248,60	233,20	305,80	226,60	215,60
Costos incrementales, Bs	205,70	372,00	176,00	497,50	276,00	121,00	105,00
BN <sub>i</sub> [Bs]	137,50	-119,00	72,60	-264,30	29,80	105,60	110,60

T1: activador TC, T2: activador BC, T3: activador LC, T4: microorganismos efectivos, T5: Testigo 1, T6: Testigo 2 y T7: testigo 3

A continuación se muestra la curva de beneficios netos en función de los costos incrementales del compost obtenido:



**Figura 9:** Curva de beneficios netos y costos incrementales del compost obtenido.

Los tratamientos T4 (microorganismos efectivos) y T2 (activador BC) presentan los mayores costos incrementales y al mismo tiempo presentaron beneficios netos negativos, haciéndolos no viables económicamente. En cambio los tratamientos T6 (Testigo 2) y T7 (Testigo 3) presentaron los costos incrementales más bajos, sin embargo el tratamiento T1 (activador TC) presentó el mayor beneficio neto con 137,5 Bs.

### Producción de compost de residuos orgánicos urbanos con separación en el lugar de origen.

Para el análisis económico no se tomó en cuenta los costos asociados de la separación de los RO e inorgánicos. El cuadro 9 presenta los beneficios por la aplicación de activadores orgánicos en la producción de compost de residuos urbanos con separación en el origen.

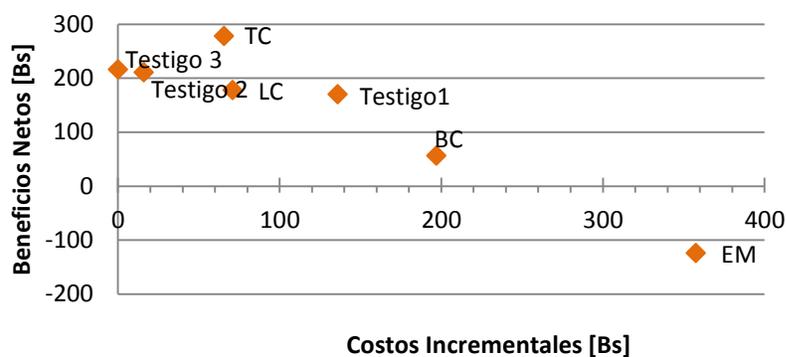
**Tabla 9:** Beneficios por la aplicación de diferentes activadores orgánicos en la producción de compost de residuos orgánicos urbanos con separación en el origen

Beneficio neto	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Volumen del compost, m <sup>3</sup>	1,56	1,15	1,13	1,06	1,39	1,03	0,98
Precio del compost mercado, Bs m <sup>-3</sup>	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00
Beneficio bruto, Bs	343,20	253,00	248,60	233,20	305,80	226,60	215,60
Costos incrementales, Bs	65,70	197,00	71,00	357,50	136,00	16,00	0,00
BN <sub>i</sub> [Bs]	277,50	56,00	177,60	-124,30	169,80	210,60	215,60

T1: activador TC, T2: activador BC, T3: activador LC, T4: microorganismos efectivos, T5: Testigo 1, T6: Testigo 2 y T7: testigo 3

A diferencia de la Tabla 8; en la Tabla 9: se puede observar una disminución considerable en cuanto a los costos incrementales de la producción de compost, ello se debe a que los residuos orgánicos ya serían separados en el lugar de origen, reduciendo así costos de la mano de obra que se requeriría para separarlos.

La figura 10 presenta la curva de beneficios netos vs costos incrementales de la producción de compost con separación en el lugar de origen.

**Figura 10:** Curva de beneficios y costos incrementales del compost obtenido de los ROU.

Como se puede observar en la figura 10, todos los tratamientos incrementaron sus beneficios netos, al reducirse el costo de la mano de obra (separación de los residuos orgánicos). Sin embargo el tratamiento T4 (microorganismos efectivos) continúa presentando altos costos incrementales y beneficios netos negativos. Los demás tratamientos presentaron beneficios netos positivos, donde el tratamiento T1 (activador TC) alcanzó el mayor beneficio neto, llegando a incrementarse en un 100% respecto al análisis económico anterior. Los tratamientos T7 (Testigo 3), T6

(Testigo 2), T3 (activador LC), T5 (testigo 1) y T2 (activador BC) obtuvieron beneficios netos que oscilaron entre los 56 y 215 Bs.

En cuanto a la viabilidad económica del compostaje de residuos orgánicos urbanos, Atlas y Bartha (2002), señalan que a menudo éste es juzgado por el valor de venta de compost producido. Sin embargo el principal objetivo de la producción de compost de residuos orgánicos urbanos es eliminar residuos nocivos de la forma más aceptable desde el punto vista ambiental. Si bien los costos de funcionamiento de los vertederos puede llegar hacer menores que el de la producción de compost, los costos ambientales a largo plazo en términos de contaminación de las aguas subterráneas, aconsejan elaborar compost a partir de los residuos orgánicos urbanos. Entonces el análisis económico para la producción de compost, a partir de residuos orgánicos urbanos, indica que si bien los costos de producción se incrementan al incorporar activadores orgánicos al proceso de compostaje, los beneficios netos son significativos por los altos rendimientos alcanzados, incrementándose éstos en un 100% si la separación se la realizara en el lugar de origen.

## Bibliografía

- [1] Acurio, G., A. Rossin, P. Teixeira, y F. Zepeda. 1997. *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. En: <http://www.iadb.org>
- [2] AOPEB. 1998. *Abonos Orgánicos*. Cartilla N° 4. La Paz, Bolivia.
- [3] Atlas, M. y R. Bartha. 2002. *Ecología microbiana y microbiología Ambiental*. Ed. Pearson Educación. S.A. Madrid, España.
- [4] Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 1997. *Guía para la evaluación de impacto ambiental para proyectos de residuos sólidos municipales*. En <http://www.iadb.org/sds/doc/ENVRes-SolidosS.pdf>
- [5] Bellota, J. 2006 *Curso producción y uso de abono orgánico*. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- [6] Benzing. A. 2001. *Agricultura orgánica: Fundamentos para la región andina*. Ed. Neckar – Vierlang. Berlin, Alemania.
- [7] Bolivia. 1992. Ley 1333. *Ley de Medio Ambiente. Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos*. En [http://www.redesma.org/docs\\_portal/leyes/reglamento\\_residuos\\_solidos.pdf](http://www.redesma.org/docs_portal/leyes/reglamento_residuos_solidos.pdf).
- [8] Chura, S. J. 1997. *Compost para desinfectar y mejorar la fertilidad del suelo de las camas protegidas para la producción de tubérculos – semillas de papa*. Tesis de Ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria. Cochabamba, Bolivia.

- [9] Empresa Municipal de Aseo Urbano de Quillacollo (EMAUQ). 2005. Estudio de *caracterización de residuos sólidos en el Municipio de Quillacollo*.
- [10] Garvizú, M. L. 1978. *Activadores bacterianos en la elaboración de compost y su efecto sobre el rendimiento del maíz*. Tesis de Ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria. Cochabamba, Bolivia.
- [11] Gremion, B. 1996. Proyecto piloto de elaboración de compost a partir de la basura orgánica de la ciudad de Potosí. Potosí, Bolivia.
- [12] Herbas, F. J. 2005. Elaboración de compost por los métodos Indore y bocashi en la comunidad de "Millu Mayu" *Municipio de Tiraque*. Trabajo Dirigido para Obtener el Título de Ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria. Cochabamba, Bolivia.
- [13] HONORABLE ALCALDÍA MUNICIPAL DE QUILLACOLLO. 2006. *Plan de Desarrollo Municipal*. 1<sup>ra</sup> Sección de la Provincia de Quillacollo. Cochabamba, Bolivia.
- [14] IBTA (Instituto de Tecnología Agropecuaria). 1995. Revisión de métodos para el análisis económico en el cultivo de la papa. Programa de investigación de la papa PROINPA. Convenio IBTA-CIP-COTESU. Documento de trabajo 9/95, Ed. Gram. Thiele. Cochabamba, Bolivia.
- [15] Jiménez, D. M. 1998. *Normas de calidad del compost*. Tesis de Ing. Agr. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Córdoba, España.
- [16] Kiely, G. 1999. *Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Ed. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA. Madrid, España.
- [17] Labrador, J. 2001. *La materia orgánica en los agrosistemas*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- [18] Ortuño, F., J. Franco y J. Herbas. 2002. *Producción sostenible de la papa en áreas urbanas y peri-urbanas de los Andes por la combinación de biocompostamiento e inoculantes microbiales*. Cochabamba, Bolivia.
- [19] Ortuño, N. 2005. *Experiencias y apuntes del proceso de compostaje*. Doc. Interno PROINPA. Cochabamba, Bolivia.
- [20] Plaster, E. 2000. *La ciencia del suelo y su manejo*. Ed. Paraninfo. Madrid, España.
- [21] Restrepo, R. J. 2001. *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica.
- [22] Salisbury, F. y C. Ross 2000. *Fisiología de plantas*. Thomson Editores Spain. Madrid, España.