

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**  
**GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**



**“Evolución de las variables físico-químicas y  
nutricionales de subproductos de la industria  
agroalimentaria para alimentación animal a lo largo  
del proceso de ensilado”**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Julio-2017**

Autor: Ana M<sup>a</sup> Ferrero Borrell

Tutor/es: Gema Romero Moraleda

Paula Monllor Guerra



## GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Título: Evolución de las variables físico-químicas y nutricionales de subproductos de la industria agroalimentaria para alimentación animal a lo largo del proceso de ensilado.

Title: Evolution of the physico-chemical and nutritional variables of the by-products of the agrofood industry for animal feed throughout the silage process.

Palabras clave (5 palabras): rumiante, subproducto, brócoli, ensilado, alcachofa.

Key words (5 words): ruminant, agro-product, broccoli, ensilage, artichoke.

RESUMEN (mínimo 10 líneas):

En este trabajo, se estudia la evolución a lo largo del proceso de ensilado de tres subproductos de la industria agroalimentaria: brócoli, planta de alcachofa y brácteas de alcachofa, desde la materia fresca obtenida en planta o en campo, hasta los 200 días de ensilado. Las variables analizadas comprenden tanto propiedades físico-químicas (pH, materia seca y la actividad de agua), como composición nutricional desde el punto de vista de la alimentación animal (cenizas, proteína bruta, nitrógeno amoniacal, grasa bruta, fibra bruta, azúcares totales, materia orgánica, fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, lignina, polifenoles totales y digestibilidad aparente *in vitro* de materia seca) y microbiología (bacterias lácticas, aerobios mesófilos, enterobacterias, levaduras y mohos). Como conclusión se obtiene que es un sistema viable para la conservación de alimentos, destinados a la alimentación animal.

ABSTRACT (10 lines or more):

In this work, we study the evolution along the silage process of three agrofood industry by – products: broccoli, artichoke plant and artichoke bracts, from the crude matter obtained in plant or field up to 200 days of silage. The analyzed variables include both physical and chemical properties (pH, dry matter and water activity) and nutritional composition for animal feed (ash, crude protein, ammoniacal nitrogen, crude fat, crude fiber, total sugars, organic matter, neutral detergent fiber, lignin fiber, total polyphenols and apparent *in vitro* dry matter digestibility) and microbiology (lactic bacteria, mesophilic aerobes, enterobacteria, yeasts and molds). In conclusion, silage is of agrofood by – products a viable system for the conservation of animal feed.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Alimentos para rumiantes y su composición.....	8
1.2 Subproductos de la industria agroalimentaria.....	15
1.3 El ensilado como método de conservación.....	23
2. OBJETIVOS.....	26
3. MATERIALES Y MÉTODO.....	27
3.1 Diseño experimental.....	27
3.2 Variables analizadas.....	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 Propiedades físicas.....	35
4.2 Microbiología.....	37
4.3 Variables nutricionales.....	41
5. CONCLUSIONES.....	51
6. BIBLIOGRAFÍA.....	52

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Clasificaión de forrajes.....	8
Tabla 2: Composición nutricional de algunas pasturas frescas.....	9
Tabla 3: Composición nutricional de algunos conservados.....	10
Tabla 4: Composición nutricional de algunas pajas, rastrojos y diferidos.....	11
Tabla 5: Clasificación de los concentrados.....	11
Tabla 6: Clasificación de los subproductos de la agroindustria.....	13
Tabla 7: Valor nutritivo de algunos subproductos.....	21
Tabla 8: Composición nutricional de los subproductos ensilados.....	22
Tabla 9: Días de muestreo, variables analizadas y estado de la muestra para su correspondiente análisis.....	28
Tabla 10: Valores de los estadísticos F y P de los factores considerados en el análisis estadístico de las variables analizadas.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1: Producción total de hortalizas en España en 2012.....	16
Figura 2: Principales hortalizas destinadas al consumo animal .....	17
Figura 3: Producción total de hortalizas en el sureste de España.....	17
Figura 4: Principales cultivos de hortalizas en la provincia de Alicante.....	18
Figura 5: Principales cultivos de hortalizas en la provincia de Murcia.....	19
Figura 6: Principales cultivos de hortalizas en la provincia de Almería .....	19
Figura 7: Evolución de distintos parámetros químico-nutritivos a lo largo del proceso de ensilaje .....	24
Figura 8: Imágenes de los 3 silos del trabajo.....	27
Figura 9: Esquema del muestreo .....	29
Figura 10: Utensilio toma-muestra del silo .....	29
Figura 11: Placas Petrifilm <sup>TM</sup> con colonias de enterobacterias .....	30
Figura 12: Placas Petrifilm <sup>TM</sup> con colonias de aerobios mesófilos.....	30
Figura 13: Evolución del pH en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.....	35
Figura 14: Evolución de la aW en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.....	36
Figura 15: Evolución de la materia seca en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa .....	36
Figura 16: Evolución de las poblaciones de enterobacterias en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa .....	37
Figura 17: Evolución de las poblaciones de aerobios mesófilos en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa .....	38
Figura 18: Evolución de las poblaciones de bacterias lácticas en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa .....	39
Figura 19: Evolución de las poblaciones de levaduras en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa .....	40
Figura 20: Evolución de las poblaciones de mohos en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa .....	40
Figura 21: Evolución de las cenizas en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	41
Figura 22: Evolución de la materia orgánica en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	42

Figura 23: Evolución de la grasa bruta en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	42
Figura 24: Evolución de la fibra bruta en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	43
Figura 25: Evolución de la fibra neutro detergente en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	44
Figura 26: Evolución de la fibra ácido detergente en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	45
Figura 27: Evolución de lignina en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	45
Figura 28: Evolución de la hemicelulosa en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	46
Figura 29: Evolución de la celulosa en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	47
Figura 30: Evolución de polifenoles en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	47
Figura 31: Evolución de la proteína bruta en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	48
Figura 32: Evolución del NH <sub>3</sub> en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	49
Figura 33: Evolución de los azúcares en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	49
Figura 34: Evolución de la digestibilidad ruminal in vitro en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa. ....	50

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ALIMENTOS PARA RUMIANTES Y SU COMPOSICIÓN.

Un alimento es un componente de la ración que aporta uno o varios nutrientes y también pueden proporcionar propiedades relacionadas con la aceptabilidad sin servir estrictamente como fuente de nutrientes.

Los alimentos más comunes para los rumiantes, se clasifican en 3 grandes grupos (Parsi *et al.*, 2001): Forrajes (Tabla 1), concentrados (Tabla 5) y subproductos agroindustriales (Tabla 6).

### 1.1.A. FORRAJES

Se denomina forrajes a los productos de origen vegetal (llamados también voluminosos o groseros) porque tienen bajo peso por unidad de volumen, teniendo gran variabilidad físico-química. La mayoría de los forrajes de la Tabla 1, incluidos en esta categoría, tienen alto contenido de fibra bruta, más del 18 %. El contenido proteico, mineral y vitamínico es variable entre especies.

Tabla 1. Clasificación de los forrajes

<b>Forrajes</b>	<b>Pasturas Frescas</b>	<b>Pasturas perennes</b>	<b>Gramíneas</b>	<b>C3</b>
				<b>C4</b>
		<b>Anuales</b>	<b>Leguminosas</b>	<b>Templadas</b>
				<b>Tropicales</b>
	<b>Conservados</b>	<b>Gramíneas</b>		
		<b>Leguminosas</b>		
		<b>Henos</b>		
	<b>Rastrojos</b>	<b>Silajes</b>		
		<b>Henolajes</b>		
	<b>Diferidos</b>			

C3: Gramíneas que crecen en primavera y otoño, C4: Gramíneas que crecen en verano.

Fuente: Parsi *et al.* (2001).

Desde el punto de vista de la calidad pueden abarcar una amplia fuente de nutrientes. Así las gramíneas aportan energía y fibra, las leguminosas jóvenes y ensilajes de alta calidad pueden aportar proteína y fibras digestibles, a diferencia del escaso valor nutritivo de las pajas o rastrojos.

- **PASTURAS FRESCAS:**

Son el alimento natural de los herbívoros en pastoreo, base de la ganadería de nuestro país, se caracterizan por tener alta cantidad de proteína bruta, y también alto % de digestibilidad, como se indica en la Tabla 2.

Se dividen en especies naturales y cultivadas, anuales y perennes, siendo las familias más importantes: gramíneas y leguminosas.

Las gramíneas (5.000 especies) se dividen en gramíneas de clima templado cuya estación de crecimiento es en primavera y otoño (C3) como el trigo, arroz, cebada, avena, entre otras y las de clima cálido que crecen activamente en el verano (C4) como el maíz, sorgo, mijo, pasto llorón, entre otras.

Las leguminosas también son muy utilizadas para el pastoreo, siendo la alfalfa la más utilizada, aportando fibra altamente lignificada, especialmente en los tallos.

Tabla 2. Composición nutricional de algunas pasturas frescas

<b>Alimento</b>	<b>MS</b>	<b>PB</b>	<b>Dig</b>	<b>EM</b>	<b>Ca</b>	<b>P</b>
<b>Alfalfa</b>	20,9	21,2	62,5	2,25	2,26	0,35
<b>Festuca</b>	2,0	17,6	68,6	2,47	0,76	0,48
<b>Sorgo</b>	28,3	11,9	64,0	2,31	0,43	0,17
<b>Maíz</b>	31,0	9,8	62,6	2,26	0,33	0,14
<b>Pasto Llorón</b>	28,0	10,6	62,0	2,24	0,27	0,24

MS: materia seca %, PB: proteína bruta % MS, Dig: digestibilidad % MS, EM: energía metabolizable (Mcal/kg MS), Ca: calcio % MS, P: fósforo % MS.

Fuente: Parsi *et al.* (2001).

- **CONSERVADOS**

Los forrajes pueden ser sometidos a procesos para facilitar su conservación en el tiempo y de este modo tener disponibilidad de los alimentos fuera de la estación productiva.

Se clasifican en dos grupos:

Los henos, son los forrajes deshidratados naturalmente (curado al sol) o en forma artificial para lograr su conservación, ya que al reducir la actividad de agua se inhibe el crecimiento bacteriano, sus reacciones de putrefacción, etc y pueden ser usados en momentos de escasez de alimento.

El ensilaje, es el material producido por una fermentación anaeróbica controlada con elevado porcentaje de humedad. Durante el ensilaje, hay producción de ácidos orgánicos, especialmente el ácido láctico, por bacterias que crecen en medio anaeróbico.

Debido al distinto proceso, por ejemplo hay más materia seca en los henos, y proteína bruta sobretodo en la alfalfa de los henos, ya que esto variara según las características del producto.

En la Tabla 3 se muestra información sobre la composición nutricional de vegetales conservados de uso frecuente en alimentación animal.

Tabla 3. Composición nutricional de algunos conservados

Alimento	MS	PB	Dig	EM	Ca	P
<b>Henos</b>						
<b>Alfalfa</b>	85,1	16,2	57,1	2,06	1,40	0,19
<b>Silaje</b>						
<b>Maíz</b>	27,9	8,4	68,2	2,46	0,28	0,21
<b>Sorgo</b>	29,4	7,3	56,3	2,03	0,25	0,1

MS: materia seca %, PB: proteína bruta % MS, Dig: digestibilidad % MS, EM: energía metabolizante (Mcal/kg MS), Ca: calcio % MS, P: fósforo % MS.

Fuente: Parsi *et al.* (2001).

- PAJAS, RASTROJOS Y DIFERIDOS

Son el resto de la planta madura tras haber realizado el proceso de la cosecha del grano.

Se caracterizan por poseer bajos % PB, tienen baja digestibilidad. Habiendo estado expuestos en forma continua a la acción del sol y las lluvias, el producto resultante posee escaso valor energético, mineral y vitamínico como se observa en la Tabla 4, tienen mucha fibra indigestible por lo que no se absorben los nutrientes del interior. Entre otras encontramos las pasturas diferidas que son las que completan su ciclo sin haber sido aprovechadas, por lo que se usan en períodos de escasez de forraje y

poseen unas características similares a los rastrojos, como bajo porcentaje de proteína bruta.

Tabla 4. Composición nutricional de algunas pajas, rastrojos y diferidos

Alimento	MS	PB	Dig.	EM	Ca	P
<b>Paja de Trigo</b>	90,1	3,6	44,1	1,59	0,17	0,08
<b>Rastrojo de Maíz</b>	85,0	6,6	44,9	1,62	0,57	0,10
<b>Rastrojo de Soja</b>	88,9	4,8	41,7	1,50	0,82	0,18
<b>Diferido de P. llorón</b>	88,0	4,9	46,0	1,65	0,32	0,19

MS: materia seca %, PB: proteína bruta % MS, Dig: digestibilidad % MS, EM: energía metabolizable (Mcal/kg MS), Ca: calcio % MS, P: fósforo % MS.

Fuente: Parsi *et al.* (2001).

### 1.1.B. CONCENTRADOS

Los concentrados, son los que se adicionan con el fin aumentar el consumo de energía y proteína. Se caracterizan por contener alta concentración energética, como los que se clasifican en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de los concentrados energéticos.

<b>Concentrados</b>	<b>Granos</b>	Cereales
		Oleaginosas
	<b>Grasas y aceites</b>	

Fuente: Parsi *et al.* (2001).

- **GRANOS**

- Granos de cereales: son producidos por las gramíneas. Su contenido en PB es de 8 a 12 %, aunque algunos suelen tener valores mayores. Aportan entre un 2 a un 12% de fibra y su contenido varía entre cereales. (Parsi *et al.*, 2001).

Los principales granos de cereales que se emplean en la alimentación animal son: maíz, trigo, cebada, sorgo, avena y centeno.

- Granos de oleaginosas: Son los granos de los cuales se puede obtener aceite. Como resultado de la molturación de las semillas, se obtienen las tortas, las cuales son ricas en proteínas (FAO, 2010) y (Aceites de semilla, S.A.). Los más comunes son entre otros son:

- Soja: Se puede utilizar en la alimentación animal bajo dos formas principales: como semilla integral que es de mayor valor energético, que una vez ya es procesada, como harina (Parsi *et al.*, 2001).
- Semilla de algodón: La semilla de algodón aporta sobre un 20% fibra y proteína. (FEDNA, 2016). Su uso requiere ciertas precauciones ya que contiene gossypol, un compuesto relativamente tóxico (FEDNA, 2010).
- Semilla de girasol: Es el principal concentrado de origen nacional, una de sus limitaciones es la alta cantidad en fibra y lignina, también tiene una gran cantidad de energía (FEDNA, 2016), sin embargo tiene una alta digestibilidad de la fracción proteica. (FAO, 2014) y (FEDNA, 2010). La torta es el resultado de la molturación de las semillas con el fin de obtener aceite, la cual tiene una gran cantidad de proteína.

- **GRASAS Y ACEITES**

Las grasas y los aceites se añaden para aumentar el contenido energético (Parsi *et al.*, 2001). Por un lado, se encuentran las grasas de origen animal y vegetal, ambas pueden afectar a los microorganismos del rumen, de origen animal se encuentra: mantequilla, sebo, manteca, aceites de pescada. De origen vegetal son: aceitunas, oleínas, productos de palma,... (FAO, 2014 ; FEDNA, 2010).

- **CONCENTRADOS EN PROTEÍNA**

Los concentrados en proteína son los que la fracción de proteína predomina sobre la fracción energética.

### 1.1.C. SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA

De la producción y procesamiento de los alimentos se originan numerosos subproductos y la mayoría son destinados a la alimentación animal, como indica la tabla 6.

Al ser de industrias diferentes, tienen características nutricionales distintas y se combinan con el objetivo de conseguir una dieta equilibrada.

Tabla 6. Clasificación de los subproductos de la agroindustria

<b>Subproductos de la agroindustria</b>	<b>Origen vegetal</b>	Industria aceitera
		Industria molinera
		Industria hortofrutícola
		Industria azucarera
		Industria cervecera
		Industria vitivinícola
		Industria de la golosina y la panadería
		Industria de la madera y del papel
	<b>Origen animal</b>	Industria láctea
		Industria pesquera
		Industria frigorífica
		Industria avícola

Fuente: Parsi *et al.* (2001).

- **SUBPRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL**

Estos son derivados de tres industrias:

-Lácteas: se obtiene una amplia variedad de productos para el consumo humano y animal. En líneas generales los subproductos de esta industria como por ejemplo el suero lácteo y en polvo y la leche en polvo, son de alta calidad en proteínas y aminoácidos, lactosa, minerales y vitaminas.

-Frigorífica: Dentro de este grupo se encuentran las harinas de carne con y sin hueso, harina de plumas, que son el residuo finamente molido, cocido y deshidratado procedente de los tejidos animales como pelo, pezuñas, cuernos, piel, sangre y contenido del tracto intestinal.

-Pesquera: Los subproductos de esta industria consisten en los deshechos del procesamiento de pescados, conjuntamente con otras especies marinas. Estos alimentos son una fuente muy rica de nutrientes, principalmente proteínas, minerales y vitaminas.

Según el reglamento (CE) N° 1069/2009, la única harina que se permite emplear en alimentación animal, es la harina de pescado solo en monogástricos, y en industrias que solo elaboren este tipo de pienso con el objetivo de evitar contaminaciones.

- SUBPRODUCTOS DE ORIGEN VEGETAL

Son los productos que genera la industria vegetal después del procesado de los alimentos, que no cumplen los estándares de calidad, deshechos de campo, o partes que no son destinadas al consumo en fresco, etc. Estos productos son conocidos como subproductos. Se obtienen subproductos ricos en proteína de manera general, aunque la composición varía según del alimento que se obtenga, ya que hay una gran variedad de industrias:

- Industrias aceiteras: Son los subproductos que genera la fabricación de aceites, llamado tortas, explicadas previamente. Son alimentos ricos en proteína aportando aproximadamente un 38% de proteína (Parsi *et al.*, 2001).
- Industrias molineras: La fabricación de harinas de cereales genera una gran cantidad de subproductos, por ejemplo las partes del trigo que se eliminan para el consumo humano. Estos alimentos también son ricos en proteínas, aproximadamente aportan un 30% la harina de trigo (FEDNA, 2010).
- Industria hortofrutícola: Pueden tener origen diferente dependiendo del punto de la cadena de producción donde se generen:
  - Del destrío, por no cumplir los estándares de calidad
  - Procedentes del enlatado y de productos de IV gama
  - Dejados en el campo

Entre este tipo de subproductos se encuentran por ejemplo la pulpa de cítricos, ya que los cítricos tienen gran importancia en la Comunidad Valenciana, y también restos de hortalizas por los motivos citados anteriormente, como el brócoli o la alcachofa, objetos de estudio de este trabajo.

- Industria azucarera: La melaza es el principal subproducto de esta industria. Se caracteriza por ser especialmente fuente de energía.
- Industria cervecera: El principal subproducto es la malta, procedente de la fabricación de cerveza, que aporta principalmente fibra (40%) y proteína en menor cantidad (19%) (FEDNA, 2010).
- Industria vitivinícola: Los principales subproductos de esta industria son, tallos, semillas, pulpa y hollejo. Se caracterizan por su baja calidad, alto en fibra y alto contenido en taninos.
- Industria de golosinas y panadería: Los principales subproductos de esta industria son almidón, sacarosa y grasas de alta calidad, ricos en energía.
- Industria papelera y maderera: Al ser de baja calidad no se aconsejan para la alimentación animal (Parsi *et al.*, 2001).

## **1.2 SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA**

### **1.2.A. DEFINICIÓN Y SU INTERÉS SOCIOECONÓMICO**

Un subproducto es lo que generan las industrias alimentarias, en la recolección o en cualquier eslabón de la cadena de transformación de los productos (Gasa *et al.*, 1991).

El aprovechamiento de los subproductos de la industria agroalimentaria, además del interés económico, permite aumentar su valor al ser aprovechado por la industria, ya que permite también un interés ecológico, con la finalidad de reducir la emisión de residuos (Cerisuelo *et al.*, 2009).

Un subproducto es lo que generan las industrias alimentarias, en la recolección o en cualquier eslabón de la cadena de transformación de los productos (Gasa *et al.*, 1991).

## 1.2 B. PRINCIPALES SUBPRODUCTOS DEL SURESTE ESPAÑOL

La principal hortaliza producida en España, es el tomate, seguida de la cebolla y del pimiento. Tanto la alcachofa como el brócoli superan el 1% en producción de hortalizas en España, como se indica en la Figura 1.

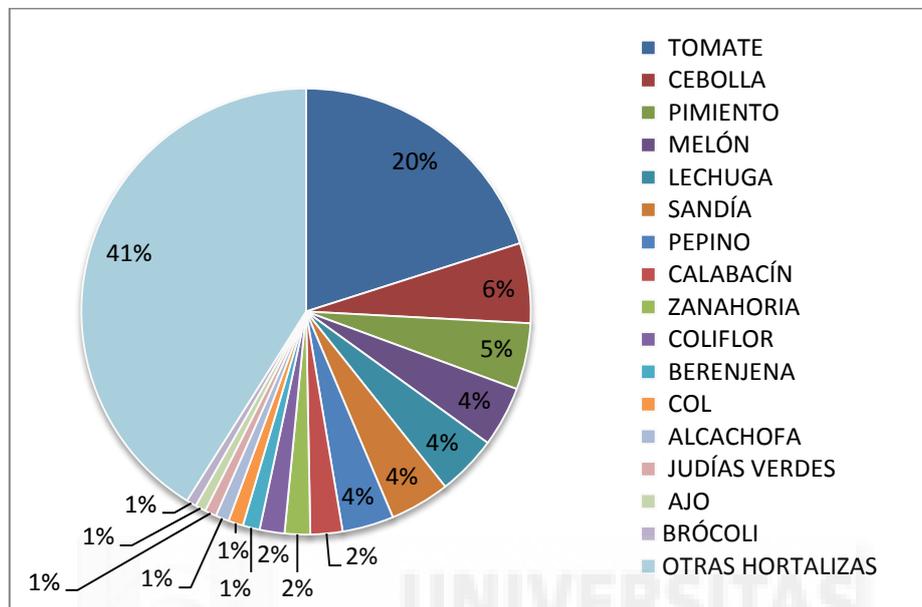


Figura 1. Producción total de hortalizas en España en 2012 (MAGRAMA, 2012).

De la producción total reflejada en la Figura 1, el 1,79% se destina a consumo animal, destinándose el resto a consumo humano, consumo en fresco y a las industrias de transformación.

La hortaliza que más se destina a alimentación animal, como se observa en la Figura 2, es el tomate, por lo que se entiende que se utilizará mucho como subproducto, seguido por la sandía. El subproducto de alcachofa supone el 2% y el brócoli el 1% del total de subproductos producidos.

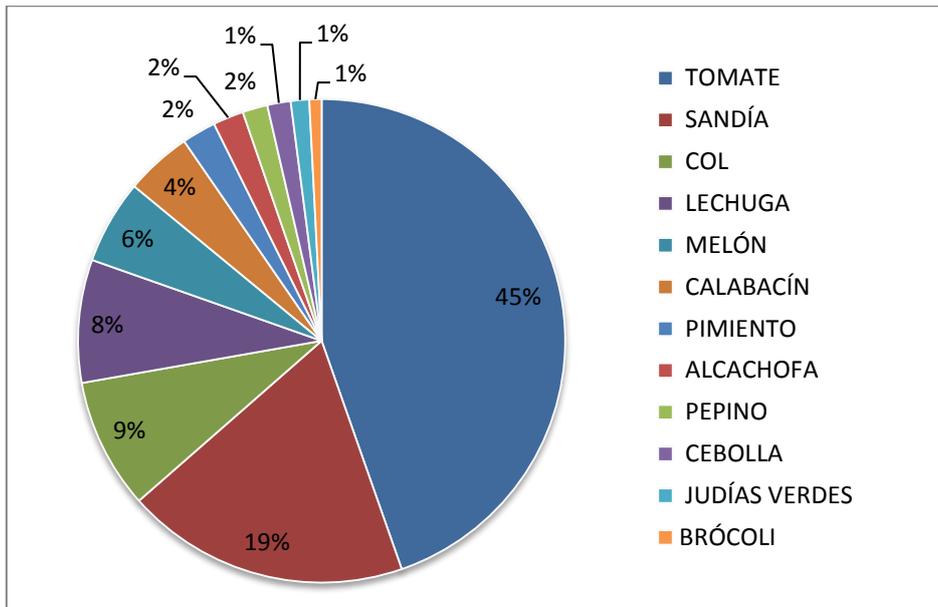


Figura 2. Rrincipales hortalizas destinadas al consumo animal (MAGRAMA, 2012).

En el sureste español, lugar donde se realiza este estudio, la producción de subproductos se distribuye como se muestra en la Figura 3, se observa, que Almeria y Murcia son unas grandes productoras del sureste Español.

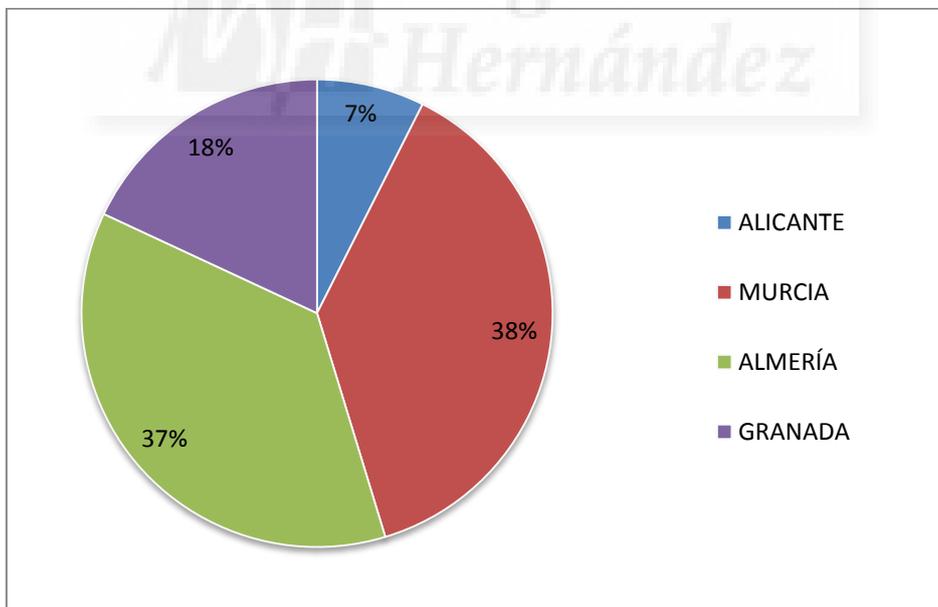


Figura 3. Producción total de hortalizas en el sureste de España (MAGRAMA, 2012).

En cuanto a la producción de hortalizas de Alicante, en la Figura 4 se muestran sus datos, las principales hortalizas son el tomate (18%) y el brócoli (14%), seguidos del pimiento (11%). La alcachofa ocupa la quinta posición con un 10%.

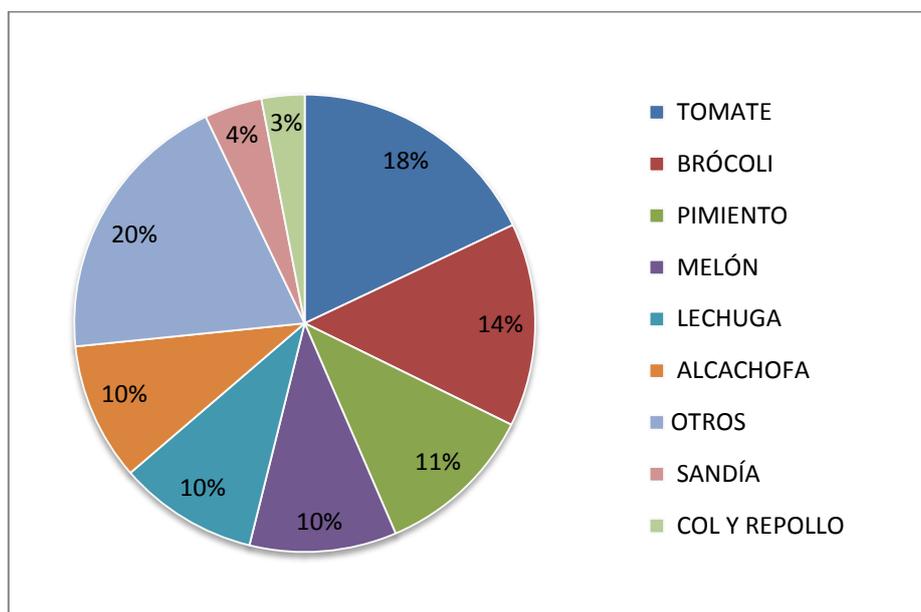


Figura 4. Principales cultivos de hortalizas en la provincia de Alicante (Estadística Generalitat valenciana, 2015).

Al no encontrar datos sobre subproductos, podemos relacionar que estos principales cultivos serán los que más subproductos generen.

Como se observa en la Figura 5, en la Región de Murcia lo que más se cultiva es la lechuga seguida del brócoli. La alcachofa ocupa la séptima posición con un 6%.

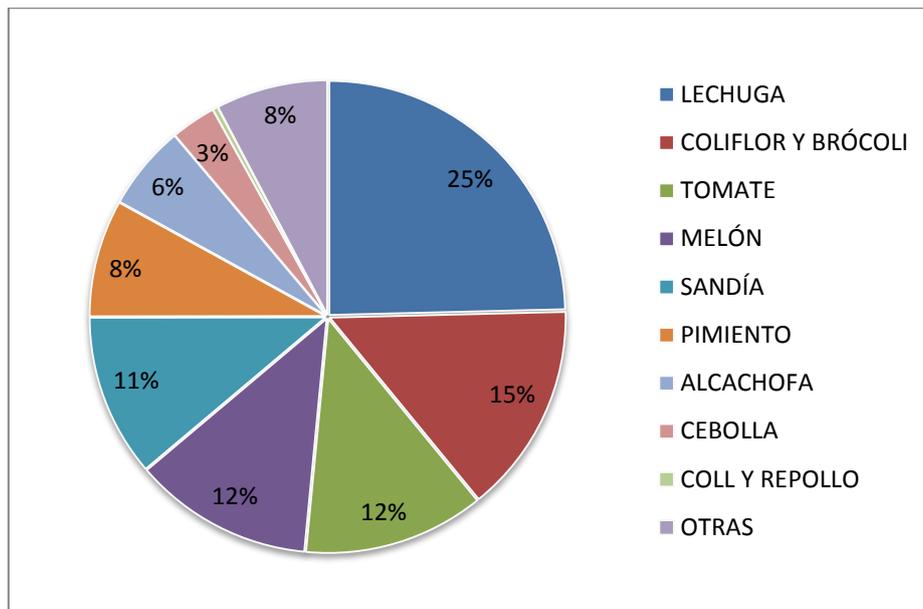


Figura 5. Principales cultivos de hortalizas en la Región de Murcia (Centro regional de estadística de Murcia, 2015).

Los principales cultivos de Almería como se indica en la Figura 6, son el tomate, seguido por el pimiento. La alcachofa ocupa el séptimo lugar con un 5%.

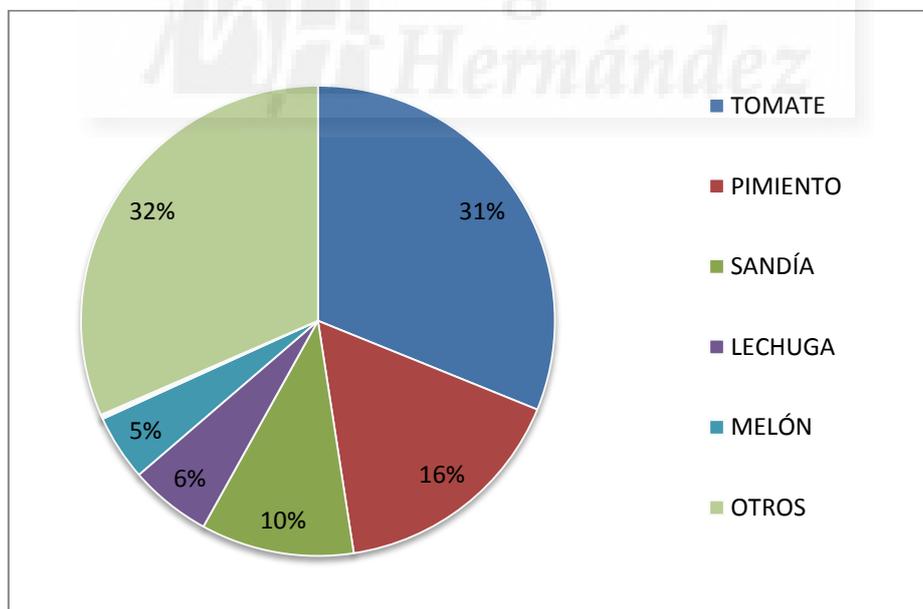


Figura 6. Principales cultivos de hortalizas en la provincia de Almería (Instituto de estadística y cartografía de Andalucía, 2011).

Como conclusión final, del sureste Español, los mayores productores de brócoli son Alicante y Murcia, la alcachofa solo la producen Alicante y Murcia, zona de influencia del lugar en el que se realizó el trabajo.



### 1.2.C. COMPOSICIÓN

El valor nutritivo de los subproductos depende de las especies y fases de crecimiento en el momento de la cosecha y, en segundo lugar, de los cambios que tengan lugar por el método de conservación, actividad de las enzimas vegetales y los microorganismos presentes que afecten en el periodo de ensilaje, por ejemplo, disminuyendo el pH (McDonald, 2006). En la Tabla 7, se muestra la composición de algunos subproductos.

Se observa en la Tabla 8 que la materia seca, fibra bruta y la grasa bruta aumentan en el producto final del ensilado en comparación con el producto fresco, tanto en el guisante como en la alcachofa, pero son diferencias muy pequeñas, por lo que no son muy significativas. La energía se reduce en el ensilado con respecto al producto sin ensilar. En cuanto a la proteína, el proceso de ensilado determina una proteólisis y aumenta la cantidad de N amoniacal y de N  $\alpha$ -amino libre en el ensilado con respecto a la materia fresca sin ensilar, por lo que la proteína disminuye. Los factores que influyen más en la proteólisis son materia seca, pH y T<sup>a</sup> (McDonald, 2006).

Tabla 7. Valor nutritivo de algunos subproductos

<b>SUBPRODUCTOS DE HORTALIZAS</b>	<b>MS</b>	<b>MO</b>	<b>PB</b>	<b>FB</b>	<b>EE</b>	<b>EM</b>
<b>Pulpa de tomate</b>	45,5	95,5	19,1	41,6	14,6	1,89
<b>Pimiento</b>	17,5	93,2	18,6	38,1	13,3	2,02
<b>Guisante fresco</b>	26,5	88,4	11,7	22,2	2,3	2,36
<b>Guisante heno</b>	87,7	88,6	13,4	23,2	2,1	2,20
<b>Guisante ensilado</b>	28,2	82,3	12,0	24,3	3,2	2,06
<b>Alcachofa fresca</b>	12,4	94,5	15,0	26,2	2,5	2,51
<b>Alcachofa ensilada</b>	17,0	93,5	14,7	35,2	4,1	2,42
<b>Coliflor</b>	14,9	81,1	12,0	24,3	5,8	2,61

MS: materia seca %, MO: materia orgánica % MS, PB: proteína bruta % MS, FB: fibra bruta %MS, EE: extracto etéreo (grasa bruta) % MS, EM: energía metabolizable (Mcal/kg MS).

Fuente: MAGRAMA. (1991).

Tabla 8. Composición nutricional de los subproductos ensilados.

<b>VARIABLES</b>	<b>BRÓCOLI (cocido previamente)</b>	<b>ALCACHOFA</b>	<b>PLANTA</b>
<b>pH</b>	4,53 ± 0,01	5,62 ± 0,01	
<b>MS (%)</b>	11,68 ± 0,0	17,98 ± 0,03	20,29
<b>MO (%MS)</b>	93,31 ± 0,05	93,32 ± 0,11	
<b>Minerales (%MS)</b>	6,69 ± 0,05	6,68 ± 0,11	21,05
<b>Extracto etéreo (%MS)</b>	6,37 ± 0,34	3,49 ± 0,04	4,30
<b>PB (%MS)</b>	34,66 ± 0,33	14,15 ± 0,21	9,77
<b>FND (%MS)</b>	19,84 ± 0,64	41,12 ± 0,41	51,88
<b>FAD (%MS)</b>	12,93 ± 0,24	25,36 ± 1,31	37,15
<b>Lignina (%MS)</b>	2,01 ± 0,12	7,47 ± 0,21	15,19
<b>Hemicelulosa (%MS)</b>	6,90 ± 0,88	15,76 ± 0,89	14,75
<b>Celulosa (%MS)</b>	10,93 ± 0,11	17,89 ± 1,52	21,80
<b>FB (%MS)</b>			28,47

Fuente: Meneses. (2002) y Hernández Riuperez *et al.* (1992).

### 1.3 EL ENSILADO COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN

El ensilado es un método de conservación de los alimentos, con el objetivo de promover la fermentación de los azúcares a ácido láctico por bacterias ácido-lácticas. Este proceso disminuye el pH, por un incremento de la acidez, lo que inhibe especies indeseables de bacterias (enterobacterias, clostridium), levaduras y hongos (Wattiaux, 1999).

Las características que tienen los subproductos a ensilar son muy importantes, ya que de estas dependerá que el alimento pueda conservarse mediante la fermentación láctica, por lo que será más fácil si tiene las siguientes características:

- Alto contenido en azúcares fermentables
- Bajo contenido en proteína
- Alto contenido en materia seca en el momento de ensilar

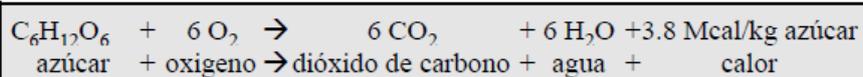
Las fases del ensilado son:

#### 1) Respiración

Esta primera fase comprende desde el inicio hasta la eliminación del oxígeno.

La respiración aumenta la temperatura del forraje. Temperaturas mayores a 26-32°C pueden causar pérdidas significantes de nutrientes y continúa por uno o dos días mientras haya oxígeno en el silo. Por lo tanto, es importante compactar el silo para eliminar el aire lo más rápidamente posible.

#### 2) Fermentación enterobacteriana



Cuando la fermentación comienza, las bacterias que resisten en el medio son aquellas que pueden vivir tanto en presencia como en ausencia de aire (bacterias aeróbicas facultativas). Este grupo incluye las enterobacterias que convierten los azúcares en ácidos orgánicos (ácido fórmico, ácido acético, ácido láctico y algunas veces ácido butírico), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e hidrogeno ( $H_2$ ). Estos ácidos son responsables de la disminución del pH del silo. Las enterobacterias son sensibles a la disminución de pH, por lo que su supervivencia se va reduciendo a medida que este desciende.

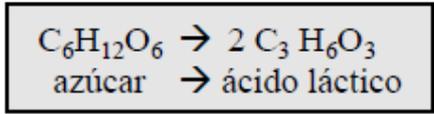
El crecimiento bacteriano se inhibe cuando el pH cae por debajo de 4,5.

### 3) Fermentación de bacterias ácido-lácticas

Comienzan a fermentar después de que el pH del silo disminuye a 5,5-5,7.

Algunas de ella pueden vivir en presencia de oxígeno, pero la mayoría son estrictamente anaeróbicas por lo que el oxígeno es tóxico para ellas.

La reacción que hacen es la siguiente:



Hay dos tipos de bacterias ácido-lácticas:

- Homofermentativas, que solo producen ácido láctico, las cuales son más deseables, por que el ácido láctico es más fuerte y reductor que el acético.
- Heterofermentativas, que producen ácido láctico y otros productos terminales como ácido acético, alcohol (etanol) y dióxido de carbono.

En la Figura 7, se puede observar la evolución de distintos parámetros químico-nutritivos a lo largo del proceso de ensilaje. En la mayoría de parámetros se observa como hay variaciones en los primeros días, pero luego ya se mantiene estables, ya que el silo está ya correctamente estable.

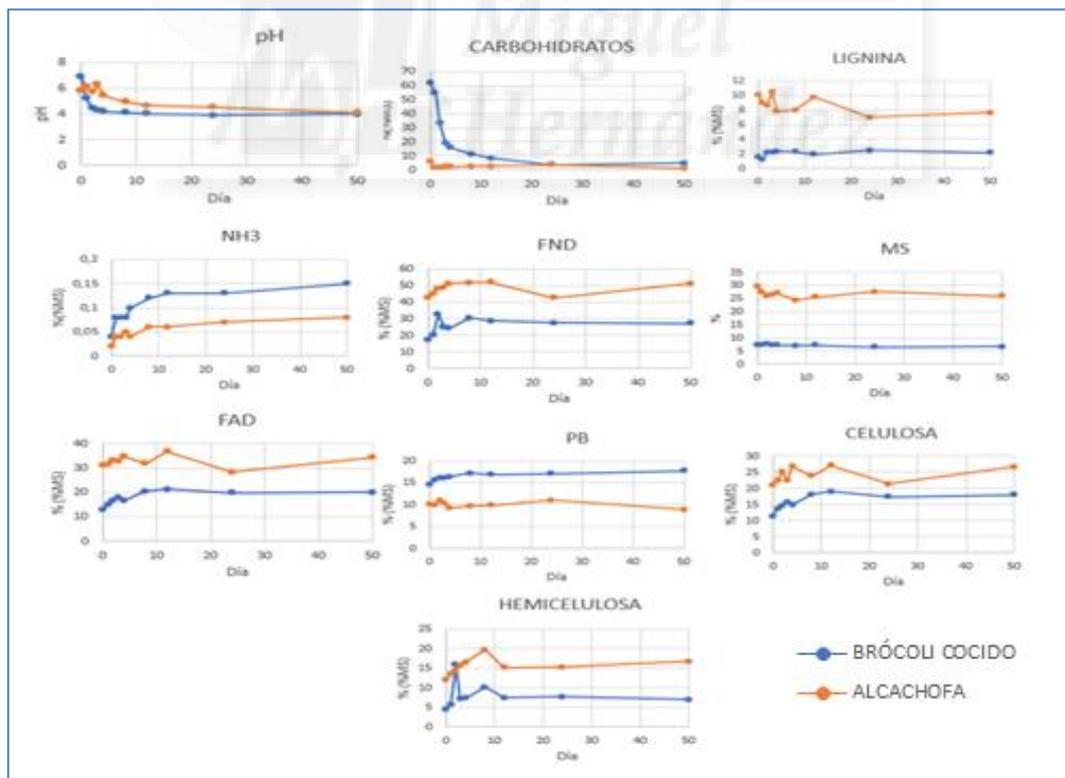


Figura 7. Evolución de distintos parámetros químico-nutritivos a lo largo del proceso de ensilaje (Meneses, 2002).

#### 4) Silo estable

La mayoría de silos suelen estabilizarse a los 15 días, pudiéndose conservar durante meses siempre que se mantenga el silo cerrado y protegido de oxígeno.

También pueden ocurrir fermentaciones indeseables debido al Clostridium (bacterias ácido butíricas). Esta bacteria crece en ausencia de oxígeno, son normalmente encontradas en el suelo y en estiércol y resiste un pH bajo (4,2) por lo que les permite completar la fermentación especialmente cuando las ácido-lácticas no produzcan más ácido láctico para disminuir el pH. También ocurre cuando la temperatura del silo se eleva (Wattiaux., 1999). Algunas especies de Clostridium pueden fermentar azúcares y el ácido láctico producido por las bacterias ácido lácticas en ácido butírico, lo cual supone una pérdida de calidad.

El ensilaje tiene algunas limitaciones o desventajas que son las siguientes (Wattiaux, 1991):

- El ensilaje requiere alto capital de inversión.
- El ensilaje no puede ser comercializado fácilmente, es difícil de transportar en distancias largas
- Las pérdidas en nutrientes durante el almacenamiento en silo son inevitables y pueden ser grandes si no es preparado correctamente:
  - o La principal pérdida es de materia seca altamente digestible (azúcares solubles cuando el ensilaje tiene un bajo contenido de materia seca).
  - o La pérdida de proteína de calidad durante el proceso de fermentación.
  - o La pérdida de energía como azúcares que son convertidos a ácidos orgánicos, dióxido de carbono,... y calor. (Wattiaux, 1999)

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo son conocer cómo evolucionan las características físico-químicas y el valor nutricional para la alimentación de rumiantes de 3 subproductos de la industria agroalimentaria de la Vega-Baja del Segura: brócoli, planta de alcachofa y alcachofa (brácteas y pedúnculos), a lo largo del proceso de ensilado de escala industrial: desde la materia fresca hasta los 200 días de ensilado.

Se analizaron tanto:

- Propiedades físicas: pH, actividad de agua ( $A_w$ ) y materia seca (si lo pongo una debajo de otra me ocupa mucho)
- Composición nutricional: cenizas, materia orgánica, grasa bruta, fibra bruta, fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, lignina, celulosa, hemicelulosa, polifenoles, proteína bruta, nitrógeno amoniacal, digestibilidad, y azúcares
- Microbiología: bacterias lácticas, aerobios mesófilos, enterobacterias y levaduras y mohos.



### 3. MATERIALES Y MÉTODO

#### 3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

##### 3.1.A. MATERIAL

El material empleado fueron 3 tipos de subproductos diferentes:

- Brócoli (80% brócoli y 20% planta de alcachofa): tallos e inflorescencias de brócoli que no cumplen el estándar de calidad para la venta en fresco o los tallos que no se utilizan en las industrias conserveras o de congelado.
- Alcachofa: brácteas o alcachofas que no cumplen el estándar de calidad, de centrales hortofrutícolas.
- Planta de alcachofa: es el residuo que queda en el campo después de la cosecha de las inflorescencias. Se utilizan los tallos, hojas o alcachofas que tampoco cumplen los estándares de calidad en las industrias hortofrutícolas.



Figura 8. Imágenes de los 3 silos del trabajo.

Los subproductos fueron ensilados en rotocapas de 300 Kg aproximadamente, envueltos en material plástico estirable de 5 capas, utilizado habitualmente por la industria para este proceso.

### 3.1.B. DÍAS DE ANÁLISIS

En función de la variable a analizar, se tomaron muestras en distintos días (0, 3, 7, 10, 15, 30, 60 y 200). En la Tabla 9 se observan los días de muestreo para cada variable

Tabla 9. Días de muestreo, variables analizadas y estado de la muestra para su correspondiente análisis

Variable	Estado de la muestra*	Día de control							
		0	4	7	10	15	30	60	200
pH	1	x	x	x	x	x	x	x	x
Materia seca	1	x	x	x	x	x	x	x	x
Actividad de agua	1	x	x	x	x	x	x	x	x
Análisis microbiológico	1	x		x		x	x	x	x
NH3	2	x	x	x	x	x	x	x	x
Contenido en fenoles totales	2	x				x	x	x	x
Proteína bruta	3	x				x	x	x	x
Azúcares	3	x		x		x	x	x	x
Digestibilidad ruminal in vitro	3	x				x	x	x	x
Grasa bruta	3	x				x	x	x	x
Contenido en fibra	3	x				x	x	x	x
Cenizas	3	x				x	x	x	x

\* 1: muestra fresca; 2: muestra congelada; 3: muestra desecada a 60 °C

### 3.1.C. METODOLOGÍA DE MUESTREO

Cada día de muestreo se tomaba muestra de tres silos diferentes (rotocapas), y de cada silo de tres partes diferentes. De esta manera se conformaba una muestra representativa de cada silo. Por lo tanto, para cada día de muestreo se disponía de tres muestras (A, B y C) que eran tratadas de manera separada e individual, y analizadas por duplicado.

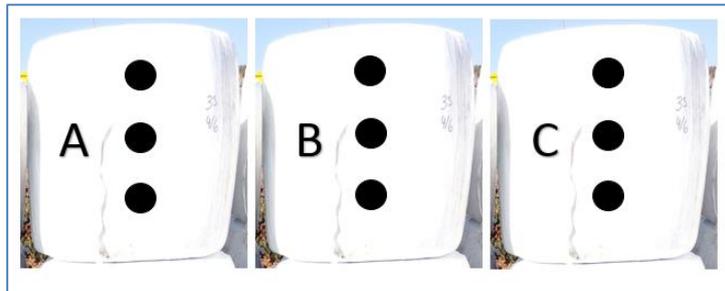


Figura 9. Esquema del muestreo



Figura 10. Utensilio toma-muestra del silo.

## 3.2 VARIABLES ANALIZADAS

### 3.2.A MICROBIOLOGÍA

- Determinación de enterobacterias: para la determinación de enterobacterias se utilizaron placas 3M™ (Petrifilm™, Minnesota EEUU) (Figura 16) para enterobacterias, siguiendo los métodos convencionales normalizados (ISO 11133:2014). Los datos fueron expresados en log ufc/g.

El medio de cultivo era agua de peptona esterilizada a 121°C durante 15 minutos. Una vez sembradas las placas se incubaban a 37°C durante 24 horas.



Figura 11. Placa Petrifilm™ con colonias de enterobacterias

- Determinación de aerobios mesófilos: Se utilizaron también placas 3M™ (Petrifilm™, Minnesota EEUU) (Figura 17) para aerobios mesófilos, siguiendo los métodos convencionales normalizados (ISO 11133:2014). Los datos fueron expresados en log ufc/g.

El medio de cultivo y el tiempo de incubación era el mismo que se empleaba para la determinación de enterobacterias.



Figura 12. Placa Petrifilm™ con colonias de aerobios mesófilos

- Determinación de bacterias lácticas: Se utilizaron placas 3M™ (Petrifilm™, Minnesota EEUU) para aerobios mesófilos, siguiendo los métodos convencionales normalizados (ISO 11133:2014). Los datos se expresaron en log ufc/g.

El medio de cultivo era MRS BROTH (MRS caldo, Liofilchem) esterilizado a 121°C durante 15 minutos. Una vez sembradas las placas se incubaban a 37°C durante 48 horas.

- Determinación de mohos y levaduras: Se utilizaron placas petri estériles de 90 mm con medio PDA (Potato Dextrose Agar), esterilizado a 121°C durante 15 minutos, siguiendo los métodos convencionales normalizados (ISO 11133:2014). Los datos se expresaron en log ufc/g.

Una vez sembradas las placas se incubaban a 26°C durante tres días para las levaduras y durante cinco días para los mohos.



### 3.2.B. PARÁMETROS FÍSICOS

Los parámetros físicos que se midieron fueron el pH, materia seca (MS) y la actividad de agua (aW). El pH se midió con un pH metro Crison GLP 22, (CRISON, España), la MS con estufa de 100°C y la aW con el equipo Novasina AW Sprint TH 500 (Pfäffikon, Suiza). Todos estos parámetros de las muestras se analizaron utilizando los métodos oficiales de la AOAC (1990).

### 3.2.C VARIABLES NUTRICIONALES

Las variables nutricionales analizadas fueron desde el punto de vista de la nutrición animal analizadas por los métodos oficiales de la AOAC (1990): cenizas, proteína bruta (PB), nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), grasa bruta (GB), fibra bruta (FB), azúcares totales, materia orgánica (MO) También se determinó la fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y lignina según el método recogido en Van Soest et al. (1991). Todas las fracciones fibrosas se corrigieron por el contenido en cenizas del residuo. El contenido en polifenoles totales (PT) se analizó por el método de Folin-ciocalteu recogido en Kim et al. (2003).

También se analizó la digestibilidad *in vitro* con líquido ruminal mediante el método de Menke y Steingass (1988): el líquido ruminal se filtró y se mezcló con un medio de cultivo rico en nitrógeno, manteniendo una temperatura de 37°C y gaseando CO<sub>2</sub>. Este caldo de cultivo se adicionó en dosis de 50 mL en viales de 120 mL con 0,5 g de muestra deshidratada a 60°C y molida. Se incubaron en un baño orbital a 37°C durante 48 horas. Transcurrido este tiempo, el contenido de los viales se filtró en crisoles de placa porosa nº2 y se guardaron en estufa a 100°C durante 24 horas.

La pérdida de MS se calculó como diferencia entre el peso en MS de la muestra al inicio de la incubación y el peso en MS al final de la misma, corrigiendo esa diferencia por los blancos, siendo el resultado expresado en % la digestibilidad de la muestra.

### 3.2.D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez obtenidos los resultados de todas las variables, se analizó el efecto del tipo de subproducto (SUBPRODUCTO: brácteas, brócoli, planta de alcachofa), el día de ensilado (DÍA; según tabla 10), y la interacción del subproducto con el día de ensilado (SUBPRODUCTO X DÍA ENSILADO), en las variables estudiadas, mediante un análisis de varianza (Proc. GLM, SAS 9.2., 2012).



#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 10. Valores de los estadísticos F y P de los factores considerados en el análisis estadístico de las variables analizadas.

VARIABLES	SUBPRODUCTO		DÍA ENSILADO		SUBPRODUCTO X DÍA ENSILADO	
	F	P	F	P	F	P
Materia seca	774,79	<0,0001	16,61	<0,0001	6,83	<0,0001
AW	39,15	<0,0001	13,07	<0,0001	6,76	<0,0001
pH	294,91	<0,0001	614,66	<0,0001	25,91	<0,0001
Cenizas	1118,63	<0,0001	11,24	<0,0001	5,15	<0,0001
Materia orgánica	303,29	<0,0001	5,5	0,0008	0,75	0,6467
Grasa bruta	10,2	0,0002	4,16	0,0049	1,16	0,3363
Fibra bruta	102,66	<0,0001	9,88	<0,0001	9,13	<0,0001
Fibra neutro detergente	285,62	<0,0001	10,91	<0,0001	4,32	0,0004
Fibra ácido detergente	138,16	<0,0001	7,29	<0,0001	6,65	<0,0001
Lignina	95,49	<0,0001	19,76	<0,0001	7,86	<0,0001
Hemicelulosa	465,52	<0,0001	12,6	<0,0001	2,35	0,0292
Celulosa	80,69	<0,0001	3,39	0,0145	7,81	<0,0001
Polifenoles	54,87	<0,0001	44,12	<0,0001	27,37	<0,0001
Proteína bruta	1224,76	<0,0001	15,19	<0,0001	21,18	<0,0001
Azúcares	85,12	<0,0001	134,91	<0,0001	23,97	<0,0001
Digestibilidad ruminal	166,7	<0,0001	1,75	0,1703	3,24	0,0099
NH <sub>3</sub>	427,94	<0,0001	86,56	<0,0001	31,84	<0,0001
Enterobacterias	10,32	0,0001	72,69	<0,0001	5	<0,0001
Aerobios mesófilos	13,43	<0,0001	103,72	<0,0001	8,49	<0,0001
Bacterias lácticas	28,19	<0,0001	314,69	<0,0001	24,14	<0,0001
Levaduras	2,71	0,0735	134,71	<0,0001	3,25	0,0016
Mohos	2,42	0,0963	2,67	0,0284	2,19	0,0273

Como se observa en la Tabla 10 en general todos los efectos fueron significativos, eso significa que hubo diferencias debidas al subproducto, y al día, debido al proceso de evolución del ensilado. La interacción significativa indica que cada subproducto evolucionó de manera diferente a lo largo del tiempo considerado

#### 4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Se aprecia claramente en la Figura 13, cómo disminuye el pH con los días de ensilado ya que se acidifica el subproducto, debido a la fermentación, donde cada molécula de azúcar, se convierte en 2 de ácido láctico, y otros productos como el ácido acético, alcohol (etanol) y CO<sub>2</sub>. De esta manera, se acidifica el medio, dando como consecuencia un descenso del pH. El pH alcanzado ha sido el mismo que fue obtenido por (Meneses, 2002 ; Hernández Ruiperez *et al.* 1992).

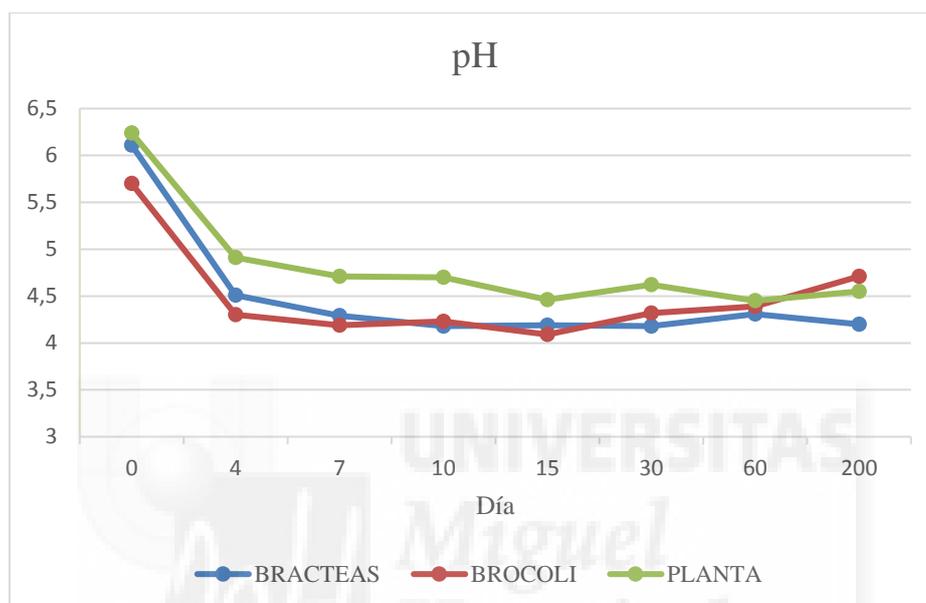


Figura 13. Evolución del pH en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En la Figura 14, se observa cómo existen diferencias significativas en cuanto a la actividad de agua entre los silos y entre los días de control, pero estas diferencias no son relevantes, ya que son muy pequeñas. Se muestra como la actividad de agua alcanzaba valores altos durante todo el proceso, debido al elevado contenido en humedad de los subproductos, lo cual promueve la proliferación microbiana favorable, como bacterias lácticas, las cuales acidifican el medio (Figura 13) impidiendo el desarrollo de microbiota indeseables lo cual conlleva un riesgo para la estabilidad del silo.

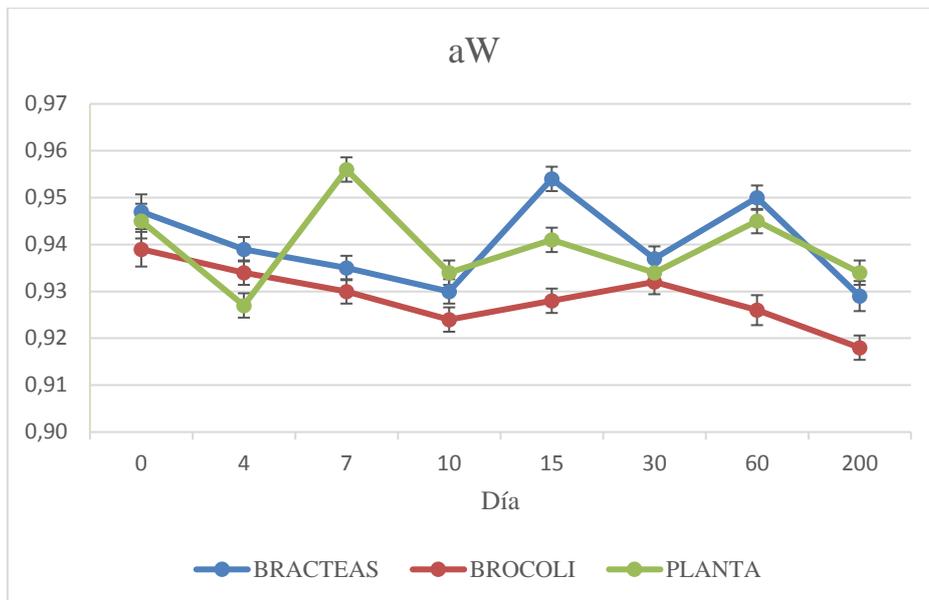


Figura 14. Evolución de la aW en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En la figura 15, se muestra cómo la materia seca fue descendiendo a medida que transcurría el periodo de estudio de la evolución de los ensilados. Debido a la fermentación de los azúcares, en una reacción heterofermentativa, no solo se produce ácido láctico, también agua y dióxido de carbono, lo cual explicaría la reducción del contenido de materia seca (Meneses, 2002 ; Hernández Ruiperez *et al.* 1992).

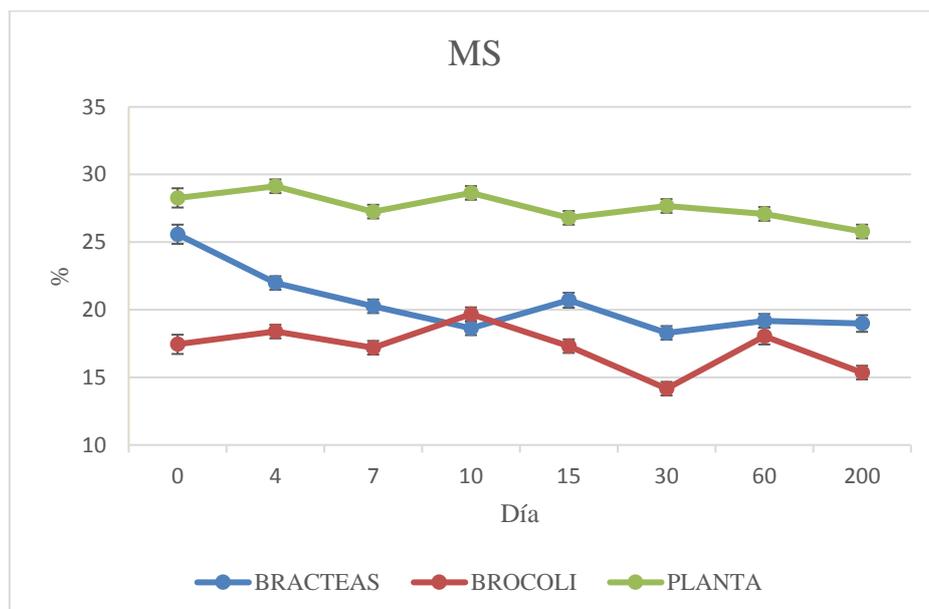


Figura 15. Evolución de la materia seca en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa

## 4.2 MICROBIOLOGÍA

Se observa en la Figura 16, que los tres subproductos empiezan en valores altos de poblaciones de enterobacterias, y disminuyen rápidamente con el proceso. A partir del día 15 son muy bajos desaparecen en los silos de brácteas y brócoli, aunque en la planta se alcanza el día 30. Pudiendo haber un error o contaminación en el día 200 de la planta

Según Weissbach y Hoing (1996), el pH crítico para conseguir una estabilización de las poblaciones de enterobacterias se consigue cuando este descendiendo a 4,35. Nuestros silos alcanzaron un rango de pH cercano a ese valor en los días 7, para brácteas y brócoli, y 15 para planta Figura 13. Sin embargo, se puede observar que las poblaciones de enterobacterias se estabilizaron una semana después (Figura 16).

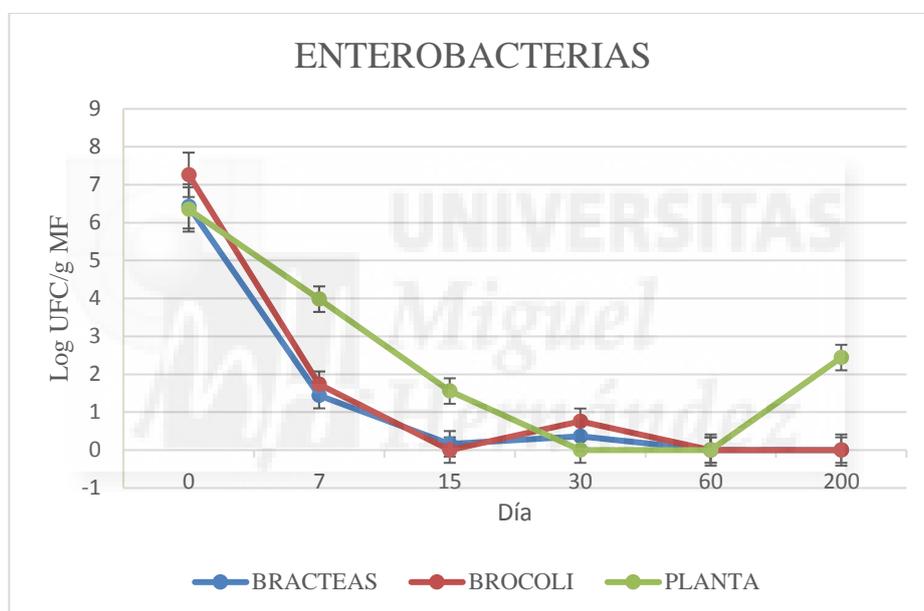


Figura 16. Evolución de las poblaciones de enterobacterias en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

Al igual que la Figura 16, en la Figura 17 también se pueden observar la disminución de poblaciones de aerobios mesófilos conforme avanzan los días de ensilado, debido a la ausencia de oxígeno. A partir del día 30, las poblaciones de estos microorganismos se estabilizan en los silos de brócoli y planta. En el caso de las brácteas, las poblaciones siguen en descenso hasta el final del periodo del estudio.

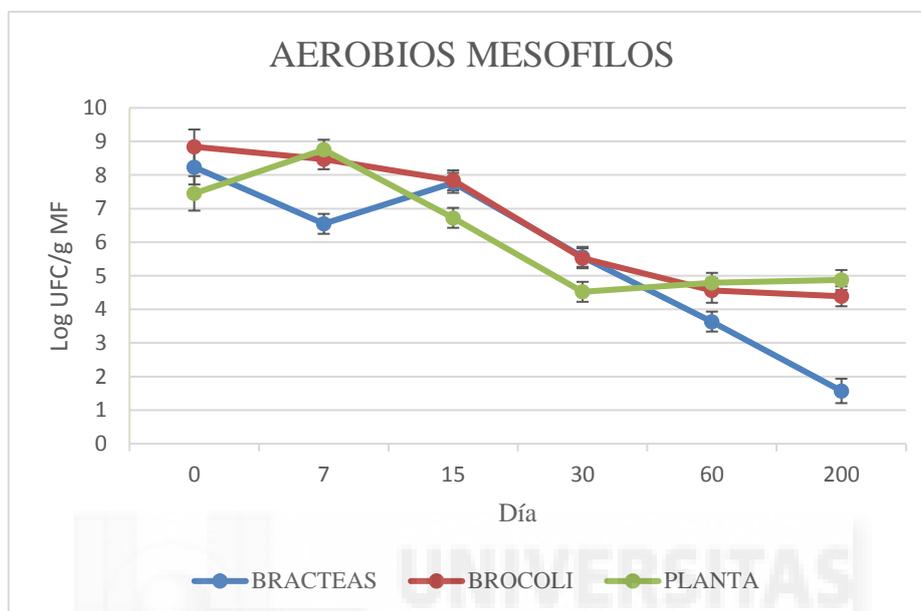


Figura 17. Evolución de las poblaciones de aerobios mesófilos en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa

Se aprecia en la Figura 18, que las poblaciones de bacterias lácticas disminuyen en los tres tipos de silos de forma similar hasta alcanzar 7 UFC/g al final del periodo de estudio. Al principio del proceso de ensilado aumentan debido a que son microorganismos anaerobios facultativos, lo que significa que algunas de ellas pueden vivir en ambientes sin oxígeno, luego disminuye hasta estabilizarse, ya que todo el azúcar se ha fermentado ya en ácido láctico y, debido a la acumulación de este ácido, se produce el descenso de pH (McDonald *et al.*, 1991).

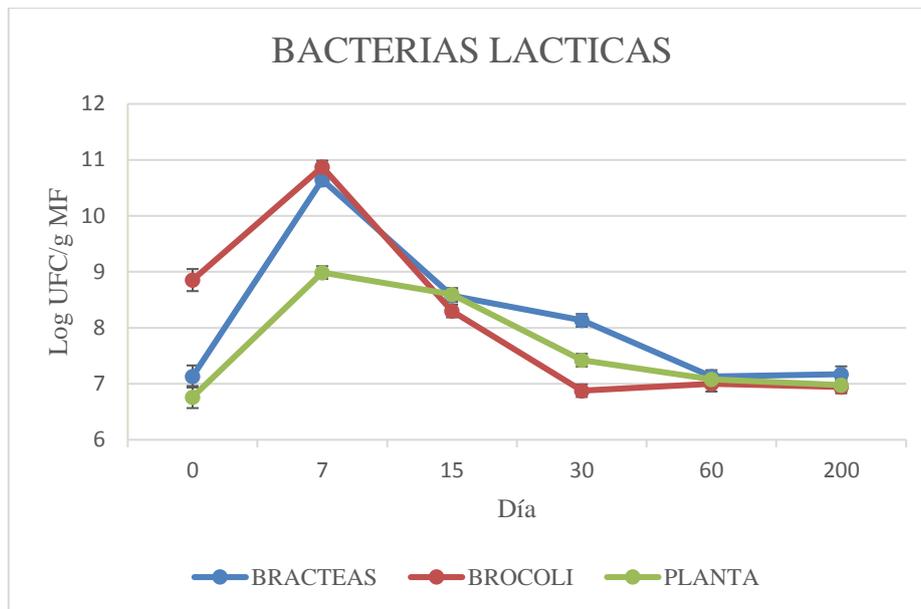


Figura 18. Evolución de las poblaciones de bacterias lácticas en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

Se observa en la Figura 19 que, en los tres subproductos, las levaduras también disminuyen a lo largo del proceso de ensilado. La disminución de las levaduras indica que el silo está de manera correcta ya que la actividad de las levaduras es indeseable (FAO, 2001). La disminución del pH, como se observó previamente en la Figura 13, puso causar que las poblaciones de levaduras también se redujeran. Según Ni *et al.*, (2017), las levaduras pueden causar degradación aeróbica durante el periodo de apertura del silo, por lo que le restaría valor nutricional. Al alcanzarse al final del proceso de ensilado (día 200) un menor nivel de levaduras, indica que el proceso se ha realizado de forma satisfactoria y se garantiza la calidad de los silos estudiados en este experimento.

El resultado de la evolución de las poblaciones de levaduras de este experimento se asemeja al desarrollado por Ni *et al.* (2017), donde el silo de soja en el día 0 dio un recuento de 6 Log UFC/g MF y en el día 60 este recuento descendió hasta 5 Log UFC/g MF, tal y como ocurre en nuestro caso.

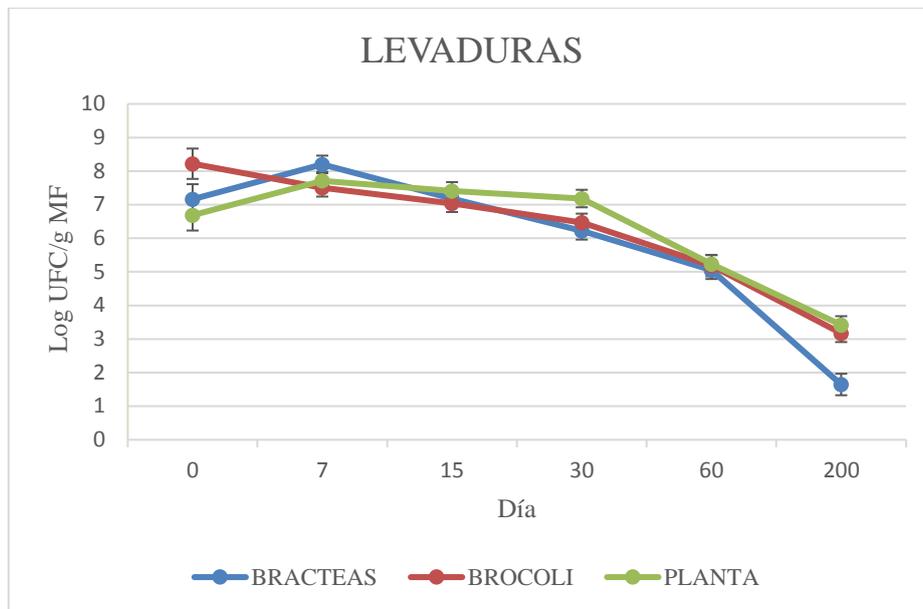


Figura 19. Evolución de las poblaciones de levaduras en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa

En el caso de los mohos, se observa en la figura 20, disminuyen durante el periodo del estudio excepto en el brócoli. Los mohos pueden aparecer en cualquier sitio del silo que quede un poco de oxígeno, es muy importante controlarlos ya que pueden disminuir las características nutricionales de los silos e incluso siendo un riesgo para la salud (FAO, 2001).

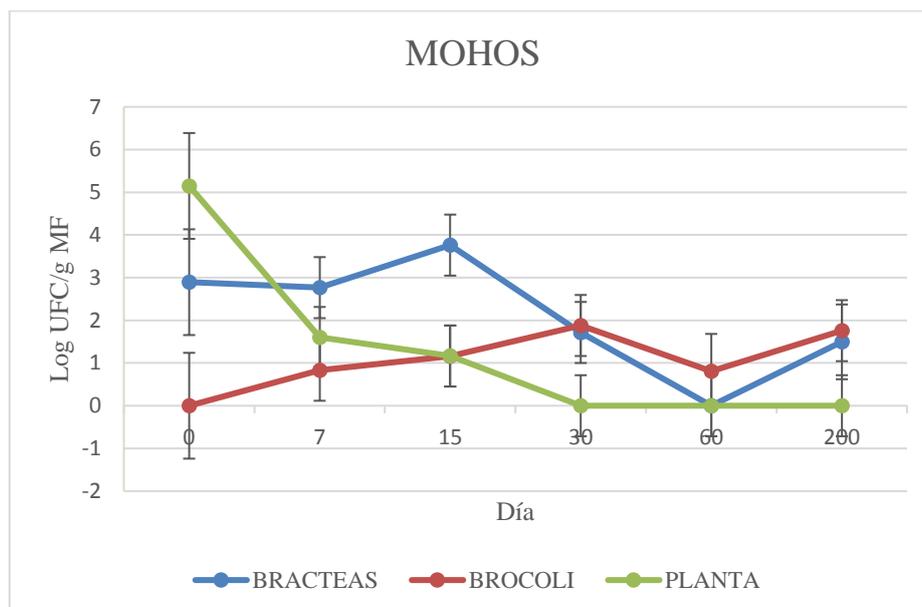


Figura 20. Evolución de las poblaciones de mohos en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

### 4.3 VARIABLES NUTRICIONALES

Se observa en la Figura 21, que el brócoli y la planta aumentan ligeramente las cenizas aunque este incremento es significativo es muy pequeño, hasta el día 30 que ya se mantiene estable, excepto el de brácteas que está estable durante todo el proceso.

Los datos de cenizas del ensilado de trigo (FEDNA, 2012), son similares a los de este estudio.

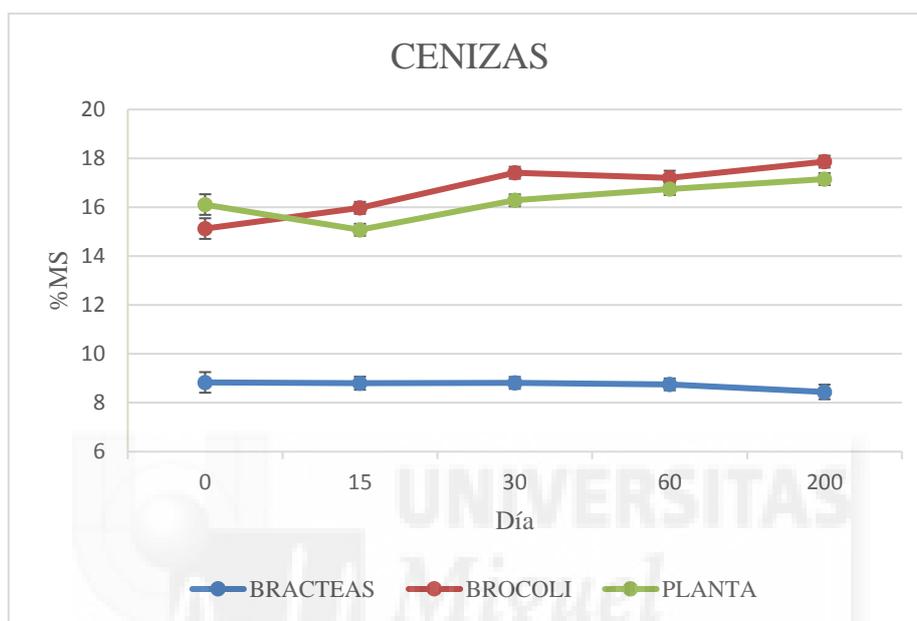


Figura 21. Evolución de las cenizas en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

La materia orgánica (Figura 22), apenas varió a lo largo del proceso. Las brácteas tuvieron mayor valor que el brócoli y la planta de alcachofa, a la inversa que sucedía con la ceniza, como era de esperar.

Los valores obtenidos han sido similares a los obtenidos por (Meneses, 2002 ; Hernández Ruiperez *et al.* 1992).

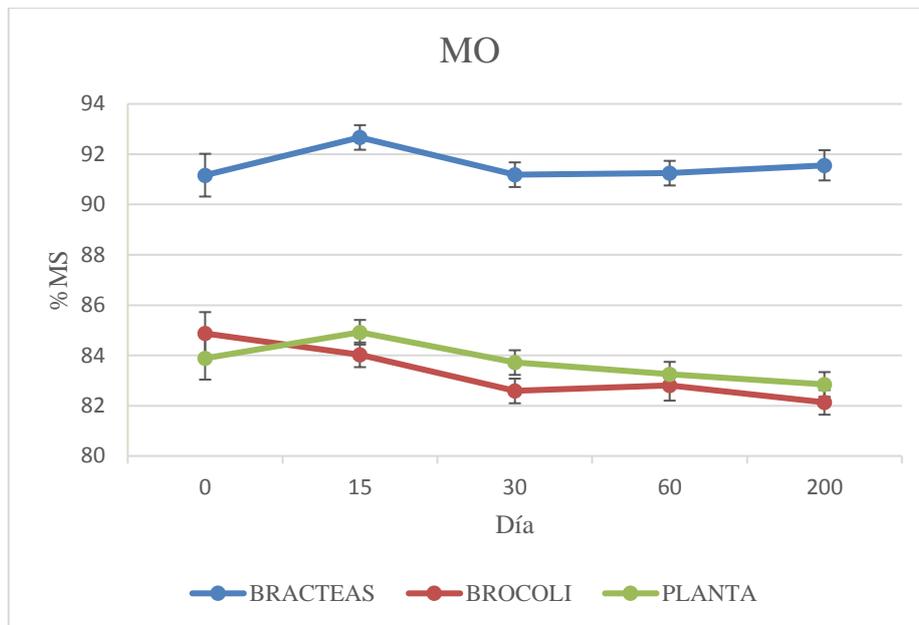


Figura 22. Evolución de la materia orgánica en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En la Figura 23 se observa como, de manera general la grasa bruta aumenta durante el proceso de ensilado, hasta el día 30. A partir de entonces se mantienen estables, aunque el brócoli varió en el día 60 aunque escasamente (0.5%). En el día 200, no se encuentran diferencias significativas, entre los 3 subproductos.

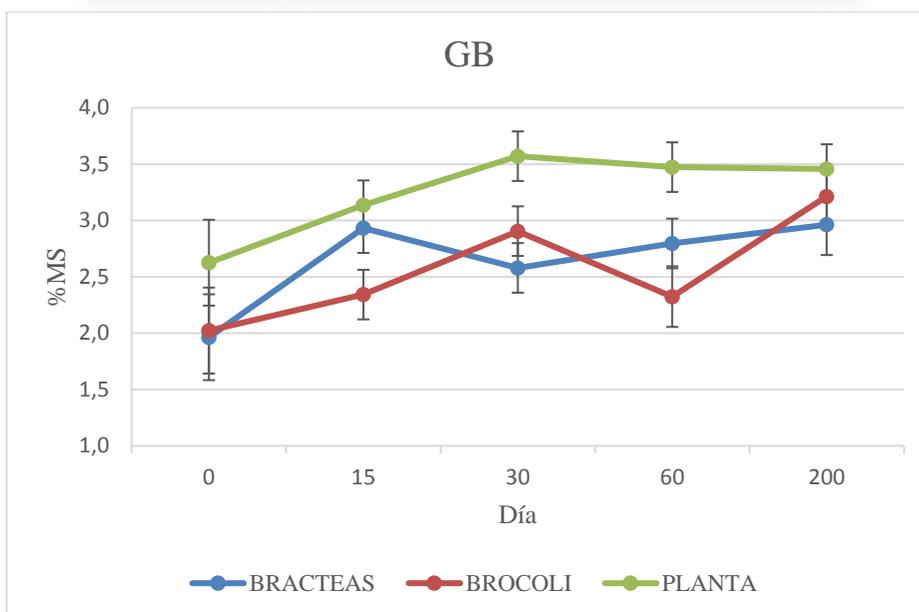


Figura 23. Evolución de la grasa bruta en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En la Figura 24 se observa que, en el día 60 el contenido en fibra bruta del silo de brácteas fue 10 puntos superior al contenido de fibra del día 30, para luego, en el día 200 reducirse de nuevo hasta los niveles previos a los del día 60. De forma similar, en el brócoli se reduce en el día 30 para aumentar después, en el caso de la planta disminuye en todo el proceso excepto en el día 60 que aumenta. Estas variaciones pueden ser debidas al proceso de muestreo de los subproductos, ya que suelen ser heterogéneos. El valor final de la planta es igual al de Tabla 9 según (Meneses, 2002 ; Hernández Ruiperez *et al.* 1992).

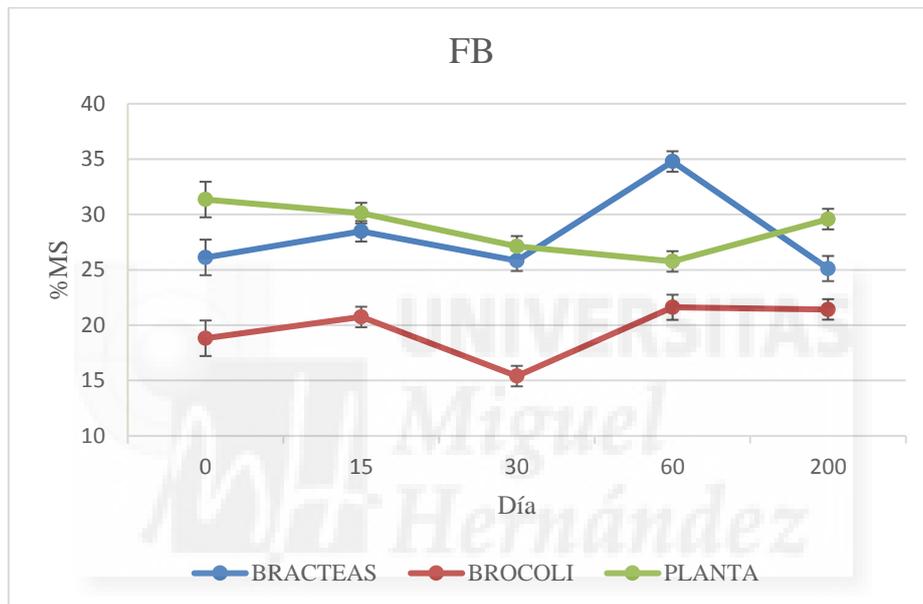


Figura 24. Evolución de la fibra bruta en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

Con respecto a la fibra neutro detergente (Figura 25), se observa que las brácteas y planta permanecen constantes, a diferencia del brócoli, que da valores más pequeños con el tiempo para incrementarse de nuevo a valores similares a los iniciales. Estos resultados siguen la misma tendencia que en la Figura 12 (Meneses, 2002), disminuyendo en el día 30, aumentando hasta llegar a valores parecidos, pero más altos que el día 0. Lo que significa que el proceso de ensilaje aumenta la FND. Estos incrementos de FND, pueden estar asociados a la desaparición de componentes más lábiles cuya destrucción o desaparición aumenta el contenido de otras fracciones propias del material ensilado (Garcés, 1998).

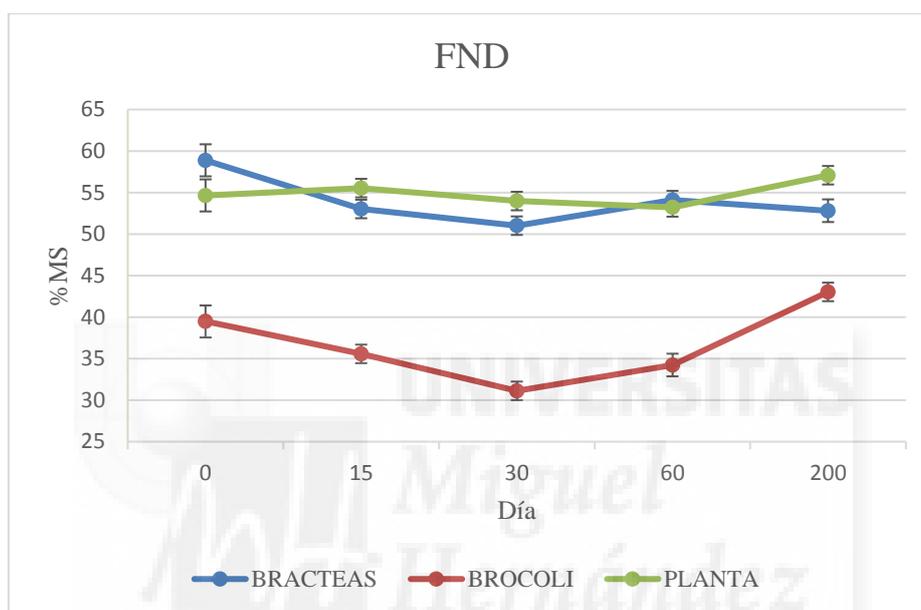


Figura 25. Evolución de la fibra neutro detergente en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En el caso de la fibra ácido detergente (Figura 26), se observa también unas tendencias similares a la fibra neutro detergente aunque esta última es mayor debido a su composición, pero a los 200 días de ensilado los valores de los tres subproductos se igualan, aumentando en el brócoli de manera considerable. Estos pueden estar asociados a la desaparición de componentes más lábiles cuya destrucción o desaparición aumenta el contenido de otras fracciones propias del material ensilado (Garcés, 1998).

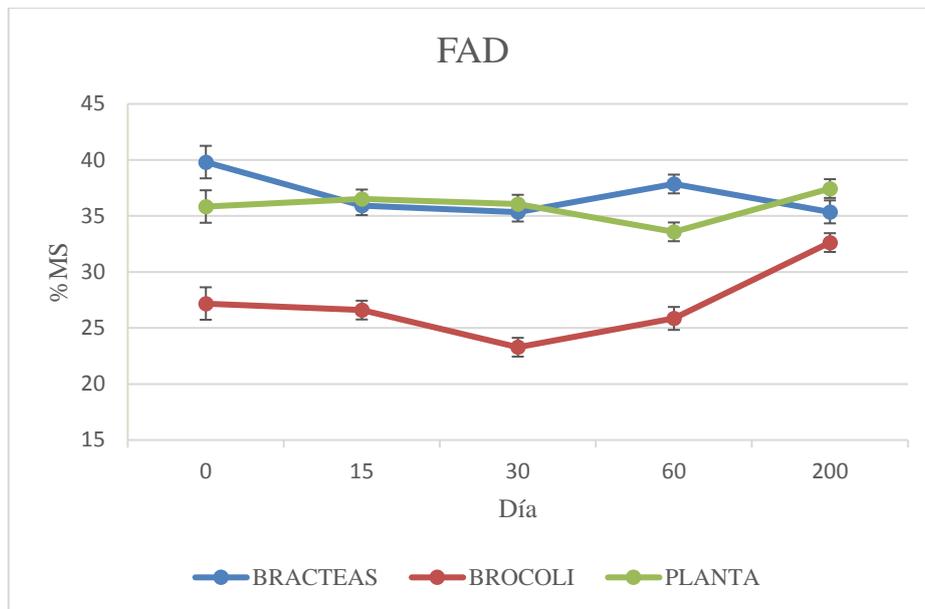


Figura 26. Evolución de la fibra ácido detergente en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En el caso de la lignina (Figura 27) las diferencias observadas se atribuyen a la heterogeneidad de la muestra, como es en el caso del día 0. Se observa que la planta se mantiene más constante, siendo el subproducto que se pica para su ensilado.

Las diferencias observadas, aunque son significativas, son pequeñas (alrededor del 2%).

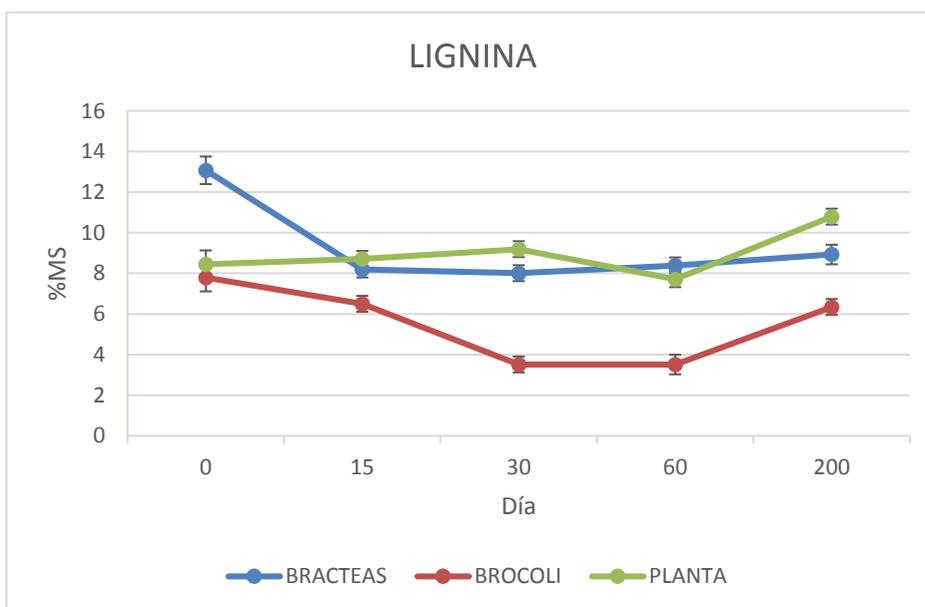


Figura 27. Evolución de lignina en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En el caso de la hemicelulosa (Figura 28) se observa como los tres subproductos se mantienen constante aunque con ligeras variaciones durante todo el proceso de ensilado con valores superiores la planta y las brácteas a diferencia del brócoli, son valores más altos a los de la Tabla 9 según (Meneses, 2002 ; Hernández Ruiperez *et al.* 1992).

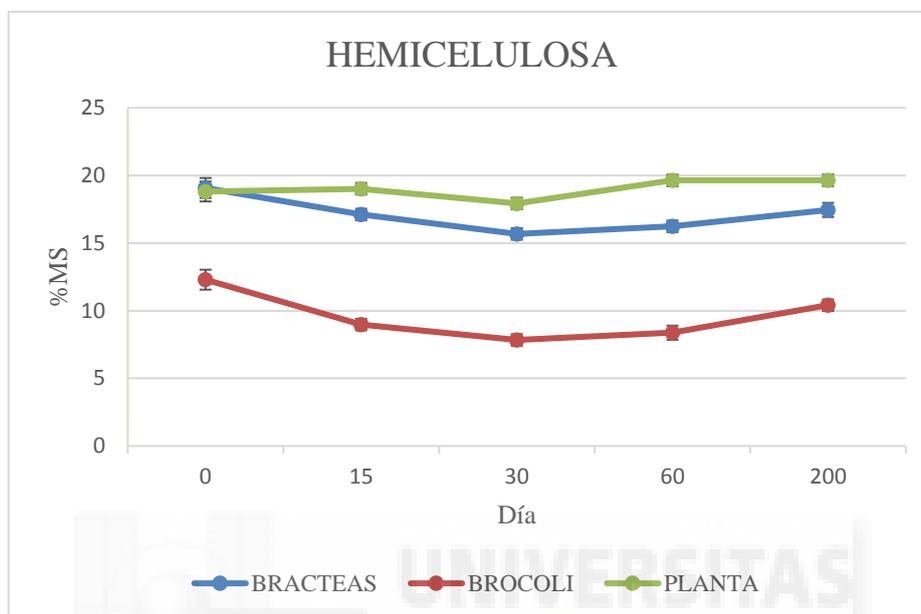


Figura 28. Evolución de la hemicelulosa en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En el caso de la celulosa, se observa en la Figura 29, que durante el proceso de ensilado el brócoli aumenta de manera de considerable a los 200 días, este aumento se puede deber a la heterogeneidad de la muestra, ya que el silo de brócoli también está compuesto por planta de alcachofa estos valores deberían de ser constante. Mientras que la planta y las brácteas presentaron menos variaciones, aunque en el caso de las brácteas hay un pequeño aumento en el día 60.

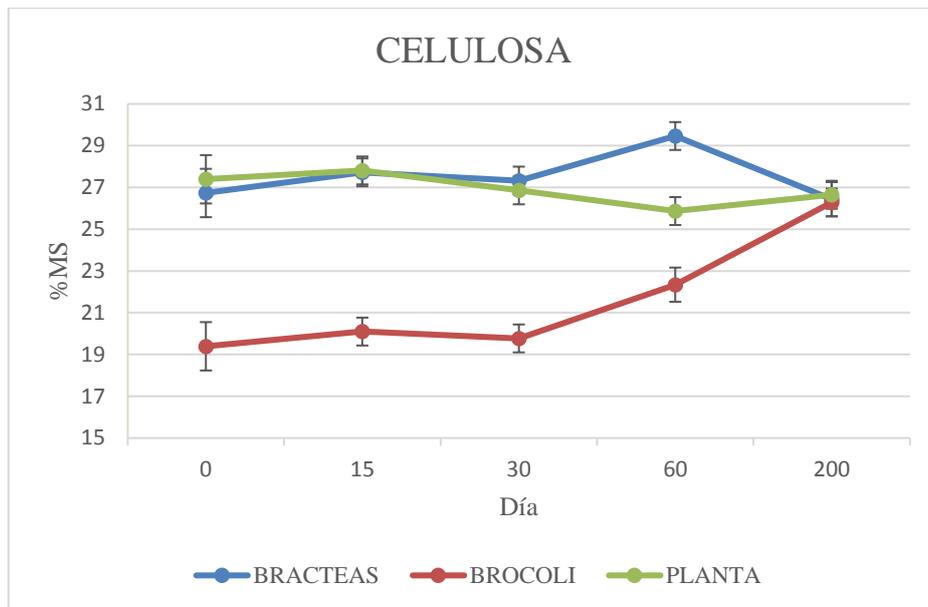


Figura 29. Evolución de la celulosa en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

Respecto a los polifenoles, en la figura 30 se observa como el brócoli y la planta tienen evoluciones similares. Sin embargo, las brácteas aumentan en el día 60 que puede ser debido también a heterogeneidad de la muestra ya que luego vuelvo a disminuir en el día 200, donde se iguala a los demás subproductos.

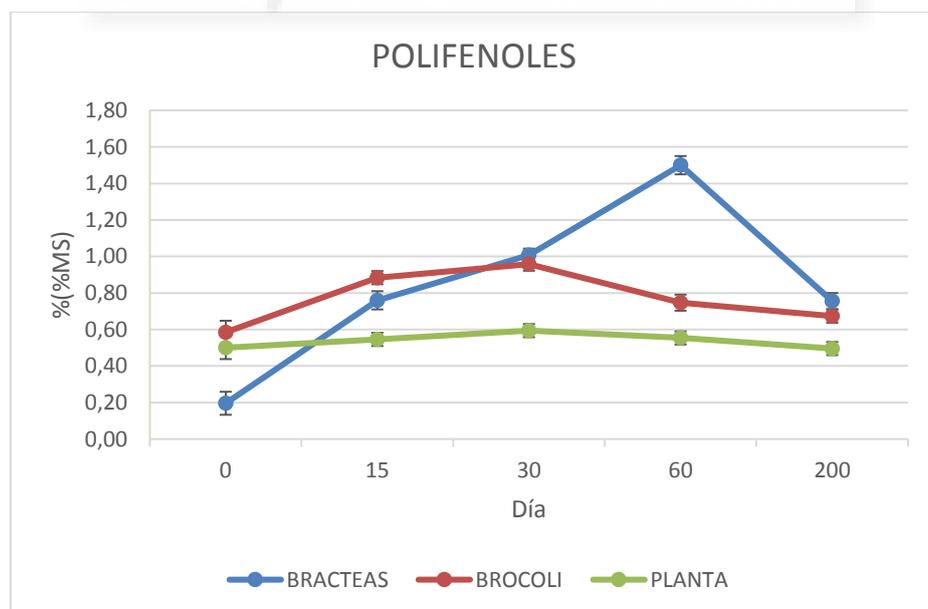


Figura 30. Evolución de los polifenoles en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

Con respecto a la proteína bruta (Figura 31) se observa como la proteína bruta se mantiene estable, de forma similar a observado por Meneses (2002) a excepto en el brócoli el día 60, que disminuye y es inferior en los días 60 y 200. Esta variación también puede ser debido a la heterogeneidad del silo del brócoli.

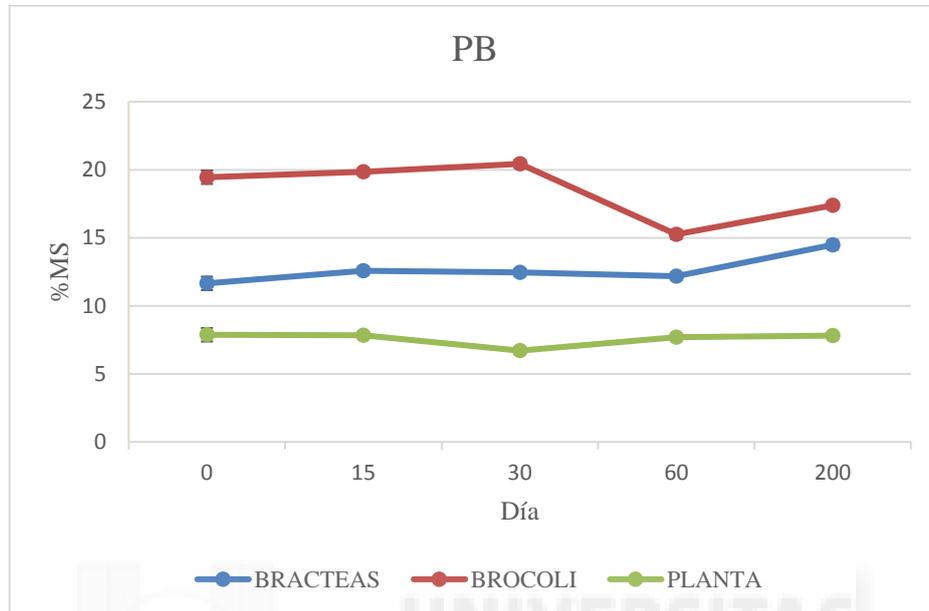


Figura 31. Evolución de la proteína bruta en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

Se observa en la Figura 32 que los tres subproductos carecen de  $\text{NH}_3$  al inicio y a medida que aumentan los días de ensilado aumenta su cantidad debido al proceso fermentativo del ensilado, al igual que lo observado por Meneses (2002).

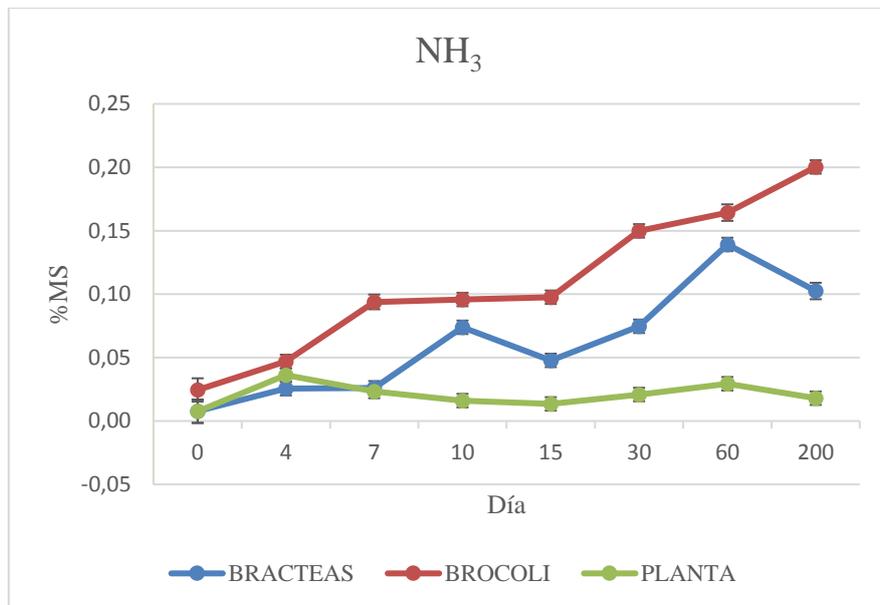


Figura 32. Evolución del NH<sub>3</sub> en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En la Figura 33, se observa cómo los tres subproductos empiezan con cantidades altas de azúcares y al terminar el proceso disminuye con la misma evolución en los tres subproductos. Es de resaltar el brócoli, que disminuye desde 22,26 %MS hasta 3,89 %MS al final de nuestro estudio. Según (Woolford, 1984) esta disminución se debe al efecto de la fermentación de azúcares a ácido láctico por bacterias lácticas, tal y como se observó en la pH (Figura 13) y de acuerdo con (Meneses, 2002).

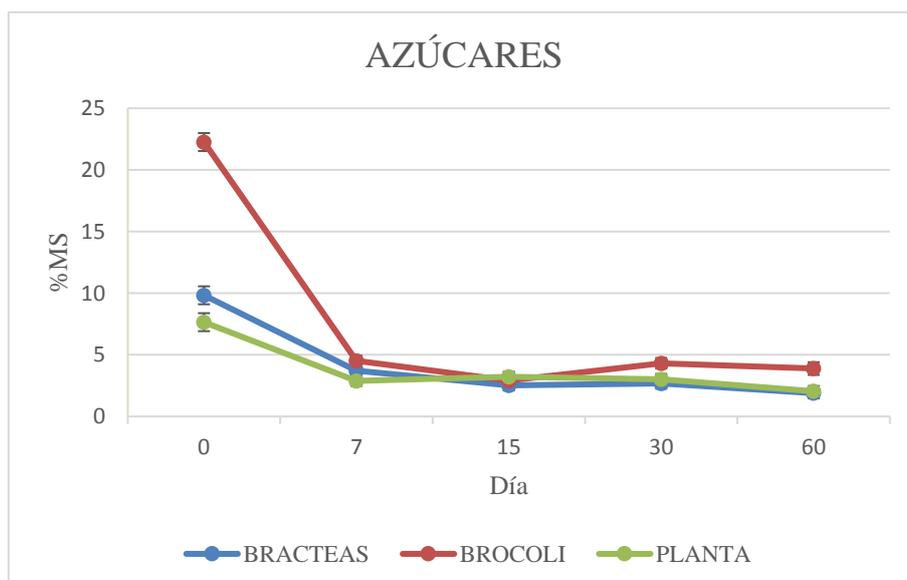


Figura 33. Evolución de los azúcares en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

En el caso de la digestibilidad ruminal in vitro (Figura 34) se observan ligeras oscilaciones a lo largo del proceso que pueden ser debido a la heterogeneidad de la muestra.

La digestibilidad ruminal ha sido elevada en los tres subproductos y mayor en el caso del brócoli (valores superiores al 80%), lo cual es favorable para el uso del producto en alimentación animal especialmente de rumiantes.

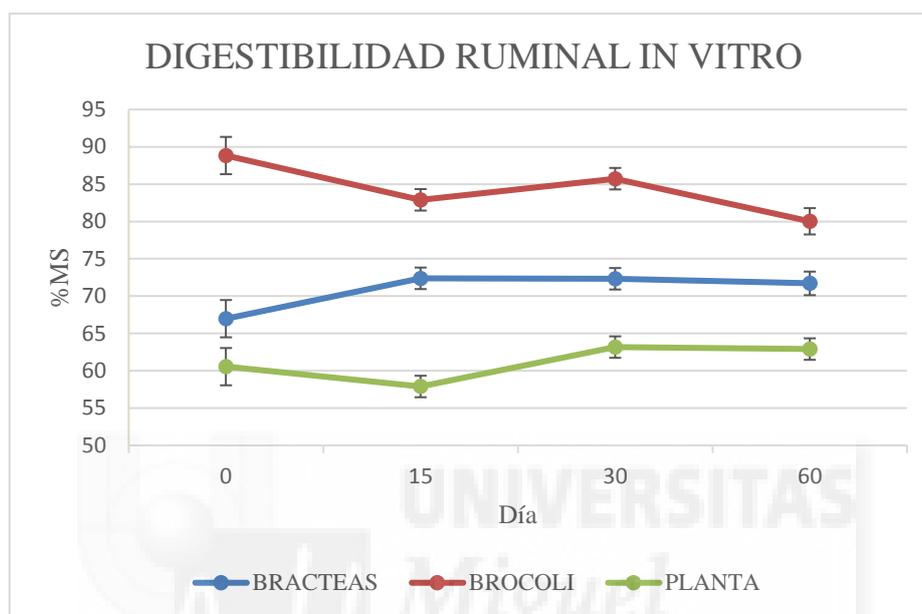


Figura 34. Evolución de la digestibilidad ruminal in vitro en silos de brócoli, brácteas de alcachofa y planta de alcachofa.

## 5. CONCLUSIONES

Las variables analizadas siguieron una tendencia similar a la observada en otros estudios en subproductos agroalimentarios. En general, se logró su estabilización entre los días 4 y 15, según la variable. En los 200 días de conservación de los subproductos ensilados no se observó deterioro de las características físico-químicas ni nutricionales.

Debido a la heterogeneidad de los subproductos, habitual en este tipo de materias primas, se observaron oscilaciones que se consideran no relevantes desde el punto de vista de la aplicación práctica para la alimentación animal.

Se comprobó que el ensilado de los 3 subproductos estudiados es una técnica viable que permite su conservación en el tiempo, no viéndose afectada de forma relevante su composición nutritiva, por lo que podría aconsejarse su utilización para la alimentación de rumiantes.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

Aceites de Semillas, S.A.: <http://www.aceitesdesemillas.com/es/tortas-harinas.php>. Presente en Mayo 2017.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of the AOAC International. 17th Ed. Association of Official Analytical Chemist. Arlington. USA.

Centro regional de estadística de Murcia (2015): <http://www.carm.es/econet/sicrem/PUdatosBasicos/sec49.html>. Presente en Diciembre 2016.

Cerisuelo García, A., Pique Querol, O. (2009). Subproductos agroindustriales en alimentación animal: herramientas para su utilización. Aprovechamiento de subproductos y Tratamiento de Residuos de la Industria Alimentaria y la Producción Animal. Valencia. España.

FEDNA (2010). Tablas de ingredientes para piensos: <http://www.fundacionfedna.org/forrajes/introducci%C3%B3n-forrajes>. Presente en Junio 2017.

FEDNA (2016). Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos: <http://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-piensos>. Presente en Junio 2017.

Gasa, J., Castillo, C. (1991). Criterios de utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes. Hojas divulgativas del ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Núm. 13/91 HD.

Garcés, N.C. (1998). Un estudio sobre la utilización de subproductos agrícolas y agroindustria valenciana para la alimentación animal. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Generalitat Valenciana (2015). Estadísticas agrarias: <http://www.agroambient.gva.es/estadisticas1>. Presente en Diciembre 2016.

Hernández Ruiperez, F., Pulgar Gutiérrez, M.A., Cid Díaz, J.M., Moreno Ríos, R., Ocio Trueba, E. (1992). Valoración nutritiva de residuos de alcachofa (“*Cynara scolymus*. L”): Hojas desecadas al sol y planta completa ensilada. Arch. Zootec, 41, 257-264.

Instituto de estadística y cartografía de Andalucía (2011): <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/anuario/anuario12/anuario12c06.htm>. Presente en Diciembre 2016.

Kim, D.O., Seung, W.J., Milne, J.A. (2003) Comparative preference by sheep and goats for Gramineae forages varying in chemical composition. *Small Ruminant Research*, 49: 147-156.

MAGRAMA (2012). Estadísticas de superficie y producciones anuales de cultivo: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>. Presente en Diciembre 2016.

McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A. (2006). *Nutrición animal*. Ed 6. Edit. Acribia. Cap. 20: 437-440.

McDonald, P., Henderson, N., Herson, S. (1991). *The biochemistry of silage*. Chalcombe Publications, Marlow, p. 340.

Meneses, M. (2002). Evaluación nutritiva y fermentativa del ensilado de los subproductos agroindustriales, brócoli ("Brassica oleracea, L. var. Itálica") y alcachofa ("Cynara scolymus. L") para su empleo en alimentación animal. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.

Menke, H.H., Steingass, H. (1988). Estimation of the Energetic Feed Value Obtained from Chemical Analysis and in vitro Gas Production Using Rumen Fluid. *Animal Research and Development*. 28: 7-55.

Ni, K., Minh, T., Tsuruta., T, Pang, H., Nishino, N. (2017). Comparative microbiota assessment of wilted Italian ryegrass, whole crop corn, and wilted alfalfa silage using denaturing gradient gel electrophoresis and nextgeneration sequencing. *Appl. Microbiol. Bio*. 101, 1385–1394.

Oude Elferink, S.J.W.H., Driehuis, F., Gottschas., J.C. Spoelstra, S.F. (2001). Estudio FAO Producción y Protección vegetal. Estudio 2.0. Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. FAO: <http://www.fao.org/3/contents/5645cc42-5f28-579c-a4fc-4fb17e92014c/x8486s04.htm>. Presente en Mayo 2016.

Parsi, J., Gobio, L., Miazzi, R., Maffioli, R., Echevarria, A., Provencal, P. (2001). Valoración nutritiva de los alimentos y formulación de dietas. Curso de Producción Animal. FAV UNRC. Argentina. 1 – 24.

REGLAMENTO (CE) N° 1069/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO DE 21 de Octubre de 2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos de derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) n° 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales): <https://www.boe.es/doue/2009/300/L00001-00033.pdf>. Presente en Diciembre 2016.

SAS®, (2012). User's Guide: Statistics. The Mixed Procedure. Version 9.2. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.

Schimf, O.G. (2014). Granos de oleaginosas. FAO: <http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/oilseeds/es/>. Presente en Mayo 2017.

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Ed 2. Edit. Comstock. Cornell University Press., 476 pp.

Wattiaux, M. (1991). Introducción al proceso de ensilaje. En: Novedades Lácteas. Feeding, 502.

Weissbach, F., Honig, H., (1996). Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfutter aus extensivem Anbau. Edit. Landbauforsch. Volk. 1: 10–17.

Woolford, M.K. (1984). The silage fermentation. Microbiological Series, vol. 14. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.

