UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Uso de un residuo de papel como suplemento para vacas lecheras

George Oneiber Jaime Tenjo

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento de Producción Animal

Bogotá D.C., Colombia

2.019

Uso de un residuo de papel como suplemento para vacas lecheras

George Oneiber Jaime Tenjo

Tesis como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Producción Animal

Director:

Gustavo Álvaro Wills Franco Zoot. MSc.

Línea de Investigación:

Nutrición Animal

Grupo de Investigación:

Nutrición Animal

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento de Producción Animal

Bogotá D.C., Colombia

2.019

Dedicatoria y lema

A Dios por siempre estar conmigo, a mis padres y hermanos por su cariño e infinito apoyo, a Minyis porque en el camino encuentras personas que iluminan tu vida y que con su amor y apoyo alcanzas de una mejor manera tus metas, al Dr. Alejandro Uribe (Q.E.P.D) por su gran influencia en mi vida. Mil y mil gracias.

Creo que, si tienes la desición y la pasión para hacer algo, y Dios lo quiere, lograrás hacerlo en el tiempo correcto.

Nick Vujicic

Agradecimientos

Al Dr. Gustavo Álvaro Wills quien, con su conocimiento, experiencia, motivación y paciencia, me oriento en la realización de este trabajo. Gracias por su confianza.

Al Dr. Juan Carulla, por sus valiosos aportes en el desarrollo de este trabajo.

A la empresa “Productos Familia Cajicá S.A.S”, quienes mostraron su interés desde el comienzo y apoyaron económicamente esta investigación y por el suministro de la materia prima (SIP).

A la Dra. Nhora Martínez, por su calidez y gran apoyo en la parte estadística de la tesis y a Alirio Cruz por sus grandes aportes.

A mis amigos Bryan, Camilo y en especial a Juan, gracias por su apoyo permanente e incondicional, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas.

Al Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia UNAL, Sede Bogotá por el apoyo en los análisis químicos y ensayos *In situ* e *In vitro* de esta tesis, especialmente a Caroll Cortés y Luisa Segura.

Al Centro de Investigación Agropecuario Marengo UNAL, Sede Bogotá por facilitar la logística necesaria para la fase de campo de esta tesis y en especial al Dr. Jorge Zambrano, Ing. Yoni Fajardo y Felipe Maldonado.

A Jairo Cristiano, Marcos Abril y Juan Guillermo Báez por su colaboración en la fase de campo.

Y a todas aquellas personas que de alguna forma tuvieron que ver con el desarrollo de este trabajo, muchas gracias.

Resumen

Se determinó la calidad nutricional, aceptación y el efecto de la inclusión de subproductos de la industria del papel (SIP) sobre la producción y composición de la leche, cambio de peso vivo, condición corporal y consumo de MS. Inicialmente, se realizó un tratamiento de amonificación (úrea al 4%), con el fin de mejorar la calidad nutricional del SIP (PC, *DIVMS*, FDN, principalmente), no obstante, no se evidenciaron diferencias al aplicar este tratamiento a este tipo de producto por lo cual los experimentos se realizaron con el SIP sin amonificar. En el primer experimento se se analizó la composición nutricional de 12 muestras de los SIP de diferentes lotes de producción y la degradabilidad *In situ* de la MS y FDA de una muestra de los SIP. Para la calidad nutricional de los SIP, los contenidos promedio de PC fueron bajos (1,5 %), los valores promedio para la MS, *DIVMS* y *DIVMO* y lignina fueron 53,7, 68,4, 47,7 y 4,9% respectivamente; se encontraron niveles de FDN, FDA y cenizas de 59,6, 48,3 y 53,3% respectivamente, además, se encontraron bajos niveles de minerales como P, K y altos niveles de Ca, Zn, Fe y Cu. Para la degradabilidad *In situ* de la MS y FDA se utilizó una muestra de los SIP y fue evaluada durante 48 horas, con 7 tiempos de incubación en el rumen. Para el tiempo 0, la degradabilidad *In situ* de la MS y FDA fue de 11,3 y 25,9% respectivamente, con un aumento rápido hasta las 24 horas y un menor incremento hasta las 48 horas (62,1 y 45,5% para MS y FDA respectivamente). La tasa de degradación estimada de la muestra de SIP (*kd* % h^{-1}) fue 11,8 y la degradabilidad efectiva (DE 5% h^{-1}) fue 46,9. Luego se determinó la aceptación por consumo de los SIP con una inclusión del 10% de la dieta de novillas, en un primer grupo experimental, se evaluó la aceptación por los animales de los SIP con glicerol (G) o melaza (M) como palatabilizantes (20% de los SIP) y en un segundo grupo experimental se evaluó la aceptación de los SIP y los mismos palatabilizantes y suplemento comercial (SC). Para el grupo experimental 1, los SIP con palatabilizantes tuvieron el mayor consumo (SIP+M y SIP+G, 41 y 33% de la MS ofrecida respectivamente, respecto al consumo de los SIP sin palatabilizantes el cuál tuvo un consumo del 2,8% de la MS ofrecida ($p < 0,05$); para el grupo experimental 2, el mayor consumo se encontró con la mezcla de los SIP+SC+M

(89% de la MS ofrecida) y respecto al consumo de los SIP+SC y SIP+SC+G (75 y 73% de la MS ofrecida respectivamente p <0.005). En un segundo experimento se determinó, la respuesta de vacas lecheras a la inclusión de los SIP en la ración, evaluando la producción y composición de la leche, cambio de peso vivo, condición corporal y consumo de MS de los animales. El tratamiento evaluado fue el que tuvo el mayor consumo por los animales en el experimento 1 (SIP+M+SC), para el caso de las vacas lecheras correspondió a: SIP 10% de la dieta (1,6 kg de MS), melaza 20% de los SIP (0,32 kg de MS) y suplemento comercial. El consumo total de MS, consumo de MS del forraje y el consumo de MS digestible, no fueron afectados por la inclusión de los SIP en la dieta (p >0,05). La producción de leche y leche corregida por energía (LCE), no presentaron diferencias significativas (p >0,05) por efecto del tratamiento, (sin embargo, se presentó un efecto residual del tratamiento sobre estas variables en el segundo periodo). Respecto a la calidad de la leche, el porcentaje de grasa, proteína y sólidos totales de la leche, no fueron afectadas por la inclusión de los SIP en la ración (p >0,05). La condición corporal de los animales no se afectó por la inclusión de los SIP en la dieta (p >0,05), mientras que, el peso corporal de los animales fue afectado por la inclusión de los SIP (p <0,05), ya que en los dos periodos los animales que recibieron el tratamiento con los SIP presentaron pérdida de peso. Los SIP provenientes de la empresa productora de papel son homogéneos en su composición, presentan una baja calidad nutricional y una rápida degradación *In situ* durante las primeras 24 horas. El SIP tiene baja aceptación por los animales, la cual se incrementa con el uso de palatabilizantes, lográndose su mayor consumo cuando se suministra mezclado con melaza y suplemento comercial. La inclusión de 10% de SIP en la ración de vacas lecheras, no tuvo efectos en la producción, LCE, calidad de leche, condición corporal de los animales, pero sí en el peso vivo de los animales.

Palabras claves: Co-producto de la industria del papel (SIP), destintado, aceptabilidad, consumo, producción y calidad de leche, peso y condición corporal.

Abstract

The nutritional quality, acceptance and the effect of the inclusion of byproducts of the paper industry (BPI) in the production and composition of milk, change of live weight, corporal condition, and intake of DM were determined. Initially, an ammonification treatment (urea at 4%), with the objective of improving the nutritional quality of BPI (CP, *IVDMD*, NDF, mainly). However, there was no evidence of any differences at the time of applying this type of product. For this reason, the experiments were carried out with BPI without ammonification. In the first experiment, we analyzed the nutritional composition of twelve samples of BPI from different lots of production and the degradability *In situ* of the DM and ADF from a sample of BPI. For the nutritional quality, the average contents of CP were low (1.5%), the DM, *IVDMD* and *IVOMD* and average lignin were 57.3, 68.4, 47.7 and 4.9 % respectively. We also found levels of NDF, ADF and ash content of 59.6, 48.3 and 53.3% respectively. Low levels of minerals such as P, K, and high levels of Ca, Zn, Fe and Cu were also found. For the *In situ* degradability of the DM and ADF, a sample of BPI was used and evaluate during 48 hours, with 7 times of rumen incubation. For time 0, the *in situ* degradability of the DM and ADF was 11.3 and 25.9% respectively, with a quick increase up to hour 24, with values of 55.4% and 42.7% for DM and ADF respectively and with a lowering increase at hour 48 (62.1% and 45.5% for DM and ADF respectively). The rate of degradation of the DM of BPI sample (*kd % h-1*) was 11.8 and the effective degradability (of 5% h-1) was 46.9. Next, we determined the acceptance by intake of BPI with an inclusion of 10% in the diet of heifers. In the first experimental group, we evaluated the acceptance by the animals of the BPI, glycerol (G) or molasses (M) as palatability agents (20% of the BPI). In the second experimental group, the BPI, the same palatability agents and commercial supplement (CS) were evaluated. For experimental group 1, the BPI and the palatability agents had the highest intake (BPI+M and BPI+G, at 41% and 33% of the

DM offered respectively, respect to the intake of the BPI without any palatability agents, which had intake of 2.8% of the DM offered p <0.05). For experimental group 2, the highest intake was found when providing a mixture of BPI+CS+M (89% of the DM offered) and a lower intake with BPI+CS and BPI+CS+G (75 and 73% of the DM offered respectively; p <0.05). In the second experiment, we determined the response of milking cows to the inclusion of BPI in the rations, assessing the production and the milk composition, the change of live weight, the body condition and the intake of DM in the animals. The treatment assessed was the one that had the highest intake for the animals in experiment 1 (BPI+M+CS). In the case of the dairy cows, it corresponds to BPI being 10% of the diet (1.6 Kg DM) molasses 20% of the BPI (0.32 kg de MS) and commercial supplement. The total intake of DM, intake of forage DM, and intake of digestible DM were not affected by the inclusion of BPI in the diet (p >0,05). The production of milk and energy corrected milk (ECM) did not present any significant difference (p >0.05) under the effect of the treatment (however, there was a residual effect of the treatment over these variables in the second period). Regarding the quality of milk; the percentage of fat, proteins and total solids of the milk were not affected by the inclusion of the BPI in the rations (p >0,05). The body condition of the animals was not affected by the BPI in the diet (p >0.05), while the corporal weight of the animals was affected by the inclusion of BPI (p <0.05), because in both periods the animals that go the treatment with the BPI experimented weight loss. The BPI produced by the paper manufacturing companies are homogeneous in their composition, present a low nutritional quality and a rapid *In situ* degradation during the first 24 hours. BPI have low acceptance levels by the animals, which can be increased by using palatability agents, achieving higher intake when they are administered mixed with commercial supplement and molasses. The inclusion of 10% of BPI in the rations of milking cows, did not have any effect in the production, ECM, quality of the milk or body condition of the animals, but it did have an effect in their live weight.

***Key words*:** Byproducts of the paper industry (BPI), de-inked, acceptability, intake, production and quality of milk, weight and body condition.

Contenido

Pág.

Resumen IX

Abstract XI

Lista de figuras XVI

Lista de tablas XVII

Lista de abreviaturas XX

Introducción 1

1. Revisión de literatura: Uso de residuos de papel como suplemento para vacas lecheras 7

Resumen 7
Abstract 8
1.1 Introducción 9
1.2 Tipos de residuos generados durante el proceso de producción de papel 12
1.3 Generación de los lodos residuales 13
1.4 Composición de los lodos residuales 14
1.5 Lodos de destintado (Subproductos de la industria del Papel - SIP) 16
1.6 Uso de residuos y subproductos de papel en alimentación animal 19
1.7 Tratamientos para mejorar la calidad nutricional de los residuos lignocelulósicos 22
1.8 Conclusiones 24
1.9 Referencias bibliográficas 25

2. Caracterización química, digestibilidad *in vitro*, degradabilidad ruminal y prueba de aceptación por los bovinos de los subproductos de la industria del papel (SIP), generados por una empresa productora de papel 31

Resumen 31

Abstract 32
2.1 Introducción 34
2.2 Materiales y métodos 36
2.2.1 Fase pre -experimental Tratamiento de amonificación 37
Resultados de fase pre-experimental Tratamiento de amonificación 37
2.2.2 Localización 38
2.2.3 Periodo experimental y tratamientos 39
2.2.4 Animales y manejo 40
2.2.5 Mediciones 41
2.2.6 Diseño experimental 43
2.3 Resultados y discusión 44
2.3.1 Resultados de la caracterización química, digestibilidad In vitro de los SIP ... 44
2.3.2 Resultados de la degradabilidad ruminal "In situ" de la MS y FDA de los SIP 48
2.3.3 Resultados de la prueba de aceptación (consumo) 52
2.4 Conclusiones 55
2.5 Referencias bibliográficas 57

3. Efecto de la inclusión de los subproductos de la industria del papel (SIP) como parte de la ración en la producción y composición de la leche, cambio de peso vivo y condición corporal en vacas lecheras 63

Resumen 63
Abstract 64
3.1 Introducción 65
3.2 Materiales y métodos 67
3.2.1 Localización 67
3.2.2 Tratamiento experimental 67
3.2.3 Manejo de praderas 68
3.2.4 Animales y manejo 68
3.2.5 Período experimental 68
3.2.6 Mediciones y toma de muestras de laboratorio 68
3.2.7 Análisis químicos 70
3.2.8 Diseño experimental 71
3.3 Resultados 72
3.3.1 Características de los alimentos 72
3.3.2 Consumo de materia seca 75
3.3.3 Producción de leche 77
3.3.4 Leche corregida por energía 79
3.3.5 Calidad de la leche 80
3.3.6 Peso vivo y condición corporal 84
3.4 Discusión 86
3.4.1 Consumo de materia seca y MS digestible de la dieta 86
3.4.2 Producción de leche 89
3.4.3 Calidad de la leche 91
3.4.4 Peso corporal y condición corporal 93
3.5 Conclusiones 96
3.6 Referencias bibliográficas 96

4. Discusión general, conclusiones y recomendaciones 103

4.1 Discusión general.....103
4.2 Conclusiones 106
4.3 Recomendaciones 107

5. Anexos. 109

5.1 Anexo 1. Análisis estadístico variables evaluadas capítulo 2. 109
5.2 Anexo 2. Análisis estadístico variables evaluadas capítulo 3. 122

Lista de figuras

Figura 1-1 Fibras para la fabricación de papel en Colombia. 10

Figura 1-2 Diagrama del sistema productivo del papel Tisú y Kraft. 11

Figura 1-3 Esquema de preparación de pasta destintado y generación de los lodos de destintado (Subproductos de la Industria del papel - SIP). 16

Figura 2-1 Distribución de los tratamientos en la prueba de aceptación de los SIP 41

Figura 2-2 Patrón de degradabilidad "*In situ*" de la MS y FDA de una muestra de SIP ... 49

Figura 3-1 Producción de leche en las vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación. 78

Figura 3-2 Porcentaje de grasa en leche en vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación. 81

Figura 3-3 Porcentaje de proteína en leche en vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación. 82

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1 Composición del contenido de materia seca de los sólidos por flujo en fábricas de papel. 14

Tabla 1-2 Análisis de lodos producidos de diferentes fuentes. 15

Tabla 1-3 Análisis microbiológico y toxicológico y de peligrosidad de los SIP generados por la empresa "Productos Familia Cajicá S.A.S" 18

Tabla 1-4 Parámetros químicos de los SIP de la empresa “Productos Familia Cajicá S.A.S” 19

Tabla 2-1 Comparación de subproductos de la industria de papel (SIP) sin y con tratamiento de amonificación con úrea (30 días). 38

Tabla 2-2 Cantidad de MS ofrecida y composición de los tratamientos para el grupo experimental 1. 39

Tabla 2-3 Cantidad de MS ofrecida y composición de los tratamientos para el grupo experimental 2. 40

Tabla 2-4 Análisis químico, *DIVMS* y *DIVMO* de diferentes muestras de SIP (12 días de producción). 44

Tabla 2-5 Composición mineral de diferentes muestras de producción de SIP (12 días de producción). 47

Tabla 2-6 Degradabilidad “*In situ*” de la MS y FDA de una muestra de SIP 48

Tabla 2-7 Parámetros de la cinética ruminal “*In situ*” de la MS y FDA de una muestra de SIP. 50

Tabla 2-8 Consumo de MS de los tratamientos utilizando SIP, glicerol y melaza como parte de la ración de novillas Holstein (Grupo experimental 1).....53

Tabla 2-9 Consumo de MS de los tratamientos utilizando SIP, suplemento comercial, glicerol y melaza como parte de la ración de novillas Holstein (Grupo experimental 2)…54

Tabla 3-1 Composición química de los Subproductos de la industria de papel (SIP) utilizada en el experimento 2.....72

Tabla 3-2 Composición química del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), tratamiento control y experimental en el periodo 1 de evaluación.....73

Tabla 3-3 Composición química del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), tratamiento control y experimental en el periodo 2 de evaluación.....74

Tabla 3-4 Efecto del tratamiento experimental (SIP) sobre el consumo de MS del forraje, consumo total de MS y MS digestible de la dieta, en las vacas en los dos periodos de evaluación.....75

Tabla 3-5 Análisis de varianza para el efecto del tratamiento experimental (SIP), sobre el consumo de MS del forraje, consumo total de MS y MS digestible de la dieta en las vacas. 75

Tabla 3-6 Consumo de MS del forraje, consumo total de MS, producción de leche y relación producción de leche y consumo de MS total (periodo de evaluación 1).....76

Tabla 3-7 Consumo de MS del forraje, consumo total de MS, producción de leche y relación producción de leche y consumo de MS total (periodo de evaluación 2).....77

Tabla 3-8 Leche corregida por energía (LCE) en las vacas consumiendo dieta control y SIP (1er periodo de evaluación).....79

Tabla 3-9 Leche corregida por energía (LCE) en las vacas consumiendo dieta control y SIP (2do periodo de evaluación) 79

Tabla 3-10 Análisis de varianza para producción de leche y leche corregida por energía (LCE) de las vacas alimentadas con la dieta control y SIP.....80

Tabla 3-11 Análisis de varianza para las variables de calidad (grasa, proteína y sólidos totales) de la leche de las vacas alimentadas con la dieta control y SIP 82

Tabla 3-12 Sólidos totales en leche (%) en vacas consumiendo dieta control y SIP (1er periodo de evaluación).....84

Tabla 3-13 Sólidos totales en leche (%) en vacas consumiendo dieta control y SIP (2do. periodo de evaluación).....84

Tabla 3-14 Peso vivo (kg) de las vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación..... 85

Tabla 3-15 Condición corporal de las vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación..... 85

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
AGVs	Ácidos grasos volátiles
SIP	Subproductos de la industria del Papel
DE	Degradabilidad efectiva
DIVMO	Digestibilidad *In vitro* de la materia orgánica
DIVMS	Digestibilidad *In vitro* de la materia seca
EE	Extracto etéreo
FDA	Fibra en detergente ácido
FDAi	Fibra en detergente ácido indigerible
FDN	Fibra en detergente neutro
FDNO	Fibra en detergente neutro orgánico
G	Glicerol
LCE	Leche corregida por energía
M	Melaza
MS	Materia seca
PC	Proteína cruda
SC	Suplemento comercial
SO	Suplemento ordeño
ST	Suplemento tarde

Introducción

La producción de leche en Colombia ha venido presentando un crecimiento y desarrollo durante los últimos años, lo cual resulta trascendental para la estructura económica y social de las zonas rurales (CCI, 2013).

De acuerdo con estadísticas de FEDEGAN (2018), la producción nacional de leche tuvo un incremento aproximado de 6% entre los años 2010 a 2014, donde se pasó de 6.335 millones a 6.717 millones de litros/año. Durante los años 2015 y 2016 cayó la producción a 6.623 y 6.391 millones de litros respectivamente (relacionada con la presencia del fenómeno del Niño), y para el año 2017 tuvo un incremento del 11% llegando a 7.094 millones de litros/año. En cuanto al consumo per cápita de leche en el país ha venido creciendo, y para el año 2017 se estimó en 145 litros/persona/año.

La cuenca lechera de Cundinamarca, está conformada por 116 municipios agrupados en 15 provincias y el Distrito Capital de Bogotá (CCI, 2013). Las Evaluaciones Agropecuarias del departamento de Cundinamarca para el año 2017, señalan que para este departamento se registró un inventario bovino de 1.351.073 animales, en donde el 29.7% de este inventario se destinó para la producción de leche (402.218 vacas en ordeño) y con una producción de 4.361.997 litros de leche/día (Secretaría de Agricultura de Cundinamarca, 2018). La Provincia de Ubaté que hace parte de la cuenca lechera de Cundinamarca, se encuentra localizada al norte del departamento y su jurisdicción comprende los municipios de Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque, Simijáca, Susa, Sutatausa, Tausa y Ubaté (cabecera de provincia) (Cámara de Comercio de Bogotá, 2013).

La Secretaría de Agricultura de Cundinamarca, (2018), reporta para el año 2017 en la provincia de Ubaté, un total de 76.612 hectáreas destinadas para pastos y un inventario bovino de 117.641 animales de los cuales el 58,3% se destinan a la producción de leche, un 30,8% al sistema denominado doble propósito y un 10,7% para la producción de carne.

También se reportó para el 2017, una producción de 831.318 litros de leche/día, que corresponden al 19% de la leche producida en el departamento de Cundinamarca.

Las condiciones climáticas que presenta la provincia de Ubaté bajo condiciones de régimen de precipitación normal, tienen un comportamiento bimodal, el primer periodo lluvioso corresponde a los meses de marzo a mayo (35% de la precipitación), el segundo período de lluvias a los meses de octubre y noviembre (28% de la precipitación), con un periodo seco entre junio a septiembre (21% de la precipitación) y otro periodo de transición seco entre diciembre a febrero (16% de la precipitación). La precipitación anual en el valle de Ubaté y Chiquinquirá aumenta de sur a norte, fluctuando de 700 mm/año en la Laguna de Cucunubá a 1.500 mm/año en la parte baja de la cuenca del Río Suárez (CAR, 2006).

La evaporación promedio de esta zona, se encuentra entre el rango de 66,7 a 98,6 mm/mes, los municipios que están en la zona norte de la Provincia de Ubaté registran una evaporación anual en promedio llega a 916 mm/año, en contraste con los municipios de la zona sur de la provincia (Tausa, Cucunubá, Sutatausa, Carmen de Carupa y Ubaté) que pueden alcanzar valores superiores a 1000 mm al año (CAR, 2006).

Teniendo en cuenta los parámetros de precipitación y evaporación se puede establecer de manera general un balance hídrico y de acuerdo a los valores reportados para la provincia de Ubaté (CAR, 2006) esta zona puede llegar a tener un balance hídrico negativo durante 7 a 8 meses al año, este balance hídrico negativo se puede acentuar por la presencia de anormalidades climáticas como el fenómeno de “El Niño”.

Las variaciones climáticas pueden generar una marcada estacionalidad en la producción de los forrajes, donde se encuentra una alta disponibilidad y calidad de estos durante el período de lluvias, mientras que su disponibilidad y calidad disminuye durante el período de baja precipitación (Cardona, 2013).

Por otra parte, a través de las prácticas forestales y agrícolas, industrias del papel, de pulpa de madera, y muchas otras industrias, se están generando grandes cantidades de "residuos" lignocelulósicos, los cuales suponen una contaminación ambiental ya que gran parte de los residuos generados en este tipo de industrias son a menudo eliminados mediante la combustión de biomasa (Howard *et al*., 2003). Sin embargo, la capacidad que

tienen los rumiantes para digerir materiales con alto contenido de celulosa puede disminuir en parte los problemas de eliminación de algunos productos de desecho (Combe y Briggs, 1974).

Algunos autores, han evaluado el uso de residuos de la fabricación de papel y de la pulpa de papel (lignocelulósicos) en la alimentación de rumiantes, entre los cuales se encuentran los trabajos realizados por Mertens *et al.,* (1971), quienes evaluaron residuos de papel con inclusiones del 10 y 20% en dietas de vacas lecheras y su efecto en producción y composición de leche; Millet *et al.,* (1973), determinaron el efecto de la inclusión de 50% de pulpa de papel en la dieta de novillos; Combe y Briggs, (1974), evaluaron diferentes tipos de papel en la dieta de ovinos con inclusiones de 59 a 84%; Croy y Rode (1988) y Moss *et al*., (1990), evaluaron la digestibilidad *In sacco* de residuos de pulpa de papel; Bilawchuk (1989), evaluó residuos de pulpa de papel incorporados en ensilajes y determinó su consumo y ganancias de peso en novillos.

Sin embargo, otros residuos generados durante el proceso de fabricación de papel, como son los lodos de destintado (Subproductos de la Industria del Papel –SIP), los cuales según CEPI (2011) están constituidos el 50% de materia orgánica y el 50% restante por minerales. Monte *et al*., (2009), indican, que este tipo de producto está constituido por fibras cortas de celulosa, minerales y partículas de tinta. Su producción varía del 20 al 40% dependiendo del tipo de papel producido (Kujala, 2012). Cabe resaltar que, los SIP evaluados en este trabajo no han sido reportados en estudios de alimentación de rumiantes.

Teniendo en cuenta que las condiciones climáticas afectan la producción de biomasa forrajera durante gran parte del año a la provincia de Ubaté, y que en la zona se encuentra una empresa productora de papel, que genera más de 100 ton/día de SIP, en este trabajo se propuso el uso de los SIP como parte de la ración de vacas lecheras. La hipótesis que se planteó fue, que las dietas que contienen SIP, con el uso de melaza o glicerol incrementan su aceptación y que el incluir estos subproductos como parte de un suplemento para vacas lecheras no afectaría la producción y composición de la leche, cambio en el peso vivo y condición corporal de las vacas.

Para probar esta hipótesis se plantearon dos experimentos. En el primer experimento se evaluó la calidad nutricional de 12 muestras de SIP, la degradabilidad *In situ* de la MS y FDA de una muestra de SIP y se realizó una prueba de aceptabilidad por bovinos usando

glicerol o melaza como palatabilizantes y concentrado comercial como forma de suministrar este producto. De los resultados de la prueba de aceptación del producto (SIP) (experimento 1) se seleccionó el tratamiento que presentó los mejores resultados y se evaluó en vacas lecheras y se determinó su efecto en la producción y composición de la leche, peso vivo y condición corporal de los animales.

El objetivo general del estudio fue: Evaluar el uso de un subproducto de la industria del papel (SIP) como suplemento para la alimentación de vacas lecheras y los objetivos específicos: a) Caracterizar los SIP de diferentes lotes de producción generados por una empresa productora de papel y evaluar la degradabilidad ruminal de dichos residuos; b) Determinar la aceptación de los SIP en bovinos, usando glicerol o melaza como productos palatables y c) Determinar la respuesta de vacas lecheras a la inclusión de los SIP en la ración (10%) en la producción y composición de la leche, cambio de peso vivo y condición corporal.

Referencias bibliográficas

BILAWCHUK, M. 1989. Evaluating Kraft pulp mill fiber wastes as feedstuffs for beef cattle. A Thesis submitted in a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. The Faculty of Graduate Studies Department of Animal Science. The University of British Columbia. Canadá.

CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. 2013. Plan de competitividad para la provincia de Ubaté. Agenda de proyectos transversales y sectoriales de impacto para la provincia de Ubaté. Bogotá Colombia. p.124.

CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca). 2006. Diagnóstico prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica de los Ríos Ubaté y Suarez. Informe General. Santafé de Bogotá. p.289.

CARDONA, J. 2013. Módulo de alimentación bovina. La amonificación de los residuos de cosecha. Núcleos municipales de extensión y mejoramiento para pequeños ganaderos. FEDEGAN. (Fecha de consulta 11 enero 2017) Recuperado de: http://www.fedegan.org.co/modulo-de-alimentacion-bovina-la-amonificacion-de-los-residuos-de-cosecha

CEPI (Confederation European Paper Industres). 2011. Máximum valué from paper for recycling, towards a multi-product paper mill. (Fecha de consulta 16 de noviembre de 2016) Recuperado de: http://paperforrecycling.eu/uploads/Modules/.../REC-054-10final.pdf

COOMBE, J. AND BRIGGS, A. 1974. Use of waste paper as a feedstuff for ruminants. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry: 14: 292-301

CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL (CCI) 2013. Caracterización de la comercialización de cuatro cuencas lecheras. Bogotá. D.C. 221p. (Fecha de consulta 30 octubre 2016) Recuperado de: http://www.cnl.org.co/index.php?option=com_remository&Itemid=108&func=startdown&id=1001

CROY, D. AND RODE, L. 1988. Nutritive value of pulp mill fiber waste for ruminants. Can. J. Anim. Sci. 68: 461-470

FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos). 2018. Cifras de referencia del sector ganadero colombiano. (Fecha de consulta 17 septiembre de 2018) Recuperado de https://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica

HOWARD R., ABOTSI, E., JANSEN VAN RENSBURG E. AND HOWARD S. 2003. Lignocellulose biotechnology: tissues of bioconversion and enzyme production. African Journal of Biotechnology. 2 (12): 602-619.

KUJALA, A. 2012. Papermaking sludge and possibilities of utilization as material. Bachelor Seminar of Environmental Technology. Lappeenranta University of Technology. Faculty of Technology. Finlandia. 68 p. (Fecha de consulta 15, noviembre 2016) Recuperado de: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/73980/Kujala%20Asta_Kandidaatinty%C3%B6.pdf?sequence=1 .

MERTENS, D., CAMPBELL, J. AND MARTZ, A. 1971. Locational and Ruminal Response of Dairy Cows to Ten and Twenty Percent Dietary Newspaper. Journal of dairy science 54 (5): 667-672.

MILLETT, A., BAKER, J., SATTER, D., MCGOVERN, N., AND DINIUS, A. 1973. Pulp and papermaking residues as feedstuffs for ruminants. Journal of Animal Science. 37(2): 599 - 607.

MONTE, M., FUENTE, E. BLANCO, A. AND NEGRO, C. 2009. Waste management from pulp and paper production in the European Union. Waste Manag. 29(1):293-308.

MOSS, J. EHRLICH, E., BUCHANAN, K., MARTIN, P. 1990. Evaluation of recycled paper pulp residue as a feed of cattle. Proc. Aust, Soc. Anim. Prod. 18: 316-319.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA DE CUNDINAMARCA. 2018. Evaluaciones Agropecuarias 2017 - Departamento de Cundinamarca. Estadísticas de actividades pecuarias. (Fecha de consulta 17 septiembre de 2018) Recuperado de: http://www.cundinamarca.gov.co/wps/portal/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariade

agricultura/Secagriculturadespliegue/asdocumentacion_contenidos/csecreagri_centrodoc_documentos

1. Revisión de literatura: Uso de residuos de papel como suplemento para vacas lecheras

Resumen

El crecimiento de la actividad agroindustrial genera una cantidad importante de residuos lignocelulósicos en el mundo. Una de estas actividades es la fabricación de papel, donde se genera una serie de productos durante los procesos de pulpado y destintado. Los lodos de destintado o subproducto de industria del papel (SIP), se generan durante la producción de fibra reciclada a partir de papel reciclado, los contenidos principales son fibras cortas de celulosa, minerales y algunas partículas de tinta. Los SIP en Colombia son considerados como un residuo industrial no peligroso de acuerdo a los decretos 4741 de 2005 y 1287 de 2014, lo que resulta de gran importancia para su manejo pues no necesita de tratamientos adicionales para su correcta disposición. Dado que el tipo de SIP evaluado en este estudio no ha sido utilizado en alimentación animal (no referencias bibliográficas), se realizó un análisis preliminar de la calidad nutricional de este subproducto, encontrándose que contienen bajos niveles de nitrógeno, valores medios de digestibilidad de la materia seca (*In vitro* e *In situ*), altos niveles de FDN y FDA y algunos minerales como Ca, Mg, Na, Cu, Zn y Fe que se pueden tener en cuenta al utilizar este producto en las dietas para rumiantes. Sin embargo, existe una serie de tratamientos (biológicos, físicos, químicos) cuyo propósito es mejorar la calidad nutricional de este tipo de productos (lignocelulósicos) mediante su acción sobre la unión de la lignina con los otros componentes de la pared celular. Se han realizado algunos estudios utilizando diferentes residuos papel y pulpas de papel (diferentes al SIP) en la alimentación de rumiantes, como Combe y Briggs (1974), Mertens *et al*., (1971), Millet *et al*., (1973), Croy y Rode, (1988), donde se consideraron diferentes niveles de inclusión y su efecto sobre el consumo animal, digestibilidad y parámetros productivos (ganancia de peso y producción de leche).

Palabras claves: Subproductos de la industria del papel (SIP), lignocelulósicos, pulpa y papel, composición nutricional.

Abstract

The growth of agro-industrial activity generates a large amount of lignocellulosic waste in the world. One of these activities is the manufacturing of paper, where a series of products are produced through the processes of pulping and de-inking. The de-inking sludge a byproduct of the paper industry (BPI) are created during the production of recycled fiber from recycled paper. Its main contents are short fibers of cellulose, minerals and some particles of ink. BPI in Colombia is considered a non-hazardous industrial residue according to decrees 4741 from 2005 and 1287 from 2014, what turns up to be of great importance for its processing, because it does not require any additional treatment for its adequate disposal. Since the kind of BPI assessed in this study has not been used in animal feeding (not found bibliographic references). We carried out a preliminary analysis of the nutritional quality of this byproduct, it was found with low levels of nitrogen, medium values of dry matter digestibility (*In vitro e In situ*), high levels of ADF and NDF and some minerals such as Ca, Mg, Na, Cu, Zn y Fe, that can be taken into account when using this product in the diets of ruminants. However, there is a series of treatments (biological, physical or chemical) whose purpose is to improve the nutritional quality of this kind of products (lignocellulosic) through its reaction on the union of lignin with other components of the cell wall. Some studies have been carried out using different paper residues and pulps (different from BPI) in the feeding of ruminants, such as Combe and Briggs (1974), Mertens *et. al.,* (1971), Miller *et al,* (1973), Croy and Rode (1988), where different levels of inclusion were considered, as well as their effect on animal feed, digestibility and productive parameters (weight gain and milk production).

Key words: Byproducts of the paper Industry (BPI), lignocellulosic, pulp and paper, nutritional composition

1.1 Introducción

Las crisis energéticas y ambientales que se experimentan en el mundo entero, hacen pensar en la utilización eficiente y/o la búsqueda de usos alternativos para los recursos naturales renovables, especialmente los residuos orgánicos y en el uso de tecnologías limpias (Howard *et al*., 2003).

El aumento de la expansión de la actividad agroindustrial en los últimos años ha tenido como consecuencia la acumulación de gran cantidad de residuos lignocelulósicos en el mundo (Mahesh y Mohini, 2013).

La celulosa es la materia prima esencial para la industria productora de papel y cartón, la cual se puede obtener del papel reciclado o de la pulpa de fibras vegetales. En Colombia, las principales fibras utilizadas provienen del papel reciclado, pulpa de madera y pulpa de bagazo de caña de azúcar y otras fibras (también se pueden utilizar otras materias primas como el linter de algodón que son las fibras largas que cubren a la semilla del algodón después del proceso de desmontado) (Figura 1-1) (ANDI, 2012).

Cruz y Perdomo (2011), mencionan que la celulosa para el procesamiento del papel, se obtiene a partir de la separación de las fibras naturales, las cuales están unidas en la estructura de las plantas por la lignina. La separación de las fibras se puede realizar por procesos mecánicos o químicos de disolución de la lignina.

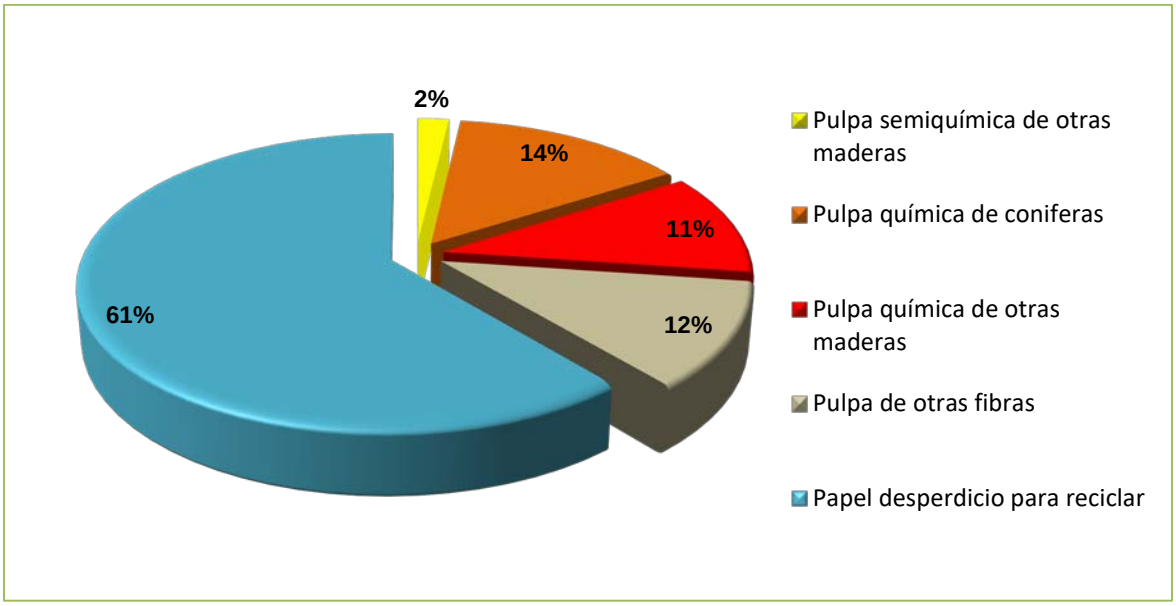


Figura 1-1 Fibras para la fabricación de papel en Colombia.

Adaptada de ANDI (2012). Cámara de la industria de la pulpa, el papel y el cartón.

Garnica (2013), menciona que el sistema de producción para el papel tisú y kraft en Colombia se realiza por separado, pues la materia prima y los químicos utilizados son diferentes para cada tipo de papel, pero es relevante saber que el orden y los procesos que se siguen en la industria son similares (Figura 1-2).

Para el papel Tisú se seleccionan dos materiales distintos, los cuales son fibra virgen importada (50%) y material recuperado (50%) (revistas y periódicos), mientras que para el papel Kraft se utilizan fibras recicladas de dos tipos: corrugado (cartón con el que fabrican las cajas de cartón corrugado) de fabricación nacional o americano y DKL (Double-Lined Kraft) que son recortes de papel corrugado. El material usado en el presente estudio se origina durante el proceso de destintado.

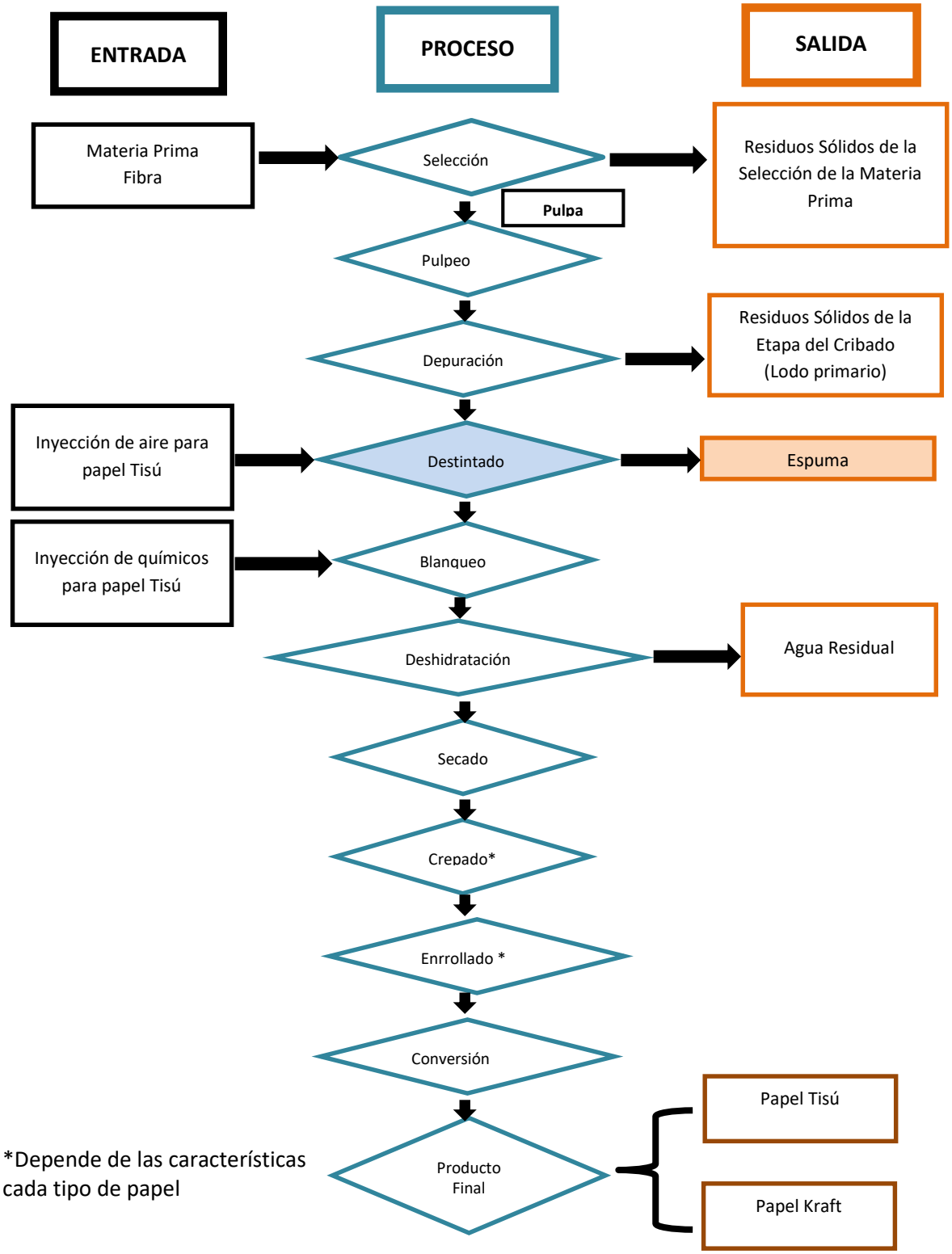


Figura 1-2 Diagrama del sistema productivo del papel Tisú y Kraft.

Adaptado de Garnica (2013)

1.2 Tipos de residuos generados durante el proceso de producción de papel

Los desechos sólidos generados en la fabricación de papel, se producen principalmente a partir de los procesos de pulpado, destintado y del tratamiento de las aguas residuales. La composición y la cantidad de los lodos residuales depende de los materiales crudos utilizados en el proceso, la calidad del papel final, producción y tecnologías de tratamiento de aguas residuales (Monte *et al*., 2009). En términos de volumen, la mayoría de sólidos o líquidos producidos son a partir del tratamiento de efluentes (aguas residuales), aunque los residuos de madera se producen también en grandes cantidades (Gavrilescu 2004, 2005; citado por Bajpai, 2015).

Los residuos sólidos generados en la fabricación de papel se clasifican en:

- **Rechazos:** Los rechazos de papel recuperado son impurezas y consisten en trozos de fibras, grapas y metales, arena, vidrio y plásticos, agentes de encolado y otros productos químicos. Tienen un bajo contenido de humedad, se deshidratan fácilmente y son generalmente incinerados o eliminados en vertederos (Monte *et al*., 2009).

- **Lodo Primario:** Estos lodos son generados en la clarificación del agua, principalmente por sedimentación o métodos de flotación. Consisten principalmente en finos y rellenos, dependiendo del papel recuperado y procesado, es relativamente fácil de secar y pueden ser incinerados, vertidos o mezclados con lodos de destintado o secundarios. Alrededor del 80% del total de sólidos en suspensión contenidos en las aguas residuales que entran en el proceso de tratamiento son transferidos al lodo de tratamiento de aguas residuales durante el proceso primario (Monte *et al*., 2009).

- **Lodos Secundarios o Biológicos:** Estos lodos se generan en el clarificador de las unidades biológicas del tratamiento de aguas residuales. El tratamiento biológico se lleva a cabo en lagunas aerobias, sistemas de lodos activados, tratamientos anaeróbicos o tratamientos biológicos secuenciales. Durante el tratamiento biológico, los materiales se convierten en dióxido de carbono, agua y biomasa por microorganismos presentes en lodos activos (Pokhrel y Viraraghavan, 2004; Deviatkin, 2013). Los lodos secundarios son difíciles de manejar (debido a

un alto contenido de biomasa microbiana), y necesitan ser mezclados con lodos primarios para permitir una deshidratación adecuada. Los volúmenes son inferiores a los lodos primarios, ya que la mayoría de los sólidos pesados, fibrosos e inorgánicos se eliminan en el clarificador primario (Monte *et al*., 2009).

- **Lodos de Destintado:** Estos lodos se generan como resultado de la producción de fibra reciclada a partir de papel reciclado. En muchos casos, el proceso de destintado se incluye en el esquema de producción, ya que este proceso permite aumentar el brillo y la limpieza del material que se está produciendo. La flotación de espuma se utiliza para la eliminación de tinta durante el procesamiento de fibra reciclada, dirigido a la eliminación de pequeñas partículas (Kujala, 2012).

1.3 Generación de los lodos residuales

La cantidad de residuos generados en la fabricación de papel cuando se utilizan fibras vírgenes como materia prima, depende principalmente del proceso de fabricación de la pasta, para el caso de pulpa kraft se producen aproximadamente 100 kg/Adt de residuos (Adt: Medida de unidad de peso, donde se corrige el peso real al 10% de humedad), mientras que para procesos semi-químicos y mecánicos se producen alrededor de 60 kg/Adt (Monte *et al*., 2009).

Bajpai (2015) resalta, que la generación de lodos varía ampliamente entre las plantas desde los 14 a 140 kg de lodo por tonelada de pulpa y Mahmood y Elliott (2006), informan que en Norteamérica se generan aproximadamente 40-50 kg de lodo (seco) en la producción de 1 tonelada de papel, de eso aproximadamente el 70% es lodo primario y el 30% es lodo secundario, mientras Kay (2002, citado por Bajpai, 2015) indica, que la cantidad de residuos generados en la producción de diferentes tipos de papel, a partir de fibras recicladas presentan valores de 50 a 100 kg/Adt de residuos para papel de embalaje, 170 a 190 kg/Adt para papel prensa y de 500 a 600 kg/Adt para papel tissue y pulpa y Balwaik y Raut (2011), reportan la producción de 300 kg de lodo por cada tonelada de papel reciclado.

1.4 Composición de los lodos residuales

La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales, realizan una deshidratación mecánica obteniendo un contenido de sólidos promedio del 30 a 40% y una pequeña parte de las plantas secan sus residuos hasta obtener un 70 a 95% de sólidos (Bird y Talbert, 2008).

La composición de los residuos generados en la industria del papel, depende de: la materia prima, el proceso de fabricación, productos químicos utilizado y la técnica de tratamiento de aguas residuales, en el caso del uso de material reciclado, también depende del tipo de papel utilizado y del número y tipos de etapas de limpieza utilizados en la operación de reciclado (Blanco *et al*., 2004).

Cuando los lodos residuales se generan a partir de una planta que utiliza fibra secundaria, además de cambios en la composición, los lodos producidos en el proceso de destintado generalmente tienen un mayor contenido de cenizas, mientras que el residuo generado de la pulpa kraft es alto en azufre (Gleen, 1997). En la Tabla 1-1, se resume la composición de la materia seca de diferentes sólidos por flujo en fábricas de papel en Europa.

Tabla 1-1 Composición del contenido de materia seca de los sólidos por flujo en fábricas de papel.

	M.O	Minerales	Contenido
	%		
Lodo primario	40	60	Fibras, rellenos, Arcillas de recubrimiento y $CaCO_3$
Lodo secundario	50	50	$CaCO_3$, Cobre, Microorganismos, fibras y proteínas
Lodo de destintado	50	50	Fibras de celulosa, $CaCO_3$, Caolín, residuos de tinta
Rechazos gruesos	92	8	Fibras reciclables, Plásticos, madera, metal y otros
Rechazos de criba	90	10	Celulosa, plásticos, pelos, pegamentos

Adaptada de CEPI (2011).

El contenido de nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno de los biosólidos varían dependiendo del tipo de papel que se está produciendo, el proceso de producción y tipo de materia prima utilizada. Los biosólidos primarios están constituidos por materia orgánica principalmente celulosa y puede contener 0,3% o menos de nitrógeno, con una relación carbono/nitrógeno de más de 100:1 (Jackson y Line, 1997) (Tabla 1-2).

Tabla 1-2 Análisis de lodos producidos de diferentes fuentes.

Fuente	Solidos	Cenizas	Ca	H	S	O	N
				%			
Molino de pulpa Kraft	37,6	7,1	55,2	6,4	1,0	26,0	4,4
Molino de pulpa	42,0	4,9	51,6	5,7	0,9	29,3	0,9
Molino de pulpa blanqueada	33,4	1,9	48,7	6,6	0,2	42,4	0,2
Lodo destintado	42,0	20,2	28,8	3,5	0,2	18,8	0,5
Molino de papel reciclado	45,0	3,0	48,4	6,6	0,2	41,3	0,5
Residuo de papel	92,0	7,0	48,7	7,0	0,1	37,1	0,1

Adaptada de Scott y Abubakr (1995).

Cavka y Guo (2013), realizaron un análisis de composición de los lodos de fibra de sulfato y sulfito, encontrando que los lodos del proceso de sulfato estaban constituidos principalmente por glucanos (69,1%) y xilanos (15,4%), mientras que los lodos provenientes de sulfito estaban constituidos por glucanos (89,7%) y niveles muy bajos de otros carbohidratos, tales como mananos (2,7%) y xilanos (1,7%). El contenido de lignina fue bajo, tanto en los procesos de sulfato como de sulfito (3,5% y 0,8% respectivamente).

Bajpai (2015), menciona que en los biosólidos generados en el proceso de papel, los contenidos de arsénico, boro, cadmio, cobalto, cromo, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc son bajos y muestran gran variabilidad, mientras que el contenido de cobre presentaba altos valores. Los metales pesados presentes en los lodos pueden generar riesgos potenciales para la salud de las plantas y animales si su concentración es demasiado elevada.

Comerford (1992), realizó un estudio por 140 días para determinar los residuos de metales pesados e hidrocarburos en tejidos y sangre de novillos que consumen residuos de papel periódico cuando este se utiliza como cama. En el análisis de las muestras de papel periódico no se detectaron cantidades de 16 hidrocarburos analizados, pero se encontraron contenidos de cadmio (0,68 mg/kg), cobre (17,2 mg/kg), plomo (2,1 mg/kg) y no se detectaron niveles de mercurio. En las muestras de sangre e hígado de los animales solo se encontraron residuos de cobre (0,69 mg/l y 28,7 mg/kg MS respectivamente) niveles que están por debajo de los niveles tóxicos en el hígado de 250 mg/kg referido por Puls (1988).

1.5 Lodos de destintado (Subproductos de la industria del Papel - SIP)

Este residuo contiene principalmente fibras cortas o finas, revestimientos, rellenos, partículas de tinta, sustancias extractivas y aditivos de destintado. Durante el reciclado del papel se genera el desecho del lodo. La separación entre tinta y fibras es realizada por el proceso de "flotación", donde la espuma es recogida en la superficie de flotación (Kujala, 2012).

El SIP generado contiene minerales, tinta y fibras de celulosa (que son demasiado pequeñas para ser retenidas por filtros). Normalmente estos materiales, se reutilizan en otras industrias como cemento o cerámica, o se incinera, aunque tiene un valor bajo de combustión (Monte *et al*., 2009). La generación de los lodos de destintado se resume en la figura 1-3.

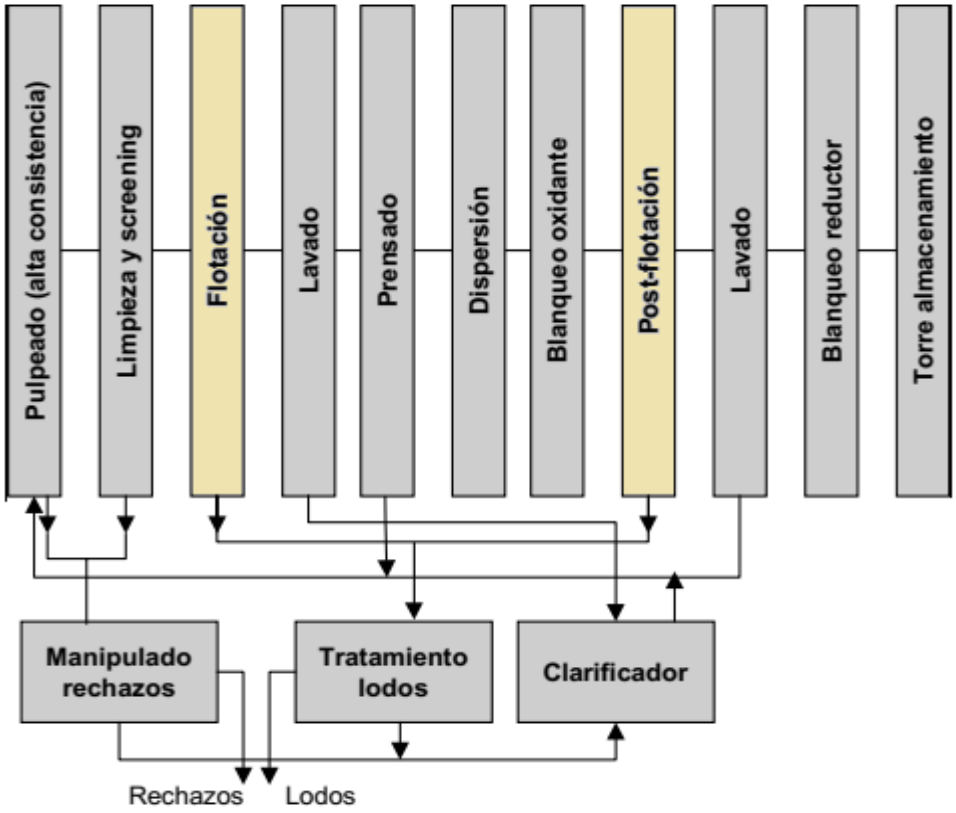


Figura 1-3 Esquema de preparación de pasta destintado y generación de los lodos de destintado (Subproductos de la Industria del papel - SIP).

IHOBE (2000). (Sociedad pública de la gestión pública del gobierno Vasco).

En los SIP, el contenido de carbono es alto, mientras que los contenidos de nitrógeno y fósforo son consistentemente bajos. Los biosólidos secundarios contienen fibras y otros materiales finos que no se eliminan en el tratamiento primario y tienen niveles de nitrógeno entre 3,0 y 4,0% y un contenido de fósforo entre 0,1-0,3% (Bellamy *et al*., 1995).

La producción de los SIP en el proceso de destintado, a partir de fibra de papel reciclado, varía entre el 20% cuando se produce papel periódico y hasta un 40% (en base seca) para papel tissue (Kujala, 2012).

Un número significativo de plantas de tratamiento disponen de los lodos residuales mediante la aplicación directa al suelo, en rellenos sanitarios o incineración. La eliminación de los lodos sigue siendo una de los grandes desafíos para las plantas de aguas residuales municipales y la mayoría de plantas de fabricación de papel (Mahmood y Elliott, 2006).

En Colombia, los residuos generados en la fabricación de papel son considerados como residuos industriales no peligrosos, ya que los productos que se utilizan para elaborar papel tissue y kraft, no superan las concentraciones máximas de contaminantes para características: corrosivas, explosivas, toxicas, inflamables, infecciosas o radioactivas de acuerdo al decreto 4741 de 2005. Además, cumplen con los parámetros establecidos en el decreto 1287 de 2014, mediante el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, lo que resulta de gran importancia para su manejo, pues no requieren de tratamientos extras para darle una correcta disposición (Garnica, 2013)

Esta afirmación concuerda con los resultados reportados para análisis químicos y microbiológicos para muestras de SIP de la empresa papelera “Productos Familia Cajicá S.A.S” (Tabla 1-3).

Al realizar un análisis de la calidad nutricional de los SIP generados durante la fabricación de papel en la empresa “Productos Familia Cajicá S.A.S” (Tabla 1-4), se encontró que estos residuos contienen valores medios de digestibilidad de la materia seca (*In vitro* e *In situ*), altos niveles de FDN y algunos minerales como Ca, Cu, Zn, Mn que se pueden tener en cuenta al utilizar este producto en las dietas para rumiantes.

Tabla 1-3 Análisis microbiológico y toxicológico y de peligrosidad de los SIP generados por la empresa "Productos Familia Cajicá S.A.S"

Parámetro	Resultado	Unidades	Decreto 4741 - 2005 Residuos o Desechos Peligrosos. Conc. Máx.
Toxicidad			
Metales en extracto TCLP			
Arsénico	< 0,010	mg/L As	5
Bario	< 0,050	mg/L Ba	100
Cadmio	< 0,010	mg/L Cd	1
Cromo total	<0,034	mg/L Cr	5
Mercurio	<0,050	mg/L Hg	0.2
Plata	<0,168	mg/L Ag	5
Plomo	<0,014	mg/L Pb	5
Selenio	<0,020	mg/L Se	1
Toxicidad aguda con *Daphnia Magna*	20	% movilización	50%
Inhibición con algas *Salenastrum capricornotum*	-2	% de inhibición	50%
Corrosividad por pH residuos granulares T ºC = 19	8,26	Unidades de pH	2 - 12,5
Inflamabilidad	Negativo		
Reactividad			
Cianuro reactivo	<8.0	mg/Kg CN bs	no especificado
Sulfuro reactivo	<19	mg/Kg S bs	no especificado
			Decreto 1287/2014
Fagos somáticos	1 X 10^{3}	UFP/gBS	5X10^{4}
Huevos de Helminto viables	0	HHV/2 gBS	1
Salmonella sp.	<0,044	NMP/4gPS	Ausencia

Laboratorio ambiental. Facultad de ingeniería. Universidad de los Andes (2014).
Productos Familia Cajicá S.A.S (2014).

Tabla 1-4 Parámetros químicos de los SIP de la empresa “Productos Familia Cajicá S.A.S”

Parámetro	Resultado	
	En fresco	Base seca
Materia seca (%)	70,7	-
Nitrógeno total (%)	-	0,86
Fibra detergente neutro (%)	35,9	50,8
***Fibra detergente ácida (%)**		45,4
***Lignina**		9,1
Cenizas (%)	39,5	55,8
pH	7,8	-
Digestibilidad *in vitro* de la MS (%)	-	53,2
***Digestibilidad *In situ* de la MS (%)**		69,8
Calcio (%)	6,7	9,4
Fósforo (%)	0,04	0,06
Potasio (%)	0,02	0,03
Magnesio (%)	0,16	0,23
Sodio (%)	0,03	0,04
****Azufre (mg/kg)**		814
Manganeso (mg/kg)	30	43
Zinc (mg/kg)	37	52
Cobre (mg/kg)	28	40
Hierro (mg/kg)	987	1395

Laboratorio de nutrición animal. FMVZ. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.
*Laboratorio de nutrición animal CORPOICA (Turipaná, Córdoba)
** Laboratorio de análisis y ensayos (NUTRIANALISIS)

1.6 Uso de residuos y subproductos de papel en alimentación animal

Los residuos de cosecha o subproductos agroindustriales son productos obtenidos durante la cosecha y/o procesamientos industriales, cuyas características nutricionales y disponibilidad a bajo costo en la mayoría de las ocasiones, se constituyen en un recurso importante como fuente de alimento para animales (Cuesta y Conde, 2002).

De acuedo con Jung (1989), los residuos lignocelulósicos tienen una gran energía potencial almacenada, sin embargo, esta no puede ser utilizada al máximo por los rumiantes debido principalmente a su baja digestibilidad por la fijación de la pared celular con la lignina.

Se han realizado algunos estudios en los cuales se incluyeron diferentes tipos de papel y residuos de pulpa de la fabricación de papel, como parte de las raciones en rumiantes; sin embargo, no se encontraron referencias bibliografícas sobre el uso del mismo tipo de subproducto de la fabricación de papel (SIP) (lodos de destintado) evaluado en el presente estudio, en alimentación animal. Algunos de estos estudios son:

Mertens *et al*., (1971) tomaron en cuenta algunos trabajos donde sugerían que con la inclusión de papel entre el 8 y 12% en la dieta de novillos Holstein, se obtenían resultados aceptables. Plantearon un experimento con tres niveles de inclusión de papel en la dieta (0, 10 y 20%), en vacas Holstein en lactancia (40 días posparto con un promedio de 26,3 kg de leche/animal/día) durante 6 semanas. Estos autores encontraron en el contenido de grasa de la leche, una respuesta lineal directa con la inclusión de papel en la ración, incrementándose la grasa en 0,5% del tratamiento control a la inclusión del 10% de papel y de 0,3% cuando se paso del 10 al 20% de papel en la ración. Al determinar la producción de leche corregida por grasa (4%), y la digestibilidad de la materia seca para los tratamientos (77,4%, 77,4% y 77,5% para el control, papel 10% y papel 20% respectivamente) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$).

Coombe y Briggs (1974), investigaron el uso de diferentes desechos de papel como alimento para rumiantes. En un primer experimento se usaron 9 ovinos mestizos de 2 años de edad, alojados en jaulas individuales, durante 7 semanas usando dos dietas: Dieta A: 59% de papel, 29% de harina de linaza, 8.9% de melaza y 2,1% de mezcla de minerales; Dieta B: 65,4% de papel, 32,2% de harina de linaza, y 2,3% de mezcla de minerales. La dieta A se dio durante las 3 primeras semanas y la dieta B de la semana 4 a la 7. Adicionalmente suministraron 300 gr de heno de alfalfa/animal/día, el cual se disminuyó a 50 g/animal/día en la semana 5 y se suspendió en las semanas 6 y 7. Los animales ganaron peso durante las primeras 5 semanas, pero a un ritmo cada vez menor, la ingesta máxima fue durante la tercera semana cuando el papel era el 49% de la dieta y el consumo se redujo con la omisión de melaza en la dieta.

En un segundo experimento Coombe y Briggs (1974), usaron 18 ovejas mestizas, alojadas en jaulas individuales, donde se les ofreció una dieta de mantenimiento a base de heno de alfalfa, donde se evaluaron tres dietas: Dieta (C) papel alta calidad (papel impresión de oficina) 84%, úrea 3,6%, melaza 8,4% y mezcla mineral 4%; dieta (D) papel periódico 84%

y los otros componentes iguales y dieta (E) papel 84% (de este el 42% de papel de alta calidad y el otro 42% de papel periódico) y los otros componentes eran iguales a los de la dieta (C) y (D). En este experimento los animales que recibieron la dieta (D) (84% de papel periódico) la rechazaron completamente. Las ovejas con las dietas de papel tuvieron un balance negativo de nitrógeno (-1,3 a -3.2 g de N/día), mientras que los alimentados con los pellets de alfalfa estaban en equilibrio positivo constante (3,3 g de N/día). La digestibilidad de la materia orgánica de las dietas que contenían papel fue de 56 a 60% cuando se alimentó con forraje, y disminuyó al 55% por ciento cuando se omitió el heno de alfalfa.

En otro experimento Moss *et al*., (1990) evaluaron la digestibilidad *In vitro* e *In sacco* de residuos de pulpa de papel (sin tamizar y tamizada), utilizando novillos fistulados alimentados con una mezcla de residuos y pulpa de papel y heno de alfalfa durante 2 meses. El contenido de proteína cruda y la digestibilidad *In vitro* de la MS de la pulpa de papel fue baja (4 y 2,3% para la pulpa sin tamizar y 8,7 y 22,5% para pulpa tamizada respectivamente) y el contenido de lignina fue de 58% de la materia orgánica de la pulpa sin tamizar frente a un 62% de la pulpa tamizada. La digestibilidad *In sacco* a las 72 horas fue baja (31 y 44% para la pulpa sin y tamizada respectivamente) asociada a los altos niveles de lignina que contenían. Además, reportaron la presencia de 20 ppm de plomo y 60 ppm de cobre en la pulpa de papel, que pudieran ser un problema con la alimentación prolongada.

Croy y Rode (1988), determinaron la composición química de 10 muestras de residuos de de fibra de pulpa de papel, encontrando valores para MS (entre 15 y 42%), MO (entre 42 y 96%) y lignina (entre 2,2 y 50%). El contenido de nitrógeno fue bajo en todas las muestras (menor a 0,1%). El contenido de FDN representaba prácticamente todo el contenido de materia seca que no era ceniza (desde el 34 a 95%). La digestibilidad *In sacco* a las 24 horas de incubación ruminal presentó valores superiores al 50%. Cinco de las 10 muestras analizadas fueron considerados con niveles minerales adecuados para la alimentación de rumiantes y algunas muestras de estos residuos contenían niveles de Ca, Na, Al, Cd y Pb considerados altos para ser usados en la alimentación de rumiantes.

1.7 Tratamientos para mejorar la calidad nutricional de los residuos lignocelulósicos

Van Soest (1994), señala que la lignina es el mayor factor que influye en la disminución de la digestibilidad de los forrajes y su eliminación o reducción es indispensable para la utilización eficiente de los carbohidratos de los materiales lignocelulósicos, además de mejorar su palatabilidad.

Existen diversos tratamientos cuyo objetivo es mejorar la calidad nutricional y el consumo de estos recursos obteniendo de esta manera mayor ingesta de energía. Entre estos métodos se encuentran: **Biológicos** (compostaje, ensilado, crecimiento de hongos (Karunanandaa y Varga, 1996; Keller *et al*., 2003; Nigam *et al*., 2009; Ramírez *et al.,* 2010; Mahesh y Mohini, 2013) y adición de enzimas) **Físicos** (picado, molienda, granulación (Hooper y Welch, 1985; Hendriks y Zeeman, 2009; Karunanithy *et al*., 2008 citado por Alvira, *et al*., 2010; Uden,1988 citado por Sarnklong *et al*., 2010; Campling y Freer 1966 citados por Peterson, 2014) **Físicos Químicos** (vapor bajo presión (Castañeda y Monroy 1984, citado por Macedo, 2000; Alvira *et al*., 2010), agua caliente (Mosier *et al*., 2005), oxidación húmeda (Alvira *et al*., 2010)) **Químicos** (ácidos ((Mosier *et al*., 2005; Wyman 1996, citado por Alvira *et al*., 2010), ozonólosis (Elizondo, 1998), líquidos iónicos (Pinkert *et al*., 2009; Alvira *et al*., 2010), Organosolventes (Zhao *et al*., 2009), agentes hidrolíticos (NaOH) (Escobar y Parra 1980; Fahey *et al*., 1993; Preston,1995 ;Suksombat**,** 2004; Atta Elmnan, 2006; Taherzadeh y Karimi, 2008).

Respecto a este último grupo de tratamientos (químicos), su objetivo es aumentar la digestibilidad mediante el incremento de la solubilidad de la lignina o disminución de la fuerza de los enlaces entre la lignina o grupos fenólicos y otros constituyentes de la pared celular principalmente la hemicelulosa (Sarnklong *et al.,* 2010).

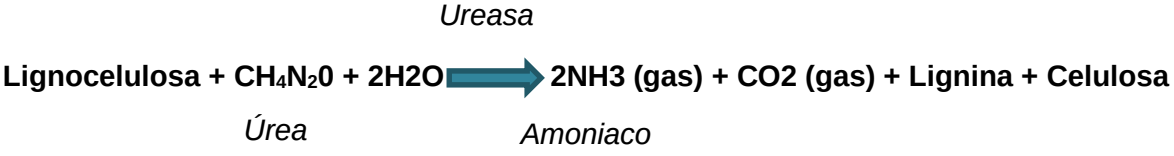
Owen *et al*., (1984) citado por Peterson (2014), afirmaron que el producto químico a utilizar para el tratamiento de residuos para alimentación animal debe poseer características como: 1) Ser eficaz en la mejora de la digestibilidad y / o la ingesta, 2) Ser económicamente factible al comparar el costo del tratamiento con el valor nutritivo mejorado, 3) Ser fácilmente disponibles y permanecer disponibles, 4) No ser tóxicos para los animales y el ambiente, 5) No ser peligroso para el manejo y no ser corrosivo para la maquinaria.

El tratamiento con amoníaco (NH_3) ha sido uno de los más utilizados, y este se puede hacer con amoníaco (anhidro o líquido) o úrea (Muñoz *et al*., 1998).

Fuentes *et al*., (2001) evaluaron el efecto del tratamiento físico y químico en la composición química y *DIVMS* y *DIVMO* de rastrojo de maíz molido, picado y entero, tratado con un 4% de amoniaco anhidro (NH_3) durante cuatro semanas y observaron una disminución en la cantidad de MS a medida que aumentó el tamaño de partícula y un incremento en el porcentaje de PC en el rastrojo tratado molido, picado y entero del 110, 116 y 91% mayor al rastrojo sin tratar y también una disminución en la FDN en 20, 7,0 y 7,7% para forraje molido, picado y entero, respectivamente. La *DIVMS* se incrementó encontrando valores de 66; 71,5 y 71,9% para el rastrojo molido, picado y entero, respectivamente, y de 64,6% para el rastrojo sin tratar.

Zorilla Rios *et al.,* (1985) utilizaron la amonificación en la paja de trigo (3,5% de NH_3) encontrando aumento en el contenido de proteína cruda (del 4,6% al 9,3%); además mejoró el *DIVMS*, aumentándola de 47,6% comparada con el control de 37,3%.

La amonificación con úrea, se considera como un método indirecto, debido a que la liberación enzimática del amoniaco se lleva a cabo en un medio acuoso, donde la úrea es químicamente desdoblada en amoniaco y dióxido de carbono, debido a una hidrólisis espontánea al entrar en solución, por medio de la úreasa la cual es producida por bacterias ureolíticas presentes en el suelo, heces y plantas, luego el amonio actúa sobre la fibra (Cloete y Kritzinger, 1984; Atta Elmnan, 2006). A continuación, se muestra la reacción de hidrólisis de la úrea durante el proceso de la amonificación:



Joy *et al*., (1992) reportan, que al tratar residuos de maíz con una solución de úrea al 4% de la MS y humedad del 30%, úrea en forma sólida al 4,3% de la MS y humedad del 23,3% y úrea en forma sólida al 4,3% de la MS y grano de soya cruda (al 4,2% de la MS) y humedad al 23,3%, encontraron que el tratamiento con úrea sólida sin la adición de grano de soya no mejoró la digestibilidad del material tratado, mientras que los otros tratamientos

la mejoraron en alrededor de un 5%; también mencionan la ureólisis del 100% para el tratamiento con úrea en solución y de 40,8% y 76,8% para la úrea sólida sin y con la adición de grano de soya respectivamente.

Sánchez *et al.,* (2012), estudiaron el uso de rastrojo de maíz tratado con úrea (4 kg de úrea disuelta en 20 litros de agua) y el suministro de metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento, encontrando un aumento en la digestibilidad de la FDN de 56,8% a 67,5% para material sin tratar y tratado respectivamente. La digestibilidad para FDA se incrementó de 28% a 54,7% para el material sin tratar y tratado, pero no encontraron diferencias en la ganancia de peso, consumo de MS y digestibilidad de la materia seca y orgánica.

Arelovich (2007), reporta que al tratar paja de trigo con 4 y 6,3% de úrea encontró una disminución en el contenido de MS y reportó un incremento en la *DIVMS* y PC con el tratamiento con úrea. En el caso de la *DIVMS,* los valores fueron 34,9% en la paja sin tratar y 36,4 y 49,8% con 4 y 6,3% de úrea respectivamente; para PC los niveles fueron 2,73% para paja sin tratar a 2,75 y 8.81% al usar 4 y 6% de úrea respectivamente.

En un estudio conducido por Yalchi (2009), evaluó los cambios en los residuos de trigo tratados con úrea y amonio acuoso en proporciones de 0, 1,5, 3 y 4,5 % almacenados durante 45 días a temperatura ambiente (22-25 ^{o}C), reportó un aumento de la PC cuando se aplicó úrea y amonio acuosos en todas las tasas de aplicación, los valores de *DIVMS* aumentaron y fueron mayores con el tratamiento con úrea al 4,5% (37,8%, 36,6% y 34,2%, para tratamiento con úrea al 4,5%, tratamiento con amonio acuoso al 4,5% y tratamiento control respectivamente). Los valores de FDA y FDN disminuyeron cuando se aplicaron los tratamientos entre el 3 y 4,5% de úrea y amonio acuoso respectivamente.

1.8 Conclusiones

Debido a las condiciones ambientales (precipitación y evaporación), que exhibe la provincia de Ubaté, se puede presentar una baja producción y calidad de la biomasa forrajera durante gran parte del año, el uso de residuos lignocelulósicos (subproductos de la fabricación de papel) se presenta como una alternativa suplementaria para la alimentación de rumiantes; además, de dar una salida a un producto que es contaminante, se puede convertir en un substituto parcial de la fibra y una fuente de aporte de algunos minerales en las raciones de animales rumiantes. Además de suplir de manera económica

parte del déficit forrajero que se presenta en los sistemas de producción lechero en esta provincia.

Debido a que los residuos de la fabricación de papel son considerados residuos industriales no peligrosos (decretos al decreto 4741 de 2005 y 1287 de 2014), no requieren de tratamientos extras para su uso en la alimentación de los rumiantes y no constituyen un riesgo para la salud y bienestar de los animales.

Los subproductos de la industria del papel (SIP), pueden ser denominados materiales lignocelulósicos con un contenido considerable de cenizas (minerales); sin embargo; estos materiales se pueden considerar de bajo valor nutricional y su uso puede ser limitado por sus altos niveles de fibra, baja digestibilidad y contenido de proteína cruda. No obstante, se han desarrollado una serie de tratamientos cuyo objetivo es mejorar la calidad nutricional y el consumo de estos recursos. Dentro de estos tratamientos se encuentra la amonificación con úrea, producto que es de fácil manejo por parte del productor y con la cual, los materiales tratados, aumentan la digestibilidad, contenido de nitrógeno y consumo de materia seca en los animales rumiantes.

1.9 Referencias bibliográficas

ALVIRA, P., TOMÁS, E., BALLESTEROS, M. AND NEGRO, M. 2010. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. Bioresource Technology 101: 4851–4861.

ANDI (ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA). Cámara de la industria pulpa, papel y cartón. 2012 “Reciclaje de papel y cartón en Colombia”, Documento de Trabajo.

ARELOVICH, H. 2007. Potencial tecnológico disponible para mejorar la eficiencia en el manejo ganadero. Universidad Nacional del Sur- Argentina. p. 40.

ATTA ELMNAN, B. 2006. Effect of ammoniation and tree foliage supplementation on bagasse FDN degradability, digestibility and rumen fermentation. Thesis of Doctor of philosophy in Animal production. University of Khartoum. Sudan.

BAJPAI, P. 2015. Management of Pulp and Paper Mill Waste. Springer International Publishing Switzerland. p.191.

BALWAIK S. A, RAUT S. 2011. Utilization of waste paper pulp by partial replacement of cement in concrete. International Journal of Engineering Research and Applications. 1 (2):300–309.

BELLAMY KL, CHONG C, CLINE R. 1995. Paper sludge utilization in agriculture and container nursery culture. J Environ Qual. 24:1074–1082.

BIRD M. AND TALBERT J. 2008. Waste stream reduction and re-use in the pulp and paper sector. Washington State Department of Ecology Industrial Footprint Project, Center for Sustainable Economy. (Fecha de consulta 10 de abril de 2017) Recuperado de: http://www.gcpcenvis.nic.in/Thesis/Waste%20Stream%20Reduction%20and%20Re%E2%80%90Use%20in%20the%20Pulp%20and%20Paper%20Sector.pdf

BLANCO A, NEGRO C, MONTE MC, FUENTE H, TIJERO J. 2004. The challenges of sustainable papermaking. Environ Sci Technol. 38(21):414–420.

CALZADA J., FRANCO L., DE ARRIOLA M. 1987. Acceptability, body weight changes and digestibility of spent wheat straw after harvesting of *Pleurotus sajor-caju*. Biol. Wastes. 22:303-309.

CAVKA A, GUO, X. 2013. Production of bacterial cellulose and enzyme from waste fiber sludge. Biotechnol Biofuels. 6 (25): 2-10.

CEPI (CONFEDERATION EUROPEAN PAPER INDUSTRES. 2011. Maximum value from paper for recycling, towards a multi-product paper mill. (Fecha de consulta 16 de noviembre de 2016) Recuperado de: http://ww.paperforrecycling.eu/uploads/Modules/.../REC-054-10final.pdf.

CLOETE, S. AND KRITZINGER, N. 1984. Alaboratory assessment of various treatment conditions affecting the ammoniation of wheat straw by úrea. The effect of temperature, moisture level and treatment period. S. Afr. Sci. 14:55.

COMERFORD, J. 1992. Heavy metal and hydrocarbon residues in tissue and blood of beef steers bedded on waste newspapers. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 49:18-22.

COOMBE, J AND BRIGGS, A. 1974. Use of waste paper as a feedstuff for ruminants. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry: 14: 292-301.

CROY, D. AND RODE, L. 1988. Nutritive value of pulp mill fiber waste for ruminants. Can. J. Anim. Sci. 68: 461-470.

CRUZ, A. Y PERDÓMO, P., 2011. Análisis de la competitividad en el sector industrial del papel, cartón y sus productos en Colombia durante el periodo comprendido entre 1997-2007. Informe final. Universidad de la Salle. Facultad de Economía. p.55.

CUESTA, A. Y CONDE, A. 2002. Fuentes nitrogenadas para el mejoramiento de materiales toscos y sus efectos en la alimentación de rumiantes. Estudio de caso: Palma africana.

Seminario taller internacional: Manejo de la proteína en la producción de ganado bovino, septiembre 23 al 30 del 2002. Colombia. p.26.

DEVIATING, I. 2013. Wastewater treatment and deinking sludge utilization possibilities for energy and material recovery in the Leningrad Region. Master's thesis. Lappeenranta University of Technology. Faculty of Technology Master's Degree Programmed in Energy Technology. Finlandia. 122 p. (Fecha de consilta 10 de abril de 2017) Recuperado de: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/93794/nbnfi-fe201311217381.pdf?sequence=2

ESCOBAR, A. Y PARRA, R. 1980. Procesamiento y tratamiento físico-químico de los residuos de cosecha con miras al mejoramiento de su valor nutritivo. En: Ruiz, M. y Ruiz, A. Estrategias para el Uso de Residuos de Cosecha en la Alimentación Animal. Memorias de una reunión de trabajo efectuada en el Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 19-21 marzo 1980. 158 p.

FAHEY, G., BOURQUIN, L., TITGEMEYER, E., AND ATWELL, D. 1993. Postharvest treatment of fibrous feedstuffs to improve their nutritive value. In Forage Cell Wall Structure and Digestibility. H.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hatfield, and J. Ralph, ed. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. P. 715-766 p.

FUENTES, J., MAGAÑA C., SUÁREZ L., PEÑA R., RODRÍGUEZ, S., ORTÍZ DE LA ROSA, B. 2001. Análisis químico y digestibilidad *in vitro* del rastrojo de maíz (*Zea mays* L). Agronomía Mesoamericana 12:189-192.

GARNICA, C. 2013. Alternativas de gestión de lodos papeleros en la industria de papel Tisú y Kraft. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales Bogotá, mayo de 2013.

GLENN J. 1997. Paper mill sludge: feedstock for tomorrow (magazine). BioCycle 38(11):30.

IHOBE (SOCIEDAD PÚBLICA DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL GOBIERNO VASCO). 2000. Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones: Pasta y papel. 142 p.

JACKSON MJ, LINE M. 1997. Organic composition of a pulp and paper mill sludge determined by FTIR 13C CP MAS NMR, and chemical extraction techniques. J Agric Food Chem 45:2354–2358.

JOY, M., ALIBÉS, X. AND MUÑOZ. F., 1992. Chemical treatment of lignocellulosic residues with úrea. Anim. Feed Sci. Technol., 38: 319-333.

JUNG, H. 1989. Forage lignins and their effects on fiber digestibility. Agron. J. 81:33.

HENDRIKS, A.T.W.M., ZEEMAN, G., 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresour. Technol. 100:10–18.

HIMANISH D. AND SUDHIR K. 2004. Useful Byproducts from Cellulosic Wastes of Agriculture and Food Industry. A Critical Appraisal, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44 (2): 77-89.

HOOPER, A., AND WELCH, J. 1985. Effects of particle size and forage composition on functional specific gravity. J. Dairy Sci. 68:1181-1188.

HOWARD R., ABOTSI, E., JANSEN VAN RENSBURG E. AND HOWARD S. 2003. Lignocellulose biotechnology: tissues of bioconversion and enzyme production. African Journal of Biotechnology. 2 (12): 602-619

KARUNANANDAA K. AND VARGAS G. 1996. Colonization of crop residues by white-rot fungi: cell wall monosaccharides, phenolic acids, ruminal fermentation characteristics and digestibility of cell wall fibre components in vitro. Anim. Feed Sci. Technol. 63:273-288.

KELLER F., HAMILLTON T., NGUYON Q. 2003. Microbial pretreatment of biomass potential for reducing severity of thermo-chemical biomass pretreatment. Appl. Biochem. Biotechnol. 105:27–41.

KUJALA, A. 2012. Papermaking sludges and possibilities of utilization as material. Bachelor Seminar of Environmental Technology. Lappeenranta University of Technology. Faculty of Technology. Finlandia. 68 p. (Fecha de consulta 15, noviembre 2016) Recuperado de: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/73980/Kujala%20Asta_Kandidaatinty%C3%B6.pdf?sequence=1

MACEDO, R. J. 2000. Análisis del sistema de alimentación pecuario rastrojo de maíz alimenticio pecuario (*Zea mays* L.) – pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* P.) en la zona norte del estado de Colima. [en línea]. Universidad de Colima: tesis doctoral http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Rafael%20Julio%20Macedo%20/gan%20.pdf>.

MAHESH, M., AND MOHINI, M. 2013. Biological treatment of crop residues for ruminant feeding: A review. Afr. J. Biotechnol. Vol. 12(27):4221-4231.

MAHMOOD T, ELLIOTT A. 2006. A review of secondary sludge reduction technologies for the pulp and paper industry. Water Res. 40:2093-2112.

MÉNDEZ A, FIDALGO JM, GUERRERO F, GASCÓ G. 2009. Characterization and pyrolysis behavior of different paper. J Anal Appl Pyrolysis 86:66-73.

MERTENS, D., CAMPBELL, J. AND MARTZ, A. 1971. Locational and Ruminal Response of Dairy Cows to Ten and Twenty Percent Dietary Newspaper. Journal of dairy science. 54 (5): 667-672

MONTE, M., FUENTE, E. BLANCO, A. AND NEGRO, C. 2009. Waste management from pulp and paper production in the European Union. Waste Manag 29(1):293-308.

MOSIER, N., HENDRICKSON, R., HO, N., SEDLAK, M., LADISCH, M.R. 2005. Optimization of pH controlled liquid hot water pretreatment of corn stover. Bioresour. Technol. 96: 1986-1993.

MOSS, J. EHRLICH, E., BUCHANAN, K., MARTIN, P. 1990. Evaluation of recycled paper pulp residue as a feed of cattle. Proc. Aust, Soc. Anim. Prod. 18: 316-319.

MUÑOZ, F., ANDUEZA, J. Y ALIBES, X. 1998. Chemical treatment of maize stover with úrea. Unidad de Tecnología en Producción Animal. Servicio de Investigación Agroalimentaria (SIA), Diputación General de Aragón (DGA). Zaragoza, España. 33-38 p.

NIGAM, P., GUPTA, N. AND ANTHWAL A. 2009. Pretreatment of agro industrial residues. In: Biotechnology for agro – Industrial. Residues utilization. p. 14–29. https://books.google.es/books?id=35i0LKoBTVoC&pg=PA103&dq.

PETERSON, S. 2014. Feeding alkaline treated and processed crop residue to feedlot cattle. Thesis Presented to the Faculty of the Graduate College at the University of Nebraska. Lincoln NE.

PINKERT, A., MARSH, K., PANG, S. AND STAIGER, M. 2009. Ionic Liquids and Their Interaction with Cellulose. Chem. Rev. 109: 6712–6728.

POKHREL, D. AND VIRARAGHAVAN, T. 2004. Treatment of pulp and paper mill wastewater-a review. Science of the Total Environment 333: 37-58.

PRESTON, T. 1995. Tropical animal feeding. A manual for research workers. FAO Animal Production and Health. Paper 126. Roma, Italy. p. 305.
http://www.fao.org/docrep/003/v9327e/v9327e00.htm

RAMIREZ, J., SOTO, A., HERNÁNDEZ, L; SALINAS, J.,GALVIS, J., CRUZ, R. AND VARGAS, S. 2010. Influence of *Pleurotus ostreatus* spent corn straw on performance and carcass characteristics of feedlot Pelibuey lambs. Indian Journal of Animal Sciences 80 (8): 754 -757.

SÁNCHEZ, E., ORTEGA, M., MENDOZA, G., MONTAÑEZ, O., BUNTINX, E. 2012. Rastrojo de maíz tratado con úrea y metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento. Interciencia. 37(5): 395-399.

SARNKLONG, C. CONE, J., PELLIKAAN, W. AND HENDRIKS, W. 2010. Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: A review. In: Asian-Aust. J. Anim. Sci. 23(5):680-692.

SCOTT, G. AND ABUBAKR, S. 1995. Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry. Madison. In: Proceedings of the 1995 international environmental conference; 1995 May 7–10. Tappi Press, Atlanta, 269-279 p.

SUKSOMBAT, W. 2003. Comparison of different alkali treatment of bagasse and rice straw. Asian-Aust. J. Anim. Sci.17(10): 1430-1433.

TAHERZADEH, M., KARIMI, K., 2008. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. Int. J. Mol. Sci. 9: 1621–1651.

VAN SOEST PJ 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant, second ed. Cornell University Press, Ithaca, NY. p. 177.

YALCHI, T. 2010. Effects of úrea and aqueous ammonia treatment on the nutritive value of triticale Straw. Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.8 (1): 69 - 72.

ZHAO, X., CHENG, K., LIU, D., 2009. Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis. Appl. Microbiol. Biotechnol. 82: 815–827.

ZORILLA-RIOS, J., OWENS, F.N., HORN, G.W., AND R.W. MCNEW. 1985. Effect of ammoniation of wheat straw on performance and digestion kinetics in cattle. J. Anim. Sci. 60:814-821.

2. Caracterización química, digestibilidad *in vitro*, degradabilidad ruminal y prueba de aceptación por los bovinos de los subproductos de la industria del papel (SIP), generados por una empresa productora de papel

Resumen

Se realizaron dos experimentos para determinar la calidad nutricional, homogeneidad de un subproducto de la industria del papel (SIP) y la aceptación como parte de la ración de los bovinos. Inicialmente, se realizó un tratamiento de amonificación (úrea al 4%) durante 30 días, con el fin de mejorar la calidad nutricional del SIP (PC, *DIVMS*, FDN, principalmente), no obstante, no se evidenciaron diferencias al aplicar este tratamiento a este tipo de producto (PC 1,2 y 2,3 %; FDN 49,5 y 49,8%; *DIVMS* 73,9 y 75,5%, para SIP sin amonificar y amonificado respectivamente), por lo cual los experimentos se realizaron con el SIP sin amonificar. En el primer experimento fueron analizadas doce muestras de SIP de diferentes lotes de producción de una empresa productora de papel, con el fin de evaluar la composición nutricional, homogeneidad de este producto y la degradabilidad *In situ* de la MS y FDA de una muestra de SIP. Los contenidos promedio de PC fueron bajos (1,5 %), la MS, *DIVMS* y *DIVMO* y lignina promedio fueron 53,7, 68,4, 47,7 y 4,9% respectivamente; se encontraron niveles de FDN y FDA y cenizas de 59,6, 48,3 y 53,3% respectivamente. Minerales como P y K se encuentran en baja concentración en los SIP mientras que, Ca, Zn, Fe y Cu presentan altos valores comparados con forrajes como kikuyo y/o Raigrás. Para la degradabilidad *In situ* de la MS y FDA se utilizó una muestra de SIP y fue evaluada durante 48 horas, se utilizó la técnica de la bolsa de nylon, con 7 tiempos de incubación en el rumen: 0, 3, 6, 12, 24, 36, 48 horas, utilizando 3 repeticiones por cada tiempo de incubación. La tasa de desaparición de la MS y FDA para el tiempo 0

fue de 11,3 y 25,9% respectivamente, con un aumento rápido hasta las 24 horas con valores de 55,4 y 42,7% para MS y FDA respectivamente y un incremento decreciente a las 48 horas (62,1 y 45,5% para MS y FDA respectivamente). La tasa de degradación estimada para la MS de la muestra de SIP (*kd* % h^{-1}) fue 11,8 y la degradabilidad efectiva (DE 5% h^{-1}) de la MS fue 46,9. En un segundo experimento, se evaluó la aceptación del SIP en la dieta de bovinos. Se utilizaron 12 novillas Holstein (peso promedio 407 +/- 49 kg) asignadas en dos grupos experimentales (6 animales cada uno), para el grupo experimental 1, los tratamientos evaluados fueron: T1. SIP; T2. SIP mezclado con glicerol (G) y T3. SIP mezclado con melaza (M); para el grupo experimental 2, los tratamientos fueron: T4. SIP mezclado con suplemento comercial (SC); T5. SIP mezclado con G y con SC y T6. SIP mezclado con M y SC. El SIP se incluyó al 10% en la dieta de los animales (1,07 kg de MS/animal/día), el glicerol y la melaza adicionada fue el 20% del total de SIP ofrecido y el suplemento comercial correspondió a 0,89 kg de MS/animal/día. El diseño experimental para cada grupo fue un cuadrado latino replicado 3 X 3 X 3 (3 periodos, 3 tratamientos, 3 animales y 2 cuadrados). Para el grupo experimental 1, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos T2 y T3 (consumo de 41 y 33% de la MS ofrecida respectivamente) y el tratamiento T1 (consumo de 2,8% de la MS ofrecida). Para el grupo experimental 2, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre T6 (consumo 89% de la MS ofrecida) y los tratamientos T4 y T5 (consumo de 75 y 73% de la MS ofrecida respectivamente). Los SIP provenientes de la empresa productora de papel son homogéneos en su composición, presentan una baja calidad nutricional (la cual no mejoró al aplicar un tratamiento de amonificación) y una rápida degradación *In situ* durante las primeras 24 horas. Este producto tiene baja aceptabilidad por los animales cuando se suministra como tal, la cual se incrementa con el uso de palatabilizantes (G y M), lográndose su mayor consumo cuando se suministra mezclado con M y SC.

Palabras clave: Subproducto de la industria del papel (SIP), amonificación, consumo, calidad nutricional, degradabilidad *In situ.*

Abstract

Two experiments were carried out to determine the nutritional quality and homogeneity of a byproduct of the paper industry (BPI) and acceptance as part of the ration given to bovines. First, an ammonification treatment was conducted (urea 4%) during 30 days with the aim of improving the nutritional quality of BPI (CP, *IVDMD*, NDF, mainly). Yet,

no evidence was observable when applying this treatment to this type of product (PC 1,2 and 2.3%; NDF 49.5 and 49.8%; *IVDMD* 73.9 and 75.5% for BPI with and without ammonia respectively); which is the reason why the experiments were made with BPI without ammonia. In the first experiment, twelve BPI samples of different production lots, of a paper manufacturing company were analyzed with the aim of assessing the nutritional composition, homogeneity and degradability of the product and *In situ* degradability of the DM and ADF of a sample of BPI. The average content of CP was low (1.5%), the average DM, *IVDMD* and *IVDOM* and lignin were 53.7, 68.4, 47.7 and 4.9% respectively, and levels of NDF, ADF and ash content were of 59.6, 48.3 and 53.3% respectively. Minerals such as P and K, were found in low concentration in the BPI, while Ca, Zn, Fe and Cu were found in high values compared to forages such as Kikuyu and Ryegrass. For the *In situ* degradability of the DM and the ADF, we used a sample of BPI and assessed it during 48 hours. We used the nylon bag technique with seven times of incubation in the rumen: 0, 3, 6, 12, 24, 36, 48 hours, using 3 repetitions for every time of incubation. The rate disappearance of the DM and the ADF for time 0 was 11.3 and 25.9% respectively, with a quick increase until the 24th hour, with values of 55.4 and 42.7% for DM and ADF respectively and a minor increase up to the 48th hour (62.1 and 45.5% for DM and ADF respectively). The rate of estimated degradation of the DM of BPI sample (*kd %* h-1) was 11.8 and the effective degradation (5% h-1) of the DM was 46.9. In the second experiment the acceptance of BPI in the diet of bovines was assessed. 12 Holstein heifers (average weigh 407 +/-49 kg) were distributed in two experimental groups (six animals per group). In experimental group number one, the treatments evaluated were: T1. BPI; T2. BPI mixed with glicerol (G) and T3. BPI mixed with molasses (M). For experimental group number 2 the treatments were: T4. BPI mixed with commercial supplement (CS), T5. BPI mixed with G and CS and T6. BPI mixed with M and CS. BPI was included at 10% in the animals' diet (1.07 kg DM/ animal/ day), the G and M added were 20% of the total of BPI offered, and the CS was fed at 0.89 kg/animal/day. The experimental design for each group was carried out through a replicated Latin square 3 X 3 X 3 (3 periods, 3 treatments, 3 animals and 2 squares). For experimental group number 1, significant differences were found ($p < 0.05$) betwen treatmens T2 and T3 (41 and 43% intake the offered DM respectively) and the treatment T1 (2.8% of intake from the offered DM). For the experimental group number 2, significant differences were found ($p < 0.05$) betwen T6 (89% of intake of the DM offered) and treatments T4 and T5 (75 and 73% intake of the DM offered, respectively). The BPI from the paper producing company are homogeneous in their composition, have a low

nutritional quality (which did not improve when applying an ammonification treatment) and a rapid *In situ* degradation during the first 24 hours. This product has low acceptance for animals when it is supplied alone, which is increased with the use of palatability agents (G and M), achieving its highest intake when it is supplied mixed with molasses and commercial supplement.

Key words: Co-product of the paper industry (BPI), ammonification, intake, nutritional quality, *In situ* degradability.

2.1 Introducción

Los dos factores más importantes que controlan la producción en los rumiantes, son la cantidad de materia seca consumida y su valor nutritivo (Preston y Leng, 1989). El consumo voluntario de un alimento, se define como la cantidad de alimento consumido por un animal o grupo de animales durante un periodo de tiempo, en el cual los animales tienen libre acceso al alimento (Minson, 1990).

La ingestión de alimentos se ve afectada por factores intrínsecos y extrínsecos al animal, dentro de los factores intrínsecos están: las reacciones bioquímicas y neuroendocrinas, concentración de nutrientes en la sangre, acción sobre el sistema nervioso central que inducen estados de apetito o saciedad. Los factores extrínsecos están asociados a características ligadas al alimento como: calidad, textura y forma física del alimento, temperatura ambiental, entre otros (Forbes, 2000).

Para ser consumido, un alimento debe ser reconocido primero como comestible. La función de algunos sentidos (como la vista, olfato, tacto y gusto) en el comportamiento alimentario de los rumiantes se ha estudiado y revisado por varios autores (Arnold, 1970; Grovum, 1988 citados por Baumont, 1996).

De acuerdo con la definición dada por Greenhalgh y Reid (1971), la palatabilidad es definida como las características o condiciones dietéticas que estimulan la respuesta selectiva del animal, considerándose la palatabilidad como una característica inherente al alimento y un factor determinante en el momento de escoger o ingerir los alimentos, siendo un proceso complejo que integra olor, sabor, textura de los alimentos con los efectos pos ingestivos de estos, en términos de nutrientes y toxinas (Church, 1988; Provenza, 1995). Forbes (2002) afirma que, la palatabilidad no se puede asociar únicamente con la calidad

de la alimentación, ya que depende de la experiencia y estado metabólico del animal en cuestión; la palatabilidad de un alimento no es absoluto y depende del estado de hambre del animal.

De acuerdo a Baumont *et al*., (2000), dentro de los principales componentes del alimento que influyen en la palatabilidad están:

- **Características Físicas:** Algunas características del alimento como contenido materia seca, tamaño de partícula y resistencia a la fractura o facilidad de aprehensión y, por lo tanto, tasa de consumo.

- **Características Químicas:** Los efectos de los gustos primarios (dulce, salado, amargo, ácido) compuestos odoríferos, sabores artificiales o de edulcorantes (estos últimos parecen depender de la palatabilidad basal del forraje o alimento tratado).

Según Forbes (2002), los animales regulan la selectividad del alimento de acuerdo a sus requerimientos nutricionales. Este tipo de regulación depende de las experiencias previas de los animales, aprendiendo que tipo de alimento está asociado a diferentes respuestas fisiológica y en cuanto a la calidad nutritiva de los alimentos, este factor está determinado en la proporción y el nivel de consumo, de la digestibilidad, del contenido de nutrientes y la eficiencia en que estos pueden ser metabolizados y utilizados por los animales (Giraldo *et al*., 2007).

La digestibilidad de los recursos alimenticios, permite estimar la proporción de nutrientes presentes en estos, que tienen potencial de ser absorbidos por el tracto digestivo. Establecer la degradabilidad y digestibilidad de los alimentos es fundamental para determinar su valor nutritivo (López, 2005). Existen diferentes métodos que permiten estimar la tasa y la extensión de la degradación de los alimentos para predecir el valor nutricional de los recursos y la técnica *In situ* ha sido ampliamente utilizada para obtener los datos que se requieren en la estimación de los parámetros de cinética ruminal de las fracciones nutricionales en alimentos para rumiantes (Correa, 2004).

Los residuos de cosecha o subproductos agroindustriales son productos obtenidos durante la cosecha y/o procesamientos industriales que por su características nutricionales y disponibles a bajo costo en la mayoría de las ocasiones se constituyen en un recurso

importante como fuente de alimento para animales (Cuesta y Conde, 2002; Villas-Bôas *et al*., 2002). La celulosa es uno de los materiales más abundantes en el universo y equivale aproximadamente al 50% del carbono orgánico en la biosfera. Ésta se encuentra principalmente en la madera y es utilizada para papel, telas y alimentos entre otros. Sin embargo, gran parte de esta celulosa va a parar como desecho después de ser usada en la agricultura y la industria (Himanish y Sudhir, 2004).

Los SIP generados en la fabricación de papel, están constituidos por materia orgánica una mezcla de fibras celulósicas cortas y compuestos inorgánicos, tales como carbonato de calcio, arcilla y otros productos químicos residuales disueltos en el agua que son utilizados en la fabricación del papel (Méndez *et al*., 2009 y Bajpai, 2015). Una ventaja que se tiene con la producción ganadera, es que permite aprovechar la capacidad que tienen los rumiantes para transformar pastos y materiales fibrosos, que no compiten con la dieta humana, en productos de alta calidad proteica (Gómez *et al.*, 2014).

Los recursos lignocelulósicos generalmente presentan baja calidad nutricional, aunque existen diversos tratamientos cuyo objetivo es mejorar la calidad nutricional y el consumo de dichos recursos lignocelulósicos (Macedo, 2000) entre los cuales el tratamiento con amoníaco (NH_3) ha sido uno de los más utilizados, el cuál se puede hacer con amoníaco (anhidro o líquido) o úrea (Muñoz *et al*., 1998).

Los objetivos de este experimento fueron: 1) Caracterizar nutricionalmente y determinar la variabilidad de los SIP, generados en diferentes lotes de producción por una empresa productora de papel y evaluar la degradabilidad ruminal de dichos subproductos y 2) Determinar la aceptación de los SIP en bovinos, usando glicerol y melaza como productos palatabilizantes

2.2 Materiales y métodos

Todos los procedimientos fueron avalados por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (Acta 06 del año 2016).

2.2.1 Fase pre -experimental Tratamiento de amonificación

Con el fin de mejorar la calidad nutricional de los subproductos de la industria de papel (SIP) (digestibilidad) se realizó un tratamiento de amonificación, con la aplicación de úrea al 4% de la MS de los residuos de papel, grano de soya molido al 1% de la MS como fuente de úreasa y un tiempo de amonificación de 30 días. Para la cantidad de úrea aplicada en el proceso de amonificación se tuvieron en cuenta los trabajos realizados por Yalchi (2009) (3 a 4,5% de úrea), Atta Elman, (1998) (4 a 6% de úrea) y Joy *et al*. (1992) estos últimos autores encontraron, que dosis entre el 3 a 4% de úrea son suficientes cuando el proceso de amonificación se realiza con un contenido de humedad del 30%, aumentos de la dosis de úrea no producen un aumento lineal de la digestibilidad *In vitro.*

Resultados de fase pre-experimental Tratamiento de amonificación

No se evidenció un cambio importante en los valores de la digestibilidad y proteína cruda, FDA y FDN de los SIP, al ser sometidos al tratamiento de amonificación con úrea (Tabla 2-1).

Autores como Joy *et al.* (1992), encontraron un incremento de 5,3% en la digestibilidad de la paja de trigo al someterse a amonificación con úrea (al 4%), y disminuciones en contenido de FDA y FDN (2 y 6% respectivamente frente a material sin amonificar). Brown y Adjei (1995 citados por Elizondo, 1998) reportan incrementos de 8% en la *DIVMO* en heno de pasto Guinea amonificado con úrea al 4%. Yalchi (2009), reporta incrementos de 3,6% en la *DIVMS* y reducción en el contenido de FDA y FDA (2,6 y 2,5% respectivamente) en residuos de Triticale sometido a amonificación (úrea al 4,5%). Sánchez *et al.* (2012), encontró un aumento de 11.5% en la *DIVMS* de residuos de maíz amonificado (úrea 4%).

Debido a que no se encontraron diferencias considerables en los parámetros de *DIVMS*, PC, FDN y FDA en los SIP sometidos al tratamiento de amonificación (Tabla 2-1), los SIP empledos para los diferentes experimentos de este estudio fueron tal cual salen de la empresa productora de papel (sin amonificación).

Tabla 2-1 Comparación de subproductos de la industria de papel (SIP) sin y con tratamiento de amonificación con úrea (30 días).

Componente	SIP sin amonificar	SIP amonificado
Proteína Cruda (%)	1,2	2,3
Fibra en Detergente Neutro (%)	49,5	49,8
Fibra en Detergente Ácido (%)	48,4	49,3
Lignina (%)	7,3	5,9
Cenizas (%)	52,8	54,1
Digestibilidad *In Vitro* de la MS (%)	73,9	75,5
Digestibilidad *In Vitro* de la MO (%)	50,8	50,8
Calcio (%)	16,0	13,6
Fosforo (%)	0,2	0,1
Magnesio (%)	0,2	0,2
Cobre (mg/kg))	60,3	65,5
Hierro (mg/kg)	1449	1443

2.2.2 Localización

CALIDAD NUTRICIONAL Y DEGRADABILIDAD "In situ" DE LOS SIP

Los análisis de calidad nutricional, digestibilidad *In vitro (DIVMS)* y degradabilidad ruminal se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

PRUEBA DE ACEPTACIÓN (CONSUMO)

La prueba de aceptación (consumo) se realizó en la unidad de Bovinos en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional (sede Bogotá, Colombia), localizado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca) a 4º 42' de latitud Norte y 74º 12 de longitud Oeste, altitud de 2650 msnm y una temperatura media anual de 13°C, humedad relativa de 80 a 85%. La precipitación promedio anual es de 900 mm con una distribución del régimen de lluvias bimodal (entre los meses de abril a mayo y el otro de septiembre a noviembre) (González *et al*., 1997). La prueba de aceptación de los residuos de papel se realizó entre los meses de mayo a junio de 2017.

2.2.3 Periodo experimental y tratamientos

PRUEBA DE ACEPTACIÓN (CONSUMO)

La prueba de consumo tuvo una duración total de 30 días, el cual se dividió en 3 periodos de 10 días cada uno (7 días de acostumbramiento al consumo de los tratamientos y 3 días de evaluación de consumo). Para suministrar los residuos de papel, los animales se dividieron en 2 grupos experimentales, cada uno con 3 tratamientos:

- ***Grupo 1:*** Animales a los cuáles se les ofreció los SIP con palatabilizantes (glicerol o melaza). Los tratamientos fueron: Tratamiento 1). SIP; Tratamiento 2). SIP mezclado con glicerol y Tratamiento 3). SIP mezclado con melaza.

- ***Grupo 2:*** Animales a los cuáles se les ofreció SIP con palatabilizantes (glicerol o melaza) y mezclados con un suplemento comercial. Los tratamientos fueron: Tratamiento 4). SIP mezclado con suplemento comercial; Tratamiento 5). SIP mezclado con glicerol y suplemento comercial y Tratamiento 6). SIP mezclado con melaza y suplemento comercial.

Los SIP que se ofrecieron a los animales (1,07 kg de MS /animal/día) corresponden al 10% del consumo de MS estimada para estos animales (10,7 kg de MS/animal/día) según NRC (2001); el glicerol y la melaza adicionada fue el 20% del total de los SIP ofrecidos (0,221 y 0,208 kg de MS respectivamente) y el suplemento comercial correspondió a 0,89 kg de MS/animal/día (Tabla 2-2 y 2-3). La base forrajera fue Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y los SIP usados en el experimento fueron suministrados por la empresa productora de papel "Productos Familia Cajicá S.A.S." de la planta de procesamiento ubicada en Cajicá (Cundinamarca).

Tabla 2-2 Cantidad de MS ofrecida y composición de los tratamientos para el grupo experimental 1.

Grupo Experimental	No. de animales	Tratamientos	SIP	Glicerol	Melaza
			Kg de MS		
1	6	**T1**	1,07	---	---
		T2	1,07	0,221	---
		T3	1,07	---	0,208

SIP= Subproducto de la industria de papel.

Tabla 2-3 Cantidad de MS ofrecida y composición de los tratamientos para el grupo experimental 2.

Grupo Experimental	No. de animales	Tratamientos	SIP	Suplemento comercial	Glicerol	Melaza
			kg de MS			
2	6	T4	1,07	0,89	---	---
		T5	1,07	0,89	0,221	---
		T6	1,07	0,89	---	0,208

SIP= Subproducto de la industria de papel.

2.2.4 Animales y manejo

DEGRADABILIDAD "In situ" DE LOS SIP

Para la degradabilidad *In situ* de la MS y FDA, se utilizó un animal bovino de raza Normando con un peso vivo de 700 kg, provisto de cánula ruminal permanente. El animal se encontraba pastoreando Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), con suministro de agua a voluntad.

PRUEBA DE ACEPTACIÓN (CONSUMO)

Para la prueba de consumo se utilizaron 12 novillas Holstein (grupo 1. 23,1 +/- 2,4 meses de edad y peso promedio de 400 +/- 55 kg; grupo 2. 24,4 +/- 4,6 meses de edad y peso promedio de 415 +/- 46 kg), las cuales se asignaron aleatoriamente de la siguiente manera:

- **6 novillas a un cuadrado latino replicado:** (3 periodos, 3 tratamientos, 3 novillas, 2 cuadrados) para Grupo 1 (T1, T2 y T3), y,

- **6 Novillas asignadas a un cuadrado latino replicado:** (3 periodos, 3 tratamientos, 3 novillas, 2 cuadrados) para Grupo 2 (T4, T5 y T6).

Para los 2 grupos, las columnas corresponden a los animales y las filas a los periodos (Figura 2-1). Cada periodo correspondIó a 3 días de evaluación y 7 días de acostumbramiento.

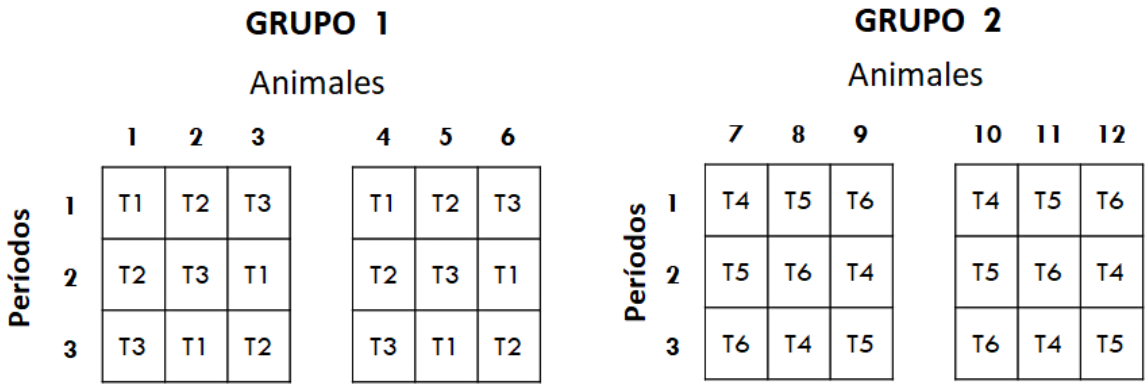


Figura 2-1 Distribución de los tratamientos en la prueba de aceptación de los SIP

Las novillas pastoreaban una pradera de Kikuyo bajo el sistema de franjas con cerca eléctrica, la cual se corría 1 vez al día. Los animales se recogían y eran llevadas a un establo (7 a.m.) a un puesto individual donde se les suministraba en un comedero plástico su respectivo tratamiento. Además, se les suministraron 80 g/animal/día de sal mineralizada en el potrero.

2.2.5 Mediciones

CALIDAD NUTRICIONAL Y DEGRADABILIDAD "In situ" DE LOS SIP

Se realizó la caracterización química de 12 muestras de los SIP, provenientes de diferentes lotes de producción (días), a los cuales se les analizó: Materia seca, Proteína cruda, FDN, FDA, Lignina, Cenizas, Minerales: Ca, Cu, Zn, Mg, Fe determinados por espectrofotometría de absorción atómica y P determinado por colorimetría (AOAC, 2006) y digestibilidad *In vitro* de la materia seca (*DIVMS*) y digestibilidad *In vitro* de la materia orgánica (*DIVMO*) (Tilley y Terry, 1963).

Para la degradabilidad *In situ* de la MS y FDA se siguió la técnica de la bolsa de nylon propuesta por Ørskov (2000), con 7 tiempos de incubación en el rumen: 0, 3, 6, 12, 24, 36, 48 horas, utilizando 3 repeticiones por cada tiempo de incubación. Las bolsas de nylon tenían una dimensión interna de 5 x 9 cm con tamaño de poro de 53 µm. En cada bolsa se depositaron tres (3) g de muestra de los SIP (se colocó el material seco entero ya que por su naturaleza se presentaron pérdidas a través de la bolsa cuando se molió), atadas con

una abrazadera plástica obteniendo una relación: tamaño de la muestra y área de la bolsa de 15 mg/cm^2 (Nocek, 1988).

Las muestras se introdujeron de manera inversa de acuerdo al tiempo de incubación para ser retiradas todas al mismo tiempo. La muestra que correspondió al tiempo cero (0) fue sumergida y retirada inmediatamente del rumen. Luego del periodo de incubación las muestras fueron extraídas del rumen, lavadas con agua corriente, secadas a 65 °C/48 h en una estufa de aire forzado y luego pesadas, previo enfriamiento en desecador y ser expresadas como digestibilidad verdadera *In situ* de la materia seca (*DVISMS)*, posteriormente, los residuos de la degradación *In situ*, se procesaron en el equipo analizador de fibra Ankom® 200 ANKOM® 200 (ANKOM Technology Corp., Nueva York, EUA) según las metodologías propuestas por Van Soest (1994), para efectuar una extracción con detergente ácido a 100 °C /1 h y poder expresar los datos como digestibilidad verdadera *In situ* de la fibra detergente ácida.

Para estimar los parámetros de la cinética de degradabilidad ruminal de las diferentes fracciones de la MS y FDA, se aplicó el modelo matemático exponencial propuesto por Ørskov y McDonald (1979), en el cual $Y = a + b(1-exp(-k_d*t))$, donde "Y" es el porcentaje de la fracción nutricional degradada, "*t"* es el tiempo de incubación (horas), "*a"* representa la fracción inmediatamente degradable en el tiempo cero, "*b"* representa, la fracción potencialmente degradable y "K_d ", la constante de la cinética de degradación ruminal de esta última fracción. La degradabilidad efectiva (DE) de la MS y FDA de la muestra de residuo de papel fue determinada usando la ecuación propuesta por Bhargava y Ørskov (1987), en la cual $DE= a + ((b * k_d) / (k_d + k_p)$ donde; *a, b*, y k_d fueron definidos previamente mientras que k_p se define como la tasa constante de pasaje (5% $^{h\ -1}$).

PRUEBA DE ACEPTACIÓN (CONSUMO)

En la prueba de aceptabilidad por consumo, para cada periodo se registró la oferta y el rechazo de cada uno de los tratamientos entre los días 8 y 10 en los tres periodos y se tomó como valor de consumo el promedio de los tres días de evaluación. Esto para los 2 grupos de animales.

2.2.6 Diseño experimental

PRUEBA DE ACEPTACION (CONSUMO)

Para la prueba de consumo, en cada grupo se empleó un cuadrado latino replicado 3 X 3 X 3 (3 periodos, 3 tratamientos, 3 animales y 2 cuadrados) (Martínez, *et al*., 2011).

Se compararon las diferentes formas de suministrar los subproductos de la industria del papel en el consumo para cada grupo. El análisis estadístico se realizó utilizando el procedimiento PROC GLM del sistema estadístico SAS (1998). Según el siguiente modelo:

$$Yij(k)l = \mu + Yl + א(Y)il + \lambda(Y)jl + T(k) + eij(k)l$$ Donde:

Yijkl = Consumo en el i-ésimo periodo en el j-ésimo animal, k- ésimo tratamiento y l-ésimo cuadrado

μ = Promedio poblacional de la variable respuesta

Yl = Efecto l-ésimo cuadrado (l = 1,2)

א ***(Y)il*** = Efecto del i-ésimo periodo (i= 1,2,3) dentro del l-ésimo cuadrado (m=1,2)

λ(Y)jl = Efecto del j-ésimo animal (j= 1,2,3) dentro del l-ésimo cuadrado (m= 1,2)

Tj = Efecto del k-ésimo tratamiento (k= 1,2,3)

Eijkl = Error asociado al k-ésimo tratamiento en el j-ésimo animal y en el i-ésimo periodo en *l* ésimo cuadrado

Se realizaron comparaciones de medias no planeada (prueba de Tukey), con un nivel de significancia del 5%. El modelo cumplió los supuestos homogeneidad del material experimental. El error experimental es una variable aleatoria, independiente, con distribución normal, media igual a 0 y homogeneidad de las varianzas (con variable transformada con logaritmo para grupo 1).

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Resultados de la caracterización química, digestibilidad In vitro de los SIP

La composición de los subproductos (SIP) generados en la fabricación de papel, depende de factores como la materia prima, el proceso de fabricación, productos químicos usados, productos finales y la técnica de tratamiento de aguas residuales (decretos 4741 de 2005 y 1287 de 2014). En caso de papeles reciclados, también depende del tipo de papel utilizado y el número y tipos de etapas de limpieza utilizadas en la operación de reciclaje (Baijpai, 2015). La composición química, *DIVMS* y *DIVMO* de 12 muestras de SIP de diferentes lotes de producción (días) se muestran en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4 Análisis químico, *DIVMS* y *DIVMO* de diferentes muestras de SIP (12 días de producción).

Muestra	MS	PC	*DIVMS*	*DIVMO*	FDN	FDNc	FDA	Lignina	Cenizas
					%				
M1	57,7	1,6	63,7	33,7	62,8	33,4	51,4	5,7	57,9
M2	53,9	1,6	68,5	48,8	65,1	38,9	45,9	5,7	53,3
M3	53,5	1,5	66,1	47,0	53,7	38,0	53,3	5,3	50,8
M4	53,7	1,7	63,6	44,5	61,8	37,9	48,2	4,9	50,9
M5	50,7	1,6	68,5	46,9	56,6	37,2	43,8	5,2	51,8
M6	52,9	1,7	66,9	46,4	47,6	33,8	35,2	5,5	53,6
M7	51,4	1,3	70,5	51,2	69,6	36,1	39,6	3,8	54,9
M8	55,4	1,5	68,0	45,1	62,6	37,8	57,6	4,9	53,2
M9	52,4	1,4	69,5	51,4	57,0	35,4	56,4	4,2	53,8
M10	57,1	1,5	69,7	52,0	65,7	39,5	51,1	4,8	51,4
M11	54,3	1,5	70,4	47,5	58,9	38,3	42,8	5,2	53,5
M12	51,5	1,3	75,1	58,4	54,0	37,0	53,9	3,4	54,4
Promedio	**53,7**	**1,5**	**68,4**	**47,7**	**59,6**	**36,9**	**48,3**	**4,9**	**53,3**
Desvest.	**2,19**	**0,14**	**3,14**	**5,86**	**6,17**	**1,90**	**6,93**	**0,72**	**1,98**
ESM	**0.63**	**0.04**	**0.09**	**1.69**	**1.78**	**0,55**	**2,00**	**0.2**	**0.57**

FDNc = Fibra en Detergente Neutro corregída por cenizas, *DIVMS*= Digestibilidad *In vitro* de la Materia seca; *DIVMO*= Digestibilidad *In vitro* de la Materia Orgánica; ESM = Error estándar de la media; Desvest.= Desviación estandar

La materia seca promedio de las diferentes muestras analizadas fue de 53,7% (±2,1) (Tabla 2-4), siendo mayor al valor reportado por Moss *et al*. (1990), quienes indícan valores de 35 a 45% de MS para pulpa de papel reciclado usada en alimentación de bovinos. Monte *et al*. (2009), reportaron valores de 48% de MS para lodos residuales de la fabricación de papel (pero que pueden variar desde el 20 al 60%). El lodo de papel generalmente contiene niveles muy altos de sólidos ya que es rico en fibras y debido a esto se deshidrata muy fácilmente (Baijpai, 2015).

El valor promedio de proteína cruda (PC), en las muestras de SIP fue baja 1,5% (±0,14) o (0,2% de N) (Tabla 2-4), consistente con valores descritos por autores como Moss *et al*., (1990) de 2 a 4% de PC para pulpa de papel reciclado, Scott y Abubar (1995) valores de 0,1 a 0,9% de N, para diferentes tipos de lodos residuales de la fabricación pulpa de papel y papel, Combe y Briggs (1974), 0,25% de N para papel usado como alimento para rumiantes y Bajpai (2015) con niveles de Nitrógeno desde 0,2 a 0,9% para diferentes tipos de residuos generados en la fabricación de papel.

La digestibilidad *in vitro* de la MS y MO en las muestras de SIP analizadas en este trabajo fueron de 68,4% (±3,1) y 47,7% (±5,8) respectivamente (Tabla 2-4). Autores como Moss *et al*. (1990), reportan valores de digestibilidad *In sacco* de la MS de 31% para pulpa de papel reciclado usada en bovinos como parte de la ración.

Mertens *et al*. (1971), usando 10 y 20% de papel en raciones de vacas lecheras, con una dieta base de heno de alfalfa, no encontraron diferencias significativas en la *DIVMS* con estos niveles de inclusión de papel en la ración (77.4% y 77.5% para 10% y 20% de inclusión de papel respectivamente). Millet *et al*. (1973), muestran valores de 66% y 53% de digestibilidad de en finos de pulpa de papel, en la ración de rumiantes con inclusiones en la dieta de 20 y 60%.

Los valores de *DIVMO* de los SIP analizados en este trabajo, son mayores a los encontrados por Combe y Briggs (1974), para papel periódico (17 a 25%), y similar otros tipos de papeles (papel de oficina) de 46 a 52%, evaluados para alimentación de rumiantes.

Los resultados de los contenidos de FDN y FDA de las muestras de SIP evaluados en este estudio, presentan valores de 59,6% ±6,17 y 48% ± 6,93 respectivamente (Tabla 2-4). Dinius y Bond (1975), reportaron valores de 58% de celulosa y 10% de hemicelulosa para lodos provenientes de la fabricación de pulpa de papel. Los valores de FDN y FDA

obtenidos en este trabajo son inferiores a los reportados por Croy y Rode (1988), de 87% para FDN y 84% para FDA para diferentes muestras de residuos de pulpa de la fabricación de papel. Estos autores también reportaron contenidos de FDA mayores a los contenidos de FDN para algunas muestras que eran altas en contenido de cenizas, estos resultados se pueden esperar si la ceniza contiene cantidades significativas de sílice opalina, ya que este tipo de sílice se solubiliza con detergente neutro, pero es insoluble en soluciones de detergente ácido (Van Soest y Jones 1968).

Los contenidos de lignina de las muestras de SIP encontrados en este estudio fueron bajos (4,9% ±0,79) (Tabla 2-4), similares a los contenidos de lignina descritos por Cavka *et al.* (2013), cuando analizaron la composición de lodos de fibras de papel generados en los procesos de sulfato y sulfito, donde encontró niveles de 0,8 y 3,8% respectivamente.

Coombe y Briggs (1974), encontraron valores de lignina de 0,8% para papel de alta calidad y de 17% para papel periódico, mientras que Croy y Rode (1988), reportaron una gran variación en los contenidos de lignina de diferentes muestras de residuos de pulpa de de la fabricación de papel, que van desde 2 a 50%, y Moss *et al.* (1990), también encontraron altos valores para lignina en la pulpa de papel reciclado (38 a 42%).

Los contenidos de cenizas de las muestras de SIP analizados fueron altos (53% ±1,9) (Tabla 2-4), consistente con lo descrito por Méndez *et al*., (2009) quien expresa que los residuos generados en la producción de papel a partir de fibras recicladas y destintado son considerados con altos contenidos de cenizas 39,6% de cenizas. El CEPI (2011), reporta para lodos de destintado un contenido de 50% de MO y 50% de Cenizas.

Croy y Rode (1988), reportaron valores altos de ceniza en residuos de pulpa de papel (25 y 67.5%), mencionando que estos valores pueden esperarse si la ceniza contiene cantidades significativas de sílice opalina. Likon *et al.,* (2011), mencionaron valores de 40% de cenizas en lodos residuales de la fabricación de papel periódico.

La composición mineral de las 12 muestras de SIP se presenta en la Tabla 2-5. Las muestras de SIP evaluadas muestran altos niveles de Ca (13,5% ±0,76), niveles medios de Mg (0,2% ±0,01) y Na (0,08 ppm ±0,01) y bajos niveles de los elementos como P (0,045% ±0,006), K (0,023% ±0,003) y Mn (50 ppm ±5,39) cuando se comparan con el contenido de estos minerales encontrados en forrajes como Kikuyo (*Cenchrus*

clandestinus) de 50 días de rebrote (0.42% Ca, 0.28% P, 2,15% K y 357 ppm de Mn), (Bernal, 2003).

Tabla 2-5 Composición mineral de diferentes muestras de producción de SIP (12 días de producción).

Muestra	Ca	P	K	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe	Na
	%				ppm				
M1	12,8	0,043	0,020	0,260	49,7	81,1	78,5	1409	0,065
M2	13,4	0,039	0,021	0,265	52,2	66,4	69,8	1307	0,077
M3	13,4	0,049	0,023	0,266	48,9	65,0	65,0	1430	0,083
M4	12,5	0,051	0,029	0,253	48,4	61,7	66,0	1300	0,082
M5	13,7	0,046	0,023	0,247	45,4	58,9	59,5	1232	0,075
M6	12,7	0,061	0,026	0,239	50,7	89,4	52,5	1297	0,079
M7	14,3	0,042	0,023	0,263	46,9	54,5	61,7	1424	0,080
M8	14,8	0,041	0,020	0,240	53,8	68,9	57,2	1353	0,079
M9	14,7	0,044	0,024	0,256	64,3	59,8	65,6	1359	0,086
M10	13,0	0,042	0,025	0,225	48,6	55,2	79,4	1144	0,078
M11	13,2	0,040	0,020	0,225	ND	57,9	113,8	1898	0,078
M12	13,4	0,047	0,018	0,250	ND	48,4	60,3	1222	0,087
Promedio	**13,5**	**0,045**	**0,023**	**0,249**	**50,9**	**6,9**	**69,1**	**1364**	**0,079**
Desvest.	**0,76**	**0,01**	**0,003**	**0,01**	**5,31**	**11,54**	**16,15**	**189**	**0,006**
ESM	**0,21**	**0,001**	**0,0009**	**0,0041**	**1,53**	**3,33**	**4,66**	**54,58**	**0,001**

ND= No detectado; ESM = Error estándar de la media; Desvest. = Desviación estándar

Minerales como el Zn (69 ppm ±16), Fe (1364 ppm ± 189) y Cu (63 ppm ±11,5) (Tabla 2-5) presentan valores promedios elevados, respecto a forrajes como kikuyo o Raigrás, donde se encuentran niveles de 20 y 39 ppm de Zn, 11 y 8 ppm de Cu y 712 y 118 ppm de Fe para pasto kikuyo y raigrás, respectivamente (Bernal, 2003). Los altos niveles de algunos minerales, especialmente de Cu en la dieta pueden tener efectos tóxicos en los rumiantes, siendo los ovinos muy susceptibles a altos niveles de este mineral (15 mg/kg de MS) (ARC, 1980). El exceso de Cu se almacena en el hígado y se libera cuando disminuye el Cu plasmático. Cuando la acumulación de Cu alcanza su máximo en el hígado, se producirá daño hepático. Los bovinos son más tolerantes a niveles más altos de cobre en la dieta que las ovejas, tal vez debido a su mayor capacidad para eliminar el cobre del cuerpo a través de la bilis (NRC, 2001). La concentración máxima de Cu en la dieta para el ganado lechero es aproximadamente 40 mg/kg de MS, mientras que la ingesta

recomendada varía entre 10-25 mg/kg MS dependiendo de la etapa de lactancia (Goselink y Jongbloed, 2012).

2.3.2 Resultados de la degradabilidad ruminal "In situ" de la MS y FDA de los SIP

La degradabilidad ruminal de la MS y FDA de la muestra de SIP se muestra en la Tabla 2-6 y en la Figura 2-1.

Tabla 2-6 Degradabilidad "*In situ*" de la MS y FDA de una muestra de SIP

Degradabilidad "*In situ*"	**Tiempo de incubación en el rumen (horas)**						
	0	**3**	**6**	**12**	**24**	**36**	**48**
Materia seca (%)	11,3	33,3	37,5	47,0	55,4	61,6	62,1
FDA (%)	25,9	26,0	26,9	34,6	42,7	43,7	45,5

La desaparición de la MS en el tiempo "0" de incubación ruminal fue menor respecto al FDA; sin embargo, la MS presentó un incremento en el porcentaje de degradabilidad ruminal hasta las 36 horas de incubación ruminal, la cuál luego se estabilizó hasta la hora 48. Mientras que, la degradabilidad del FDA, presentó un tiempo o periodo "lag" durante las primeras 6 horas de incubación, luego se incrementó la degradabilidad hasta las 24 horas, para finalmente tener un pequeño incremento hasta la hora 48 de incubación ruminal.

Los valores de desaparición de la MS y FDA de los SIP para tiempo "0" (11,3 y 25,9% respectivamente), son similares a los reportados por Moss *et al*. (1990), para degradabilidad de MS de pulpa de papel con dos tamaños (pulpa tamizada <15mm y sin tamizar <45mm de diámetro) con valores de 12 y 9% respectivamente; sin embargo, los valores de degradabilidad de la MS y FDA para las 48 horas de incubación ruminal encontrados para la muestra de SIP (62,1 y 45,5% respectivamente), son superiores a los presentados por estos autores para los dos tipos de pulpa (32 y 44% para pulpa sin tamizar y tamizada respectivamente) a las 72 horas de incubación ruminal.

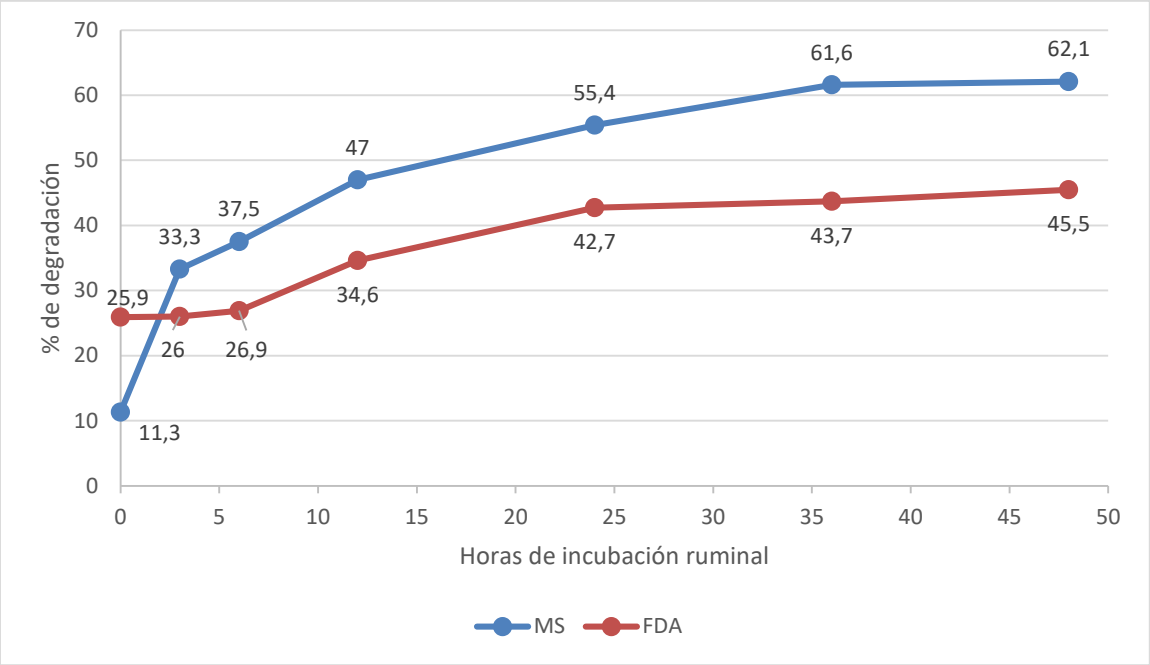


Figura 2-2 Patrón de degradabilidad "*In situ*" de la MS y FDA de una muestra de SIP.

Croy y Rode (1988), evaluaron la digestibilidad "*In sacco"* de 10 muestras de pulpas de papel de diferentes orígenes (molinos), encontrando que la digestión de la MS *In sacco* difería entre molinos en todos los tiempos de incubación (4,12 y 24 horas). Después 4 h de digestión de "*In sacco"* de la MS de las diferentes muestras de pulpa, varió de -5,0 a 56%, los rangos de digestión para 12 y 24 horas de incubación fueron de -1,9 a 59 ,9% y de 14,8 a 76,2% respectivamente. También, reportaron una correlación positiva (r=0,91) entre el contenido de cenizas y la digestión de la materia orgánica (MO) a las 12 horas en residuos de pulpa de papel y una correlación negativa (r=- 0,63) entre el contenido de lignina y la digestibilidad *In sacco* de los residuos de pulpa de papel después de las 24 horas. Estos autores describen, un efecto positivo en la incorporación de ciertos tipos de pulpas de madera en la digestibilidad cuando se mezcla con silos de pastos y leguminosas. Raciones con 48% de residuos de pulpa tenían una máxima digestibilidad, comparada con raciones con niveles más bajos de residuos de pulpa; sin embargo, Lemieux y Wilson (1979), hallaron que cuando se incrementaba los niveles de residuos de pulpa en la alimentación de ovejas la digestibilidad de la MS disminuía.

Cheng *et al.* (1984), mencionan que algunos factores pueden afectar la extensión y la tasa de digestión son: el grado de cristalinidad de la celulosa, concentraciones de minerales y sustancias interferentes como la lignina y taninos que pueden tener un efecto en la capacidad de bacterias para unirse a la celulosa, el cual es requisito previo a su actividad celulolítica (Kudo *et al.,* 1987).

Vitti *et al.* (1999) reportaron que la degradabilidad de la MS en ensayos *In Sacco*, fue altamente correlacionada (negativamente) con los contenidos de FDN (-0,94), cuando evaluaron bagazo de caña y Fall *et al*. (1998) citado por Dohnani *et al*. (2001), mencionan que la concentración de FDA es mejor que el FDN para la predicción de la degradabilidad de la MS de diferentes variedades de residuos de cereales incluyendo el arroz.

Haile *et al.* (2017), evaluaron degradabilidad *In situ* de 7 residuos diferentes de cultivos de cereales, hallando valores de degradabilidad de la MS a tiempo “0” (rango de 14,8 a 24,4%) superiores a los encontrados en la muestra de los SIP. No obstante, a las 48 horas de degradación ruminal los valores encontrados en los residuos de cosecha son inferiores (rango 37,0 a 56,9%) a los encontrados en la muestra de SIP en este mismo tiempo.

Elizondo (1988), reporta para residuos de maíz, valores de degradación ruminal promedio de 39 y 25% para residuos con y sin tratamiento de hidróxido de sodio para el tiempo “0” de incubación ruminal. La degradabilidad de FDA reportada por este autor fue similar para el tiempo “0” e inferior a las 48 horas en los residuos de maíz, al comparase con los SIP del presente estudio.

En cuanto a los resultados de los parámetros de la cinética de la degradabilidad ruminal de la MS y FDA de los SIP, se presentan en la Tabla 2-7.

Tabla 2-7 Parámetros de la cinética ruminal “*In situ*” de la MS y FDA de una muestra de SIP.

	Fracción				
	***a* (%)**	***b* (%)**	***c* (%)**	***kd* (%h^{-1})**	***DE* (5% h^{-1})**
Materia seca	14,0	46,6	39,2	11,8	46,9
FDA	23,8	25,5	50,6	4,3	35,7

a: Fracción soluble; *b*: Fracción potencialmente degradable; *c*: Fracción no degradable; *kd*: Tasa de degradación de la fracción *b* (% / hora), *DE*: Degradabilidad Efectiva

La fracción "*a*" (soluble) de la MS de la muestra de SIP (14,0%), El valor obtenido para la fracción soluble "*a*", puede estar relacionado con una pérdida grande y rápida de partículas muy pequeñas y/o fibrosas, a través de los poros de la bolsa durante las primeras horas de la incubación (Orskov et al., 1980; Nocek, 1988); además, por el alto contenido de cenizas en los SIP, ya que según Gojón *et al.* (1988), la degradabilidad in situ de los minerales en algunos materiales, puede llegar hasta el 81% de desaparición a la hora cero sólo por difusión.

La fracción "*a*" (soluble) de la MS de los SIP, es similar a la reportada por Haile *et al*. (2017), para algunos residuos lignocelulósicos de cosecha de sorgo, maíz y cebada, con valores de 15,5%, 16.0% y 15.1% respectivamente. Tambien, a los encontrados para esta fracción por Chumpawadee *et al.,* (2006), en algunos residuos de cultivos como paja de arroz y cogollo de caña de azúcar (13 y 18% respectivamente).

Otros autores muestran valores superiores en la fracción "*a*" de la MS de algunos residuos de cosecha, cuando se comparan con los hallados en los SIP de este estudio, como los reportados por Krause (2003), al evaluar residuos de alverja y avena, donde reporta valores para la fracción soluble de la MS de 18,7% y 23,1% para alverja y avena respectivamente. Por otra parte, Elizondo (1998), reporta valores para la fracción soluble de la MS de rastrojo de maíz sin tratar de 25,3% y de 37,4% y 33,6%, cuando estos son tratados con Hidróxido de Sodio y úrea respectivamente. Anggraeny y Mariyono (2012), al evaluar paja de arroz y cogollo de caña, reportaron valores de 21,5 y 23,4% respectivamente para la fracción "*a"* de la MS.

La fracción "*b*" o potencialmente degradable de la MS de la muestra de SIP (46,6%), es similar a los reportados por a Krause (2003), para residuos de avena (48%) y a Elizondo (1998), para el rastrojo de maíz tratado con Hidróxido de Sodio (49%); y superiores a los hallados investigadores comor Elizondo (1998) para rastrojos de maíz sin tratamientos para mejorar su calidad (19,3%); Haile *et al.* (2017) para residuos de sorgo (32,2%), residuos de maíz (33,4%) y residuo de cebada (25,2%) y Anggraeny y Mariyono (2012) con valores de 22 y 26% para esta fracción en residuos de paja de arroz y cogollo de caña respectivamente.

Bruno – Soareset *et al*. (2000) informaron que el contenido y composición de la pared celular son las mejores variables que describen la variación de las fracciones "*a* y *b"* de la MS de los alimentos.

La tasa de degradación de la fracción *b* (*kd*) (% h^{-1}) de la muestra de SIP (11,3%), es superior a los reportados por Elizondo (1998) 3,7% h^{-1} para residuos de maíz tratados con NaOH, Haile *et al.* (2017) 3% h^{-1} para residuos de maíz, sorgo y trigo y Krause (2003) para residuos de alverja de 8,2% h^{-1}.

La degradabilidad efectiva (DE) de la MS de la muestra de SIP estimada con una tasa de pasaje de 5% h^{-1} (46,9%), fue superior a los valores encontrados Haile *et al.* (2017) para la DE (5% h^{-1}) de residuos de maíz, sorgo y trigo (29,3% hasta 30,5%) y Chumpawadee *et al.* (2006), con valores de 41,3 y 40,8% para paja de arroz y cogollo de caña respectivamente.

En cuanto a la fracción soluble "*a*" del FDA (23,8%) de la muestra de SIP, es superior a valores reportados por Elizondo (1998) y Krause (2003) para esta fracción, en diferentes residuos de cosecha, quienes muestran valores que oscilan entre 0,4% hasta 12,7%. La fracción potencialmente degradable "*b"* del FDA del SIP (25,5%), es inferior a la reportada por estos mismos autores en residuos de cosecha variando desde 39,3% hasta 63,8%. La tasa de degradación (*kd* %h^{-1}) del FDA para los SIP (4,3%) es similar a los diferentes residuos de cosecha encontrados en los trabajos de Elizondo (1998) y Krause (2003).

La degradabilidad efectiva del FDA de la muestra de SIP es superior a la reportada por Krause (2003) con valores de 21,2 y 29,5% para residuos de alverja y avena respectivamente.

2.3.3 Resultados de la prueba de aceptación (consumo)

El consumo de MS de los tratamientos ofrecidos al grupo experimental 1 (SIP suministrados únicamente con los palatabilizantes glicerol y melaza) fue bajo. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos T2 y T3 (presentando los mayores consumos) respecto al T1 ($p < 0.05$). Este último tratamiento presentó el menor valor de consumo de MS (2,8% de la MS ofrecida) evidenciando una baja palatabilidad de los SIP al ofrecerce tal cual a los animales (Tabla 2-8).

Tabla 2-8 Consumo de MS de los tratamientos utilizando SIP, glicerol y melaza como parte de la ración de novillas Holstein (Grupo experimental 1).

Tratamiento	Oferta de MS (Kg) tratamiento/animal/día	CMS (Kg) tratamiento/animal/día
T1. SIP	1,07	0,030 [b]
T2. SIP + G	1,28	0,53 [a]
T3. SIP + M	1,28	0,42 [a]

SIP = Subproducto de la Industria del Papel; G = Glicerol; M = Melaza
Promedio en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes (p <0,05).

Es preciso señalar, que no hay reportes del uso de los SIP en alimentación animal, sin embargo, se han evaluado el uso (consumo) de algunos otros materiales lignocelulósicos relacionados con el papel. Croy y Rode (1988), analizaron diferentes muestras de fibra de pulpa de papel, estos autores concluyeron que los residuos de pulpa de papel, pueden sustituir hasta el 36% de una dieta a base de forraje, sin reducir el consumo y la digestibilidad de la materia seca, si se incluye un suplemento proteico adecuado en la ración. Estos investigadores encontraron un rechazo inicial de los animales por los residuos de pulpa de papel, pero después de aproximadamente 2 semanas fueron consumidos con facilidad.

Combe y Briggs (1974), incorporaron residuos de papel en la dieta de ovinos (59 y 65% de la ración), encontrando el consumo máximo de la ración en la tercera semana cuando el papel fue el 49% de la dieta, no encontraron cambio en el consumo de los residuos de papel al reducir la melaza en la dieta, pero sí disminuyó cuando no se ofreció el heno. En un segundo experimento, estos autores incorporaron 84% de residuos de papel periódico en dietas de ovinos, y una dieta base de heno y pellet de alfalfa. Los animales que recibieron este nivel de papel en la ración la rechazaron completamente. Cuando se alimentó con alfalfa, el consumo (g/animal/día) y las ganancias de peso vivo (g/animal/día) fueron 1522 y 144 respectivamente; mientras que, en las ovejas alimentadas con pellets de papel de alta calidad (impresión) el consumo y las ganancias de peso fueron alrededor de 950 y 60 g/animal/día, respectivamente. Por otra parte, las ovejas alimentadas con pellets que contenían papel periódico tuvieron el menor consumo y ganancia de peso (450 y -27 g/animal/día respectivamente).

Estos autores mencionan que, en estos experimentos, el consumo de fibra proveniente del heno tuvo un efecto benéfico sobre el consumo y ganancia de peso en dietas con alto

contenido de papel, así a pesar de que el papel pueda tener similitudes químicas con el forraje, no permite que el rumen funcione de la misma manera que lo hace con un forraje.

Moss *et al*., (1990), emplearon dos tipos de pulpa de papel en la alimentación de novillos, donde inicialmente se les ofreció 4 kg de MS de pulpa de papel mezclada con 4 kg de MS de heno de alfalfa, se alimentaron por 5 semanas y luego la pulpa de papel fue aumentado a 6 kg MS / día. Al tratar de incrementar en más de 6 kg de MS de pulpa de papel hubo un rechazo de la ración. Cabe resaltar que los materiales usados en estos estudios, son diferentes a los SIP evaluados en el presente trabajo.

Para los animales del grupo experimental 2 de la prueba de aceptación (consumo) del presente estudio, a los cuales se les suministró los SIP con los palatabilizantes (glicerol y melaza) y mezclados con suplemento comercial, el consumo de MS del tratamiento fue alto. Se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento T6 y los tratamientos T4 y T5 ($p < 0,05$); siendo el T6 el de mayor consumo de MS por los animales (89% de la MS ofrecida en el tratamiento), mientras que para los tratamientos T4 y T5 los consumos fueron el 75 y 73% de la MS del tratamiento ofrecido (Tabla 2-9).

Tabla 2-9 Consumo de MS de los tratamientos utilizando SIP, suplemento comercial, glicerol y melaza como parte de la ración de novillas Holstein (Grupo experimental 2).

Tratamiento	Oferta de MS (Kg) tratamiento/animal/día	CMS (Kg) tratamiento/animal/día
T4. SIP + SC	1,96	1,48 [b]
T5. SIP + SC + G	2,17	1,60 [b]
T6. SIP + SC + M	2,19	1,96 [a]

SIP = Subproducto de la Industria del Papel; SC = Suplemento comercial; G = Glicerol; M = Melaza.
Promedio en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Millet *et al.,* (1971), evaluaron el potencial de cuatros residuos fibrosos generados durante el proceso de despulpado y fabricación de papel para alimentación de rumiantes, este grupo de trabajo, mantuvo adecuadamente durante 2,5 meses, 30 ovejas alimentadas con una ración que contenía 77% finos de células parenquimales, encontrando una buena aceptabilidad por este material. Mientras que, en ensayos realizados en 10 novillos alimentados *ad libitum* durante 58 días, utilizando raciones de pulpa sin blanquear de kraft de pino con inclusiones de 0 y 50%, encontraron un consumo diario de alimento de 2,84 y 2,48% del peso vivo para las raciones de pulpa de 0 y 50%, respectivamente.

Mertens *et al*., (1971), evaluaron el consumo de tres niveles de inclusión de papel en la dieta de novillos (0,10 y 20% de la ración), encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) y una respuesta inversa entre los tratamientos; los consumos encontrados fueron de 21,5, 17,0, y 12,5 kg/animal/día para el control, papel 10%, y el papel 20% respectivamente. También encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el tratamiento con 20% de inclusión de papel, frente a los tratamientos de 10% de papel y el control para la producción de leche, (20,2, 19,7 y 18,1 kg de leche/animal/día para los tratamientos control, 10% papel y 20% de papel respectivamente), esta disminución se debe a la disminución en el consumo por los animales.

Dinius y Bond (1975), incluyeron 50 % de residuos de pulpa de papel en la alimentación de bovinos, con ganancias de peso más rápidamente en las novillas con los residuos de pulpa de papel que con la dieta control de heno de alfalfa (0.74 vs 0.47 kg/día respectivamente). También, alimentaron vaquillas de carne con una dieta de 75% de residuos pulpa de papel, el tiempo de evaluación incluyó el parto. No hubo diferencias ($p < 0,05$) en aumento de peso, peso al nacer o partos problemas entre estas vaquillas y nueve vaquillas preñadas alimentadas con la dieta de control del heno. En los dos estudios el ganado consumió los residuos de pulpa de papel fácilmente y no se evidenciaron problemas digestivos o metabólicos con la inclusión de residuos de pulpa de papel en la dieta de los animales.

Bilawchuk (1989), utilizó ensilaje de residuos de pulpa de papel y cebada, mezclado con heno para alimentar terneras Holstein, incrementado el nivel de ensilaje en la ración de 30 a 60%. No encontró problemas en el consumo de este tipo de ensilaje por los animales, reportando consumos de 2,73 y 3,99 kg MS/animal/día para el 30 y 60% de inclusión del ensilaje de residuos de pulpa de papel en la ración de los animales, respectivamente.

2.4 Conclusiones

El tratamiento de amonificación con úrea (al 4% de la MS) no mejoró de manera considerable la calidad de los SIP en especial la digestibilidad.

Los SIP provenientes de los lodos de destintado de diferentes lotes de producción de papel, presentan una composición nutricional homogénea, donde se evidencia bajos

niveles promedio de PC (1,5%) niveles medios de *DIVMS* (68%), niveles altos de fibras (FDN 59,6% y FDA 48,3%) y cenizas (53,3%) y bajos niveles de lignina (4,9%).

El contenido mineral de los SIP evaluado en el presente estudio, presenta altos niveles de Ca, Zn, Cu y Fe, niveles medios de Mg y Na y bajos niveles P, K y Mn al compararlos con el contenido mineral de forrajes como el Kikuyo y Raigrás.

Las mayores variaciones en la composición nutricional evaluada en las muestras de subproductos de papel, se encontraron en su contenido de lignina, FDA, lignina, Zn y Cu.

Se debe prestar atención a los contenidos de Cobre (63 ppm promedio) en los subproductos de papel, como posible factor limitante en la inclusión de este material en las dietas de rumiantes, especialmente en ovinos, los cuales son muy susceptibles a altos niveles de este mineral en la dieta.

Se encontró que la degradación *In situ* tanto de la MS y FDA de los SIP, es rápida durante las primeras 24 horas, luego hay incremento decreciente hasta las 48 horas. Se encontró también, que la fracción *a* y *b* de la MS (14,0 y 46,6% respectivamente) es similar a la reportada para algunos residuos de cosecha, mientras que la fracción *a* de FDA es muy superior si se compara con la reportada para algunos residuos de cosecha.

La tasa de degradación de la MS (*kd* % h^{-1}) 11,8 y la degradabilidad efectiva (DE 5% h^{-1}) 46,9% hallados en la muestra de SIP son altas.

En la prueba de aceptación (consumo) por los animales, se pudo evidenciar la baja palatabilidad de los SIP cuando es suministrado tal cual, ya que presentó un bajo consumo (0,030 Kg de MS/animal/día, que corresponde al 2,8% de la MS ofrecida). Sin embargo, el consumo se incrementó con la adición de glicerol y melaza como palatabilizantes (0,53 y 0,42 Kg de MS/animal/día, que corresponden a un consumo del 41 y 33% de la MS ofrecida, respectivamente) (grupo experimental 1).

El consumo de MS de los tratamientos ofrecidos en el grupo experimental 2, fue alto. Los mayores consumos de los SIP, se encontraron al suministrarse mezclado con el suplemento comercial y melaza (1,96 Kg de MS/animal/día, que corresponde al 89% de la MS del tratamiento ofrecido).

2.5 Referencias bibliográficas

ARC 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Búreaux. Slough, England.

ANGGRAENY, Y. and MARIYONO. 2012*. In Sacco* characteristic degradation of food plant straws*.* International Conference on Livestock Production and Veterinary Technology. 134-138.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 2006a. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18 ed. Chapter 33: Dairy Products. USA: BRADELY RL. 87 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 2006b. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18 ed. Chapter 4: Animal Feed. USA: WENDT THIEX NJ. 72 p.

BAJPAI, P. 2015. Management of Pulp and Paper Mill Waste. Springer International Publishing Switzerland. 191 p.

BAUMONT, R. 1996. Palatability and feeding behavior in ruminants. A review. Ann Zootech 45: 385 – 400.

BAUMONT, R., PRACHE, S., MEURET, M., MORAND-FEHR, P. 2000. How forage characteristics influence behavior and intake in small ruminants: a review. Livestock Production Science 64:15–28.

BHARGAVA, P. AND ØRSKOV, E. 1987. Manual for the Use of Nylon Bag Technique in the Evaluation of Feedstuffs. Rowett Research Institute, Aberdeen.

BERNAL, J. 2003. Pastos y forrajes tropicales. Manejo y producción. Cuarta edición. Bogotá, Colombia. pp 553-556.

BILAWCHUK, M. 1989. Evaluating Kraft pulp mill fiber wastes as feedstuffs for beef cattle. A Thesis submitted in a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. The Faculty of Graduate Studies Department of Animal Science. The University of British Columbia. Canadá.

BRUNO-SOARESA, A., ABREUA, J., GUEDESB, C., AND DIAS-DA-SILVA, A. 2000. Chemical composition, DM and NDF degradation kinetics in rumen of seven legume straws. Animal Feed Science and Technology. 83: 75-80.

CAVKA A, GUO X., TANG, S. WINESTRAND, S., JONSON, L AND HONG, F. 2013. Production of bacterial cellulose and enzyme from waste fiber sludge. Biotechnol Biofuels 6 (25):1-10

CEPI (CONFEDERATION OF EUROPEAN PAPER INDUSTRIES). 2011. Maximum value from paper for recycling, towards a multi-product paper mill. (Fecha de consulta 16 de noviembre de 2016) Recuperado de: www.paperforrecycling.eu/uploads/Modules/.../REC-054-10final.pdf.

CHUMPAWADEE, S., SOMMART, K., VONGPRALUB, T. AND PATTARAJINDA, V. 2006. In Sacco degradation characteristics of crop residues and selected roughages in brahmanthai native crossbred steers. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40: 204–214.

CHURCH, D. 1988. El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia, S.A Zaragoza (España).638 p.

COOMBE, J AND BRIGGS, A. 1974 Use of waste paper as a feedstuff for ruminants. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 4: 292 - 301.

CORREA, J. 2004. RUMENAL: Procedimiento para estimar los parámetros de cinética ruminal mediante la función Solver de Microsoft Excel®. Rev Col Cienc Pec.17(3): 250-255.

CHENG, K.-J., STEWART, C. S., DINSDALE, D. AND COSTERTON, J. W. 1984. Electron microscopy of bacteria involved in the digestion of plant cell walls. Anim. Feed Sci. Technol. 10: 93-120.

CROY, D. AND RODE, L. 1988. Nutritive value of pulp mill fiber waste for ruminants. Can. J. Anim. Sci. 68: 461-470.

CUESTA, A. Y CONDE, A. 2002. Fuentes nitrogenadas para el mejoramiento de materiales toscos y sus efectos en la alimentación de rumiantes. Estudio de caso: Palma africana. Seminario taller internacional: Manejo de la proteína en la producción de ganado bovino, septiembre 23 al 30 del 2002. Colombia. p.26.

DINIUS, D. AND BOND, J. 1975. Digestibility, ruminal parameters and growth by cattle fed a waste wood pulp. Journal of Animal Science. 41 (2): 629-634

DOHNANI, A., NOZIERE, P., CLÉMENT, G, DOREAU, M. 2001. *In Sacco* degradability, chemical and morphological composition of 15 varieties of European rice straw. Anim. Feed. Sci. Technol. 94: 15- 27.

ELIZONDO, E.I. 1998. Evaluación de tratamientos alcalinos sobre la calidad nutricional de subproductos lignocelulósicos. Tesis de Doctorado. Universidad de Colima, México.

ESCOBAR, A. Y PARRA, R. 1980. Procesamiento y tratamiento físico-químico de los residuos de cosecha con miras al mejoramiento de su valor nutritivo. En: Ruiz, M. y Ruiz, A. Estrategias para el Uso de Residuos de Cosecha en la Alimentación Animal. Memorias de una reunión de trabajo efectuada en el Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 19-21 marzo 1980.158 p.

FAHEY, G., BOURQUIN, L., TITGEMEYER, E., AND ATWELL, D. 1993. Postharvest treatment of fibrous feedstuffs to improve their nutritive value. In Forage Cell Wall Structure and Digestibility. H.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hatfield, and J. Ralph, ed. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. P. 715-766.

FORBES, J. 2000. Physiological and metabolic aspects of feed intake control. In: Mello J. (ed). Farm animal metabolism and nutrition. Cabi Publishing.

FORBES, J. 2002. The multifactorial nature of food intake control. J. Anim. Sci. 81: 139-144.

GIRALDO, L., GUTIÉRREZ, L, RÚA, C. 2007. Comparación de dos técnicas in vitro e *In situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. Rev. Col Cienc Pec; 20: 269-279.

GOJÓN, B., SIQUEIROS, D., HERNÁNDEZ, H. 1988. *In situ* ruminal digestibility and degradability of *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum spp*. in bovine livestock. Cien. Mar. 24: 463-481.

GÓMEZ, J., CORREA, G., Y BARAHONA R. 2014. Evaluación del Residuo del Cultivo de *Agaricus bisporus* como Alimento de Vacas Lecheras en Lactancia Media. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 67(2): 7331-7343.

GONZÁLEZ J, JIMÉNEZ C, MÉNDEZ J, ORTIZ L, RUIZ A, VARGAS A. 1997. Levantamiento edafológico del centro Agropecuario Marengo, Bogotá, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia., p. 1-64.

GOSELINK, R. AND JONGBLOED, A. 2012. Zinc and copper in dairy cattle feeding. Wageningen UR Livestock Research Partner in livestock innovations. Report 519. p. 31.

GREENHALGH, J.F.D., REID, G.W., 1971. Relative palatability to sheep of straw, hay and dried grass. Br. J. Nutr. 26:107–116.

HAILE, E., GICHEHA, M., NJONGE, F.K. AND ASGEDOM, G. 2017. Determining Nutritive Value of Cereal Crop Residues and Lentil (*Lens esculenta*) Straw for Ruminants. Open Journal of Animal Sciences. 7: 19-29.

HIMANISH D.AND SUDHIR K. 2004. Useful Byproducts from Cellulosic Wastes of Agriculture and Food Industry. A Critical Appraisal, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44(2): 77-89.

JOY, M., ALIBÉS, X. AND MUÑOZ. F., 1992. Chemical treatment of lignocellulosic residues with úrea. Anim. Feed Sci. Technol. 38: 319-333.

KRAUSE, A. 2003. Effects of utilizing crop residues in winter feeding systems on beef cow performance, reproductive efficiency and economics. Thesis for the degree of Master of

Science in the Department of Animal and Poultry Science. University of Saskatchewan. Saskatoon, Canada.

KUDO, H., CHENG, K. AND COSTERTON, J. 1987. Electron microscopic study of the methylcellulose-mediated detachment of cellulolytic rumen bacteria from cellulose fibers. Can. J. Microbiol. 33: 267-212.

LEMIEUX, P. AND WILSON, L. 1979. Nutritive evaluation of a waste Wood pulp in diets for finishing lambs. J. Anim. Sci. 49 (2): 342-353

LIKON M, CERNEC F, SVEGL F, SAARELA J, ZIMMIE TF. 2011. Paper mill industrial waste as a sustainable source for high efficiency absorbent production. Waste Manag 6(31):1350–1356.

LÓPEZ, S. 2005. In vitro and *In situ* techniques for estimating digestibility. In Dijkstra. J. Forbes J., France, J. editor's quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism 2nd ed. London: CABI publishing; p 87-121.

MACEDO, R. J. 2000. Análisis del sistema de alimentación pecuario rastrojo de maíz alimenticio pecuario (*Zea mays* L.) – pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* P.) en la zona norte del estado de Colima. [en línea]. Universidad de Colima: tesis doctoral http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Rafael%20Julio%20Macedo%20/gan%20.pdf>.

MARTINEZ, R., MARTINEZ, N. Y MARTINEZ, M. 2011. Diseño de experimentos en ciencias agropecuarias y biológicas con SAS, SPSS, R y Statistix. Tomo I. Primera edición. Fondo Nacional Universitario. Bogotá, Colombia. 399 p.

MÉNDEZ A, HIDALGO JM, GUERRERO F, GASCÓ G. 2009. Characterization and pyrolysis behavior of different paper. J Anal Appl Pyrolysis. 86:66–73.

MERTENS, D., CAMPBELL, J. AND MARTZ, A. 1971. Lactational and Ruminal Response of Dairy Cows to Ten and Twenty Percent Dietary Newspaper. Journal of dairy science. 54 (5):667-672.

MILLETT, A., BAKER, J., SATTER, D., MCGOVERN, N., AND DINIUS, A. 1973. Pulp and papermaking residues as feedstuffs for ruminants. Journal of Animal Science. 37(2): 599 - 607.

MINSON, D.J.1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press. California. P. 9-148.

MONTE, M., FUENTE, E. BLANCO, A. AND NEGRO, C. (2009) Waste management from pulp and paper production in the European Union. Waste Manag. 29 (1): 293–308.

MOSS, J. EHRLICH, E., BUCHANAN, K., MARTIN, P. 1990. Evaluation of recycled paper pulp residue as a feed of cattle. Proc. Aust, Soc. Anim. Prod.18: 316-319.

MUÑOZ, F., ANDUEZA, J. Y ALIBES, X. 1998. Chemical treatment of maize stover with úrea. Unidad de Tecnología en Producción Animal. Servicio de Investigación Agroalimentaria (SIA), Diputación General de Aragón (DGA). Zaragoza, España. p. 33-38.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition. National Academy Press. Washington D.C.

NOCEK J. 1988. *In situ* and other methods to estimate Ruminal Protein and Energy Digestibility: a review. J Dairy Sci. 71(8): 2051-69.

ØRSKOV, E. 2000. The *In situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: GIVEN, D.I.; OWENS, E.; AXFORD, R.F.E. et al. (Eds.). Forage evaluation in ruminant nutrition. Wallingford: CAB International, p.175-188.

ORSKOV, E., DEB HOVELL, F., MOULD, F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Trop. Anim. Prod. 5 (3): 195–213.

ØRSKOV, E. and McDONALD, I. 1979. The estimation of protein degradation in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. 92: 499 –503

PRESTON T. R. and LENG, R. A. 1989. Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. CONDRIT, Cali. p. 312.

PROVENZA, F. 1995. Origins of Food Preference in Herbivores. National Wildlife Research Center Repellents Conference 1995. 29. (Fecha de consulta 10 de abril de 2017) Recuperado de: http://digitalcommons.unl.edu/nwrcrepellants/29.

SÁNCHEZ, E., ORTEGA, M., MENDOZA, G., MONTAÑEZ, O., BUNTINX, E. 2012. Rastrojo de maíz tratado con úrea y metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento. Interciencia. 37(5): 395-399.

SAS. 1998. SAS User's Guide: Statistics (Version 8); Cary NC: The Institute.

SCOTT, G AND ABUBAKR, S. 1995. Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry. In: Proceedings of the 1995 international environmental conference; 1995 May 7-10; Atlanta, GA. Atlanta, GA: Tappi press: 269-279.

TILLEY JM, AND TERRY RA. 1963. A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. J. Br. Grassl. Soc. 18: 104-111.

VAN SOEST, P. AND JONES, L. 1968. Effect of silica in forages upon digestibility. J. Dairy Sci. 5l: 1644-1648.

VAN SOEST, P. J. 1994 Nutritional Ecology of the Ruminant, 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.

VILLAS-BÔAS, S.G., E. ESPOSITO AND MITCHELL, D. A. 2002. Microbial conversion of lignocellulosic residues for production of animal feeds. Animal Feed Science and Technology 98(1-2):1-12.

VITTI, D., ABDALLA, A., SILVA FILHO, J., DEL MASTRO, N., MAURICIO, R. OWEN, E. AND MOULD, F.1999. Misleading relationships between *In situ* rumen dry mater disappearance, chemical analyzed and *in vitro* gas production and digestibility, of sugarcane baggage treated with varying levels of electron irradiation and ammonia. Anim. Feed. Sci. Technol. 79: 145-153.

YALCHI, T. 2010. Effects of úrea and aqueous ammonia treatment on the nutritive value of triticale Straw. Journal of Food, Agriculture & Environment. 8 (1): 69 - 7 2

3. Efecto de la inclusión de los subproductos de la industria del papel (SIP) como parte de la ración en la producción y composición de la leche, cambio de peso vivo y condición corporal en vacas lecheras

Resumen

Se determinó durante 84 días, la respuesta de vacas lecheras a la inclusión de subproductos generados en la industria de papel (SIP) en la ración, evaluando la producción y composición de la leche, cambio de peso vivo, condición corporal y consumo de MS de los animales (mediante el uso de óxido de cromo). Los tratamientos evaluados fueron **T1:** Dieta control a base de Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y suplemento comercial, y **T2:** Dieta control y la inclusión de 10% de subproductos de la industria del papel (SIP) (1,6 Kg de MS) y 20% de melaza (0,32 Kg de MS) (este tratamiento fue el que tuvo el mayor consumo por los animales en el experimento 1. capítulo 2). Se utilizaron 8 vacas adultas Holstein (567 +/- 71,5 kg de peso vivo, 100 +/- 23 días en lactancia y una producción de leche de 23,8 +/- 4,2 l/d). El diseño experimental fue un *cross-over* simple (para las variables: consumo de forraje, consumo total de MS, MS total digestible, peso vivo y condición corporal) y *cross-over* con medidas repetidas en el tiempo (para las variables: producción de leche, leche corregida por energía (LCE) y calidad de leche: proteína, grasa y sólidos totales). Cada periodo experimental duró 42 días (14 días de adaptación y 28 días de toma de muestras). Para la producción de leche y calidad de la leche se registraron y tomaron muestras el día 0 y los días 14, 28 y 42 de cada periodo y para peso vivo y condición corporal el día 0 y los días 42 de cada periodo. Los SIP se suministraron en dos raciones al día: 7 am y 1:30 pm. En la mañana los 0,8 Kg de MS de SIP + 0,16 kg (MS) de melaza se mezclaron con 0,89 kg de MS de suplemento de ordeño

y en la tarde los 0,8 kg de SIP + 0,16 kg (MS) de melaza se mezclaron con 2,67 kg (MS) del suplemento de la tarde (patio). El consumo total de MS, consumo de MS del forraje y el consumo de MS digestible, no fueron diferentes entre los tratamientos (p >0,05). La producción de leche y LCE no presentaron diferencias significativas (p >0,05) por efecto del tratamiento, (sin embargo, se presentó un efecto residual del tratamiento sobre estas variables en el segundo periodo). Respecto a la calidad de la leche, el porcentaje de grasa, proteína y sólidos totales de la leche, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (p >0,05). La condición corporal de los animales no presentó diferencias significativas (p >0,05) por efecto de los tratamientos, mientras que el peso corporal de los animales presentó diferencias significativas (p <0,05) por efecto de los tratamientos, ya que en los dos periodos los animales del grupo SIP tuvieron pérdida de peso (-6 y -4 kg promedio para el periodo 1 y 2 respectivamente). Los animales del grupo control perdieron peso durante el primer periodo, mientras que en el segundo periodo tuvieron ganancias de peso (-5 y 9 kg para el 1 y 2 periodo respectivamente). La inclusión de 10% de SIP en la ración de vacas lecheras, no tuvo efectos en la producción y calidad de leche, condición corporal, pero sí en el peso vivo de los animales.

Palabras claves: Subproducto de la industria del papel (SIP), producción y calidad de leche, peso y condición corporal.

Abstract

For 84 days, we determine the response of dairy cows to the inclusion of co-products generated of the of paper industry (BPI) in their ration, assessing the production and composition of milk, change of live weight, body condition and intake of the animals' DM (by using chrome oxide). The treatments evaluated were **T1:** Control diet based on Kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) and commercial supplement, and **T2:** Control diet and the inclusion of 10% of byproducts generated of the paper industry (BPI) (1.6 Kg DM) and 20% of molasses (0.32 kg DM) (this treatment was the one that had the highest intake by the animals in experiment 1. Chapter 2). 8 adult holstein dairy cows were used (567 +/- 71.5 kg live weight, 100 +/- 23 days lactating and a milk production of 23.8 +/-4.2 l/d). The experiment design was a simple *cross over.* (for forage intake, total intake of DM, total digestible DM, live weight and body condition) and *cross-over* with repeated measures in time (for milk production, energy corrected milk (ECM) and quality of milk (proteins, fats and total of solids). Every experimental period lasted 42 days (14 days of adaptation, and

28 days of taking samples) For the production of milk and the quality of milk, we took and registered samples on days 0, 14, 28, and 42 of every period, and for live weight and body condition, we took and registered those samples on days 0 and 42 of every term. The BPI was fed in two daily rations: at 7 am and 1:30 pm. In the morning, 0.8 Kg (DM) of BPI + 0.16 kg (DM) of molasses were mixed with 0.89 kg DM of milking supplement. In the afternoon, 0.8 Kg (DM) of BPI + 0.16 kg (DM) of molasses were mixed with 2.6 kg (DM) of the afternoon supplement (yard). The total intake of DM, the intake of the digestible DM and intake of DM forage, were not different in the treatments (p >0,05). Milk production and energy corrected milk (ECM) didn't show any significant differences (p >0,05) due to the treatment (however, there was a residual effect of the treatment on these variables during the second period). Concerning the quality of the milk, its percentage of fat, proteins, and total solids; there were not any meaningful differences among the treatments (p >0,05). The body condition of the animals did not present any significant differences (p >0,05) due to the treatments. Whereas the body weight of the animals showed significant differences (p <0,05) as a result of the treatments. Since in both periods, the animals of the BPI group experimented weight loss (-6 and -4 kg for periods 1 and 2 respectively). The animals of the control group lost weight during the first period, while in the second period, they had weight gain (-5 and 9 Kg for periods 1 and 2 respectively). The inclusion of 10% of BPI in the rations of milking cows, had no effects on the production and quality of milk, nor on their body condition, but it did have an effect on the live weight gain of the animals.

Key words: Byproduct of the paper industry (BPI), production and quality of milk, weight and body condition.

3.1 Introducción

La Provincia de Ubaté hace parte de la cuenca lechera de Cundinamarca, para el año 2017 para esta provincia se reporta una producción de leche de 831.318 litros/día, que corresponde al 19% de la producción del departamento y en donde también se ha estimado un área 76.612 hectáreas destinadas a pastos (Secretaría de Agricultura de Cundinamarca, 2018).

Debido a las condiciónes climáticas que se presentan en esta provincia (precipitación y evaporación) (CAR, 2006), se puede tener un balance hídrico negativo durante 7 a 8 meses del año, el cual se acentúa por anormalidades climáticas como el fenómeno de "El Niño".

De acuerdo a Teuber y Balocchi (2003), la productividad y calidad del forraje varía significativamente a lo largo del año, dependiendo del tipo de pradera y de las diferentes condiciones agroclimáticas, lo que lleva a encontrar épocas a través del año con excedentes en la producción de forrajes y otras épocas con déficit en la disponibilidad de forraje.

El consumo de MS se constituye en el primer punto determinante en la ingestión de nutrientes necesarios para atender los requerimientos de mantenimiento y producción del animal (Varjão, 2015). La productividad de un animal, depende en más de un 70% de la cantidad de alimento que pueda consumir y en menor proporción de la eficiencia con que digiera y metabolice los nutrientes consumidos (Chilibroste, 1998). La falta de control sobre la disponibilidad de alimento resulta en escenarios donde el consumo es restringido y, por ende, genera inestabilidad en la productividad de los hatos (Mendoza, 2011).

El uso de los subproductos de la industria del papel (SIP) en la alimentación de rumiantes, además de dar una salida a un producto de desecho que contamina, se puede convertir en un substituto parcial de fibra y minerales en las raciones para rumiantes dada su composición (50% de materia orgánica y 50% por minerales; Monte *et al*. 2009; CEPI, 2011). Adicionalmente, estos materiales se han sometido a diferentes procesos en la fabricación de la pasta del papel que elimina la lignina y vuelve a la celulosa más disponible. La fibra cruda contenida en el papel y pulpa de madera varía de 60 a 85% pudiéndose clasificar como forrajes (Mertens *et al.,* 1971).

Cerca a la provincia de Ubaté se encuentra una empresa productora de papel que genera mas de100 t/día de residuos celulósicos (SIP), los cuales se exploran en este estudio como alternativa de suministro de materia seca (y minerales) para ser usados en la alimentación de los rumiantes (bovinos), dada la baja producción de biomasa forrajera que exhibe los sistemas de producción lecheros en la provincia de Ubaté durante gran parte del año.

El objetivo de este experimento fue determinar la respuesta de las vacas lecheras a la inclusión de subproductos generados en la industria del papel (SIP) en la ración, en cuanto a la producción y composición de la leche, cambio de peso vivo y condición corporal.

3.2 Materiales y métodos

Todos los procedimientos fueron avalados por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (Acta 06 del año 2016).

3.2.1 Localización

Este experimento se realizó en la unidad de Bovinos en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional (sede Bogotá, Colombia), localizado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca) a 4º 42’ de latitud Norte y 74º 12" de longitud oeste, con una altitud de 2650 msnm y una temperatura media anual de 13°C, humedad relativa de 80 a 85%. La precipitación promedio anual es de 900 mm con una distribución del régimen de lluvias bimodal (entre los meses de abril a mayo y el otro de septiembre a noviembre) (González *et al*., 1997). El experimento se desarrolló entre los meses de octubre del año 2017 y enero del año 2018.

3.2.2 Tratamiento experimental

Los tratamientos fueron **T1:** Dieta control a base de Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y suplemento comercial, y **T2:** Dieta control y la inclusión de 10% de subproductos de la industria del papel (SIP) (1,6 kg de MS/animal/día) y 20% de melaza (respecto a los SIP ofrecidos equivalente a 0,320 kg de MS) (este tratamiento fue escogido por su mayor consumo en el experimento 1). La inclusión de los SIP se hizo sobre el consumo potencial de MS de los animales (aprox.16 kg/MS/animal/día).

De acuerdo al nivel de producción y manejo de la finca a las vacas se les ofrecía 4,45 kg de MS de suplemento en el ordeño (ordeño de la mañana 2,67 kg de MS y ordeño de la tarde 1,78 kg de MS), adicionalmente 2,67 Kg de MS de un suplemento comercial de baja calidad, antes del ordeño de la tarde (suplemento de la tarde). Los SIP se suministraron a los animales mezclados con la melaza y el suplemento comercial en dos raciones al día (7 am y 1:30 pm). En la mañana: 0,8 Kg de MS de los SIP + 0,16 kg de MS de melaza + 0,89 Kg de MS del suplemento asignado al ordeño de la mañana; en la tarde: 0,8 Kg de MS de los SIP + 0,16 kg de MS de melaza + 2,67 Kg de MS del suplemento de la tarde. Esta forma de suministrar los SIP a los animales en dos raciones, se hizo con el fín de controlar

principalmente el consumo del suplemento comercial de la tarde, ya que este era suministrado a todo el lote de animales de ordeño en comederos colectivos.

Las mezclas de SIP, melaza y suplementos comerciales se suministraron en comederos plásticos individuales, además se suministraba 10 g de óxido de cromo y 120 g/animal/día de sal mineralizada (composición aproximada de la sal mineralizada Ca 15%, P 8%, S 4%, Zn 0.7%, Mg 0,5%, Cu 0,15%, Co 0,005%, I 0,02%, Se 0,0022%).

3.2.3 Manejo de praderas

La pradera principal fue Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) con 45 días de rebrote, manejadas en pastoreo en franjas con cerca eléctrica, la cual se cambiaba dos veces por día (a.m. y p.m.). La oferta forrajera aproximada fue de 3,3 kg de MS/100 kg de peso vivo para el periodo 1 y aproximadamente de 5kg de MS/100 kg de peso vivo durante el periodo 2. Algunos potreros se encontraban mezclados con otras especies como Raigrás (*Lollium perenne*). También se suministró avena (*Avena sativa*) en pastoreo durante algunos días del experimento.

3.2.4 Animales y manejo

Se utilizaron 8 vacas adultas Holstein (567 +/- 71,5 kg de peso vivo, 100 +/- 23 días en lactancia y una producción de leche de 23,8 +/- 4,2 kg/d) las cuales fueron asignadas al azar en dos grupos.

3.2.5 Período experimental

El estudio tuvo una duración total de 84 días, conformado por 2 periodos experimentales de 42 días cada uno, constituyendo los primeros 14 dias de cada periodo la fase de acostumbramiento a los tratamientos y los 28 días restantes la fase de evaluación. Los tratamientos se alternaron en los dos grupos de animales configurando un diseño de sobrecambio (c*ross-over*) (Kaps y Lamberson, 2004).

3.2.6 Mediciones y toma de muestras de laboratorio

- **Leche:** Se registró la producción de leche y se tomó una muestra el día 0 (sin influencia de los tratamientos) y luego para cada periodo experimental se registró la producción de leche en cada ordeño (a.m. y p.m.) los días 14, 28 y 42, se

recolectaron muestras individuales de leche en estos mismos días (volumen aproximado de 100 ml), las cuales posteriormente fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta por vaca en cada día de muestreo (100 ml cada una) a las cuales se les adicionó bronopol (2-bromo-2-nitropropano-1,3-diol) y se conservó a ±4 ^{o}C para su análisis de calidad.

- **Forraje, Suplementos y Mezclas con SIP:** Para cada periodo, los días 14, 16 y 18 se recolectó una muestra de forraje previa al pastoreo (1000 g aproximadamente), y los días 15, 17 y 19 se recolectó una muestra del residual de forraje pastoreado (500 g aproximadamente). Tanto las muestras de oferta como residual de forraje, fueron mezcladas cada una para obtener una muestra para cada periodo. Posteriormente fueron secadas a 60°C durante 48 horas y se molieron en un molino Romer® con una criba de 2mm. Se tomó una muestra de cada uno de los suplementos (1000 g aproximadamente) el día 14 de cada periodo y de las mezclas de los suplementos con los SIP los días 14, 16 y 18 y se procesaron de la misma forma que el forraje.

- **Heces:** Se recolectaron dos muestras diarias de heces por estimulación anal por cada animal (a.m. y p.m. de 150 g aproximadamente cada una), los días 16, 18 y 20. Posteriormente fueron refrigeradas para su conservación y luego fueron secadas a 60°C durante 48 horas y molidas en un molino Romer® con una criba de 2 mm y mezcladas para obtener una muestra de heces por animal para cada periodo.

- **Condición Corporal:** La condición corporal fue evaluada el día 0 y el día 42 de cada periodo de acuerdo a los parámetros descritos por Ferguson *et al.* (1994).

- **Peso Vivo:** El peso vivo se tomó el día 0 y el día 42 de cada periodo, usando una báscula electrónica.

- **Determinación de leche corregida por energía (LCE):** Se determinó mediante la ecuación propuesta por Hutjens (2010), descrita a continuación:

  LCE (kg/d) = (12,82 x producción de grasa (kg/d)) + (7,13 x producción de proteína (kg/d)) + (0,323 x producción de leche (kg/día)

- **Determinación del consumo de forraje:** El consumo de materia seca del forraje, se determinó mediante el uso de óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo para estimar la producción de heces (Lippke, 2002) y la fibra detergente ácido indigerible (*FDAi*) como indicador interno para estimar la digestibilidad de la materia seca (Sunvold y Cochran,1991). La producción de heces (g/d) se determinó usando la siguiente ecuación descrita por Correa (2011):

  H (g) = (g de Cr en el alimento) x (tasa de recuperación del Cr en las heces) / (% de Cr en las heces)

  La tasa de recuperación del cromo en las heces utilizada fue 80% (Correa, 2011).

  El consumo de materia seca del forraje (CMSf) se determinó por la ecuación descrita por Correa, (2011):

  CMSf kg/vaca/día = ((*FDAih*) x *H*/0,8 – (*FDAi*s) x *CMSs*) / (*FDAif)*

  Dónde: *FDAih* es el porcentaje de *FDAi* en las heces*, H* es la producción de heces (Kg de MS/día); 0,8 es la tasa de recuperación de *FDAi* en las heces (Sunvold y Cochran, 1991), *FDAis* es el porcentaje de *FDAi* en el suplemento, *CMSs* es el consumo de materia seca del suplemento (Kg/d) y *FDAif* es el porcentaje de *FDAi* en el forraje.

3.2.7 Análisis químicos

- **Forraje, Suplementos y Mezclas de los suplementos con los SIP:** Los forrajes, suplementos y las mezclas de estos con los SIP, fueron analizados para MS, PC (método de Kjeldahl), FDN, FDA, lignina, cenizas, extracto etéreo (extracción contínua), minerales (Ca, Cu, Zn, Mg, Fe, Na, K, Mn, Co, determinados por espectrofotometría de absorción atómica y P determinado por colorimetría) (AOAC, 2006); *DIVMS* (Tilley and Terry, 1963), *FDAi* (Sunvold y Cochran, 1991), Cr (espectroscopia fluorescente de rayos X, S2 PICFOX® de BRUKER®).

- **Leche:** La calidad composicional de la leche (proteína (%), grasa (%) y sólidos totales (%), fue evaluada por ultrasonografía (Priev y Barenholz, 2010) con un equipo Milkoscope®.

- **Heces:** La concentración de *FDAi* se determinó mediante la metodología descrita Sunvold y Cochran (1991). El cromo fue determinado por espectroscopia fluorescente de rayos X (S2 PICFOX® de BRUKER®).

3.2.8 Diseño experimental

Para las variables consumo de MS del forraje, consumo MS total, consumo de MS total digestible, peso vivo y condición corporal; se empleó un diseño de sobrecambio simple con 2 periodos y 2 tratamientos (Kaps y Lamberson, 2004).

El modelo estadístico se descríbe acontinuación:

$Yijkl = \mu + \tau i + \beta k + SUB(\beta)jk + tl + \varepsilon ijkl$ Donde:

Yijkl = Peso y/o condición corporal y/o consumo de la vaca *j* con la dieta *i, en el* grupo *k* y periodo *l*

μ = Promedio poblacional

τi = Efecto de la dieta *i* = 1,2

βk = Efecto del grupo *K* = 1,2

SUB(β)jk = Efecto aleatorio de la vaca *j* en el grupo *k, j*= 1,2,3,4

tl = Efecto del periodo *l* = 1,2

Eijkl = Error aleatorio con media 0 y varianza σ^2

Para las variables producción de leche y calidad de leche (% de proteína, % de grasa y % de sólidos totales) se empleó un diseño de sobrecambio con medidas repetidas (Jones y Kenward, 2003). El análisis estadístico se realizó utilizando el procedimiento PROC MIXED del sistema estadístico SAS (1998). El modelo estadístico se descríbe a continuación:

$Yijklm = \mu + Sik + \pi j + \alpha l + \lambda m + (\alpha \lambda) lm + (\pi \lambda) jm + (\beta xm)_{l(j-1)} + Eijklm$ Donde:

Yijklm = Producción y/o calidad de la leche de la vaca *i* en el periodo *j* del grupo *k* que recibió la dieta *l* en la medición del tiempo *m*

μ = Promedio poblacional

Sik = Efecto de la vaca *i* en el grupo *k*. *i* = 1,2,3,4; *k* = 1,2

πj = Efecto del periodo *j* = 1,2

αl = Efecto de la dieta *l* = 1,2

λm = Efecto del tiempo *m* = 1,2,3

$(\alpha \lambda) lm$ = Efecto de la posible interacción de la dieta *l* en el tiempo *m*

$(\pi \lambda) jm$ = Efecto de la posible interacción del periodo *j* en el tiempo *m*

$(\beta xm)_{l(j-1)}$ = Efecto residual de la dieta *l*, en la medición del tiempo *m* dentro del periodo *j*

$Eijklm$ = Variabilidad natural de la vaca *i,* en el periodo *j* del grupo *k*, que recibió la dieta *l* en la medición del tiempo *m.*

3.3 Resultados

3.3.1 Características de los alimentos

Los resultados del análisis de la composición química de los SIP utilizados en este experimento se muestran en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Composición química de los Subproductos de la industria de papel (SIP) utilizada en el experimento 2.

Análisis	SIP
PC (%)	1,9
DIVMS (%)	65,3
FDN (%)	44,2
FDA (%)	44,1
E.E (%)	ND
Lignina (%)	6
Cenizas (%)	58,4
Ca (%)	13,5
P (%)	0,05
K (%)	0,02
Mg (%)	0,23
Na (%)	0,08
Mn (ppm)	32
Cu (ppm)	46
Zn (ppm)	70
Co (ppm)	18
Fe (ppm)	1294

SIP= Subproductos de la Industria del Papel, PC= proteína cruda; *DIVMS*= Digestibilidad *In Vitro* de la materia seca; FDN= Fibra en Detergente Neutro; FDA= Fibra en Detergente Ácido; E. E= Extracto Etéreo, ND= No detectado

Para los SIP, se encontró baja concentración de PC, valor medio para la *DIVMS*, una concentración similar de FDN y FDA, bajos niveles de lignina, altos niveles de cenizas y dentro de estas, altos niveles de minerales como Ca, Cu, Fe y Zn y niveles aceptables de Mg y Co (Tabla 3-1).

En las Tablas 3-2 y 3-3 se muestran las características nutricionales de los diferentes componentes de la dieta del tratamiento control y experimental, en cada periodo de evaluación (forraje, suplementos comerciales (mañana y tarde) y mezclas de los suplementos con los SIP).

Tabla 3-2 Composición química del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), tratamiento control y experimental en el periodo 1 de evaluación.

Análisis	Kikuyo	Tratamiento Control		Tratamiento Experimental	
		S.O	S.T	Mezcla S.O + SIP	Mezcla S.T + SIP
PC (%)	12,5	18,8	11,2	10,2	10,3
DIVMS (%)	54,2	74,1	51,2	76,4	57,9
FDN (%)	67,1	25,1	51,9	24,3	47,6
FDA (%)	33,8	10,3	34,1	15,4	32,5
E.E (%)	3,4	7,0	5,3	3,8	4,0
Lignina (%)	1.9	1,4	10,5	2,6	14,2
Cenizas (%)	6,2	6,0	7,9	25,7	12,9
Ca (%)	0,2	1,1	2,2	5,8	2,7
P (%)	0,36	0,5	0,47	0,29	0,39
K (%)	2,85	0,9	0,95	0,67	0,92
Mg (%)	0,19	0,3	0,29	0,27	0,28
Na (%)	0,05	0,1	0,36	0,06	0,48
Mn (ppm)	90	50	131	37	99
Cu (ppm)	7,2	6,8	16	50	20
Zn (ppm)	65	25	55	45	55
Co (ppm)	9,4	1.1	1,6	23,3	9,3
Fe (ppm)	95	215	490	696	591

S.O = Suplemento ordeño; S. T= Suplemento tarde; SIP= Subproductos de la Industria del Papel; PC= proteína cruda; *DIVMS*= Digestibilidad *In Vitro* de la materia seca; FDN= Fibra en Detergente Neutro; FDA= Fibra en Detergente Ácido; E. E= Extracto Etéreo.

Tabla 3-3 Composición química del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), tratamiento control y experimental en el periodo 2 de evaluación.

Análisis	Kikuyo	Tratamiento Control		Tratamiento Experimental	
		S.O	S.T	Mezcla S.O + SIP	Mezcla S.T + SIP
PC (%)	14,5	18,8	11,2	8,2	9,8
DIVMS (%)	62,5	74,1	51,2	71,3	52,0
FDN (%)	58,4	25,1	51,9	30,5	50,6
FDA (%)	29,7	10,3	34,1	24,2	36,1
E.E (%)	3,2	7,0	5,3	3,8	5,3
Lignina (%)	1,4	1,4	10,5	7,3	15,6
Cenizas (%)	10,2	6,0	7,9	29,5	12,6
Ca (%)	0,4	1,1	2,2	9,1	2,5
P (%)	0,42	0,5	0,7	0,2	0,4
K (%)	1,80	0,9	0,95	0,65	0,82
Mg (%)	0,30	0,30	0,29	0,26	0,27
Na (%)	0.09	0,1	0,36	0,06	0,34
Mn (ppm)	81	50	131	42	103
Cu (ppm)	6,4	6,8	16,0	49,8	22,3
Zn (ppm)	48	25	55	63	85
Co (ppm)	3,3	11,3	1,6	12,1	7,3
Fe (ppm)	104	215	490	820	590

S.O = Suplemento ordeño; S. T= Suplemento tarde; SIP= Subproductos de la Industria del Papel; PC= proteína cruda; *DIVMS*= Digestibilidad *In Vitro* de la materia seca; FDN= Fibra en Detergente Neutro; FDA= Fibra en Detergente Ácido; E. E= Extracto Etéreo.

En los análisis químicos de los forrajes, se puede observar que durante el primer periodo de evaluación (Tabla 3-2), la calidad nutricional del pasto Kikuyo fue inferior al encontrado en el segundo periodo (Tabla 3-3), con una menor concentración de PC, mayor concentración de fibras (FDN, FDA) y lignina y menores valores de *DIVMS* para el forraje del primer periodo respecto al segundo periodo.

En cuanto a los suplementos comerciales que se ofrecieron (ordeño y tarde), se encontró que el suplemento de ordeño tiene altos niveles de PC, alta *DIVMS*, bajos contenidos de fibras (FDN y FDA) y de lignina. Por otra parte, el suplemento ofrecido en la tarde tiene una menor calidad nutricional, ya que su contenido de PC es bajo, tiene altos niveles de fibras y lignina y una *DIVMS* media. Respecto a las mezclas ofrecidas en el tratamiento experimental (SIP + suplemento de ordeño y/o tarde), las concentraciones de PC son similares debido a las proporciones en las que fueron mezclados los SIP con cada uno de

estos suplementos. La mezcla del suplemento de la mañana con los SIP tiene una mayor *DIVMS*, menor contenido contenido de fibras (FDA y FDN) y lignina respecto a la mezcla de los SIP y el suplemento de la tarde.

3.3.2 Consumo de materia seca

En la Tabla 3-4 se muestra el consumo de MS del forraje y el consumo de MS total y consumo de MS digestible de los animales, tanto para el grupo control y como para los alimentados con la inclusión de los SIP.

Tabla 3-4 Efecto del tratamiento experimental (SIP) sobre el consumo de MS del forraje, consumo total de MS y MS digestible de la dieta, en las vacas en los dos periodos de evaluación.

	Periodo 1				**Periodo 2**			
Variable	**Control**	***DS***	**SIP**	***DS***	**Control**	***DS***	**SIP**	***DS***
Forraje (kg MS/vaca/día)	10,6	1,28	9,4	1,38	10,6	2,26	10,4	2,02
Total (kg MS/vaca/día)	17,6	1,28	17,9	1,34	17,6	2,26	18,2	2,08
MS digestible (kg/vaca/día)	11,1	0,96	10,6	0,86	12,2	1,39	12,5	1,38

SIP= Subproductos de la industria del Papel, *DS* = Desviación estándar.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas (p >0.05) para el consumo de MS del forraje, consumo total de MS y consumo de MS digestible de la dieta, debido a los tratamientos (Tabla 3.5). Sin embargo, para el consumo de MS digestible se presentó un efecto del periodo, encontrándose menor valor durante el primer periodo de evaluación.

Tabla 3-5 Análisis de varianza para el efecto del tratamiento experimental (SIP), sobre el consumo de MS del forraje, consumo total de MS y MS digestible de la dieta en las vacas.

	Fuente de variación (p >0.05)		
Variable	**Tratamiento**	**Periodo**	**Grupo**
Forraje (kg MS/vaca/día)	0,097	0,204	0,708
Total (kg MS/vaca/día)	0,272	0,637	0,899
MS digestible (kg/vaca/día)	0,752	0,0007	0,630

En las Tablas 3-6 y 3-7 se muestra el consumo de MS proveniente del forraje y consumo total de MS de los animales y la relación del consumo de MS total con la producción de leche de las vacas en los dos periodos de evaluación.

Para el primer periodo de evaluación (Tabla 3-6), la relación producción de leche y consumo total de MS, fue menor para el grupo de animales en el cual se incluyó los SIP respecto al grupo control (0,95 y 1,31 l de leche/kg MS consumida promedio para el tratamiento con SIP y control respectivamente), esta relación superior del grupo control se debe a que los animales de este grupo registraron desde el inicio del experimento una mayor producción promedio de leche respecto al grupo con inclusión de los SIP.

Tabla 3-6 Consumo de MS del forraje, consumo total de MS, producción de leche y relación producción de leche y consumo de MS total (periodo de evaluación 1).

Vaca	Tratamiento	CF	CT	PL	PL: CT
5825	SIP	10,3	18,8	16,8	0,90
5831	SIP	8,9	17,4	15,1	0,87
7916	SIP	7,8	16,3	16,2	0,99
7919	SIP	10,8	19,2	20,2	1,05
Promedio		9,4	18,2	17,1	0,95
DS		1,38	2,08	2,19	0,08
5793	Control	8,9	15,9	26,5	1,67
5795	Control	11,7	18,7	23,0	1,23
5799	Control	10,4	17,4	20,8	1,20
5834	Control	11,5	18,5	21,3	1,15
Promedio		10,6	17,6	22,9	1,31
DS		1,28	1,28	2,58	0,24

SIP= Subproductos de la industria del papel, CF= Consumo de forraje (Kg de MS/vaca/día); CT= Consumo de MS total (Kg de MS/vaca/día); PL= Producción de leche (l/vaca/día); PL: CT= Relación producción de leche: consumo total (l de leche / kg de MS consumida); *DS* = Desviación estándar

Para el segundo periodo de evaluación (Tabla 3-7), la relación producción de leche y consumo total de MS fue similar para el tratamiento con SIP respecto al tratamiento control (1,13 y 1,04 l de leche/kg MS consumida respectivamente).

Tabla 3-7 Consumo de MS del forraje, consumo total de MS, producción de leche y relación producción de leche y consumo de MS total (periodo de evaluación 2).

Vaca	Tratamiento	CF	CT	PL	PL: CT
5825	Control	12,1	19,1	17,9	0,94
5831	Control	8,5	15,5	16,7	1,08
7916	Control	9	16,0	16,2	1,02
7919	Control	13,0	20,0	227	1,13
Promedio		10,6	17,6	18,4	1,04
DS		2,26	2,20	2,96	0,08
5793	SIP	7,6	15,3	22,1	1,44
5795	SIP	11,3	19,1	20,6	1,08
5799	SIP	10,7	18,6	19,3	1,04
5834	SIP	12,2	20,2	18.8	0,94
Promedio		10,43	18,29	20,2	1,13
DS		2,02	2,02	1,46	0,22

SIP= Subproductos de la industria del papel, CF= Consumo de forraje (Kg de MS/vaca/día); CT= Consumo de MS total (Kg de MS/vaca/día); PL= Producción de leche (l/vaca/día); PL: CT= Relación producción de leche: consumo total (l de leche / kg de MS consumida); *DE* = Desviación estándar

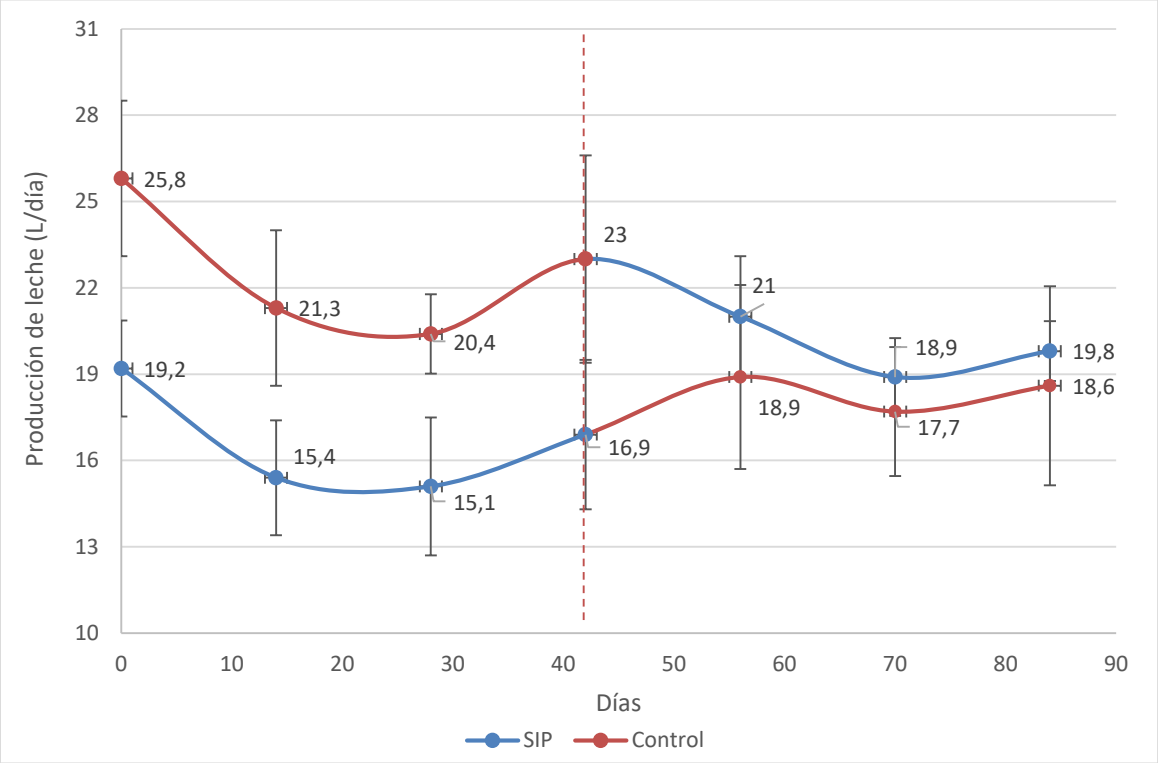
3.3.3 Producción de leche

En la Gráfica 3-1, se observa el comportamiento en la producción de leche de los animales del grupo control y el grupo con la inclusión de los SIP. En el experimento para el día “0”, el grupo control inició con un promedio de producción mayor al grupo al cual se suministraba los SIP (25,8 vs. 19,2 litros/animal/día en promedio para grupo control y SIP respectivamente) esta diferencia en la producción se produjo en el proceso de aleatorización de los animales cuando se asignaron los tratamientos.

Durante el primer periodo de evaluación, tanto el grupo control como el grupo con los SIP registraron una disminución en la producción de leche hasta el día 28, presentándose un incremento en la producción hasta el día 42 (Figura 3-1). En general, el grupo control durante el primer periodo de evaluación registró una disminución promedio en la producción de leche de 10,2%, mientras que el grupo a los cuales se les suministró los SIP, registraron una disminución promedio 7,8% en la producción de leche.

Durante el segundo periodo de evaluación, los dos grupos también presentaron una disminución en la producción de leche hasta el día 28 del periodo, con un incremento para

para el día 42 (Figura 3-1). En este segundo periodo, la disminución promedio en la producción de leche que registró el grupo SIP fue mayor (15%), comparado con el grupo control que registró una disminución del 1%.



SIP= Subproductos de la industria del papel.
Línea punteada (- - - -) cambio de periodo de evaluación (día 42).

Figura 3-1 Producción de leche en las vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación.

De acuerdo al análisis de varianza (Tabla 3-10), no se encontraron diferencias significativas para la producción de leche debido a los tratamientos ($p > 0,05$). Se encontró efecto del tiempo y de la interacción periodo por tiempo ($p < 0,05$) para esta variable. El efecto de esta interacción se da para el tiempo 14 durante del segundo periodo, donde la producción de leche se incrementa para el grupo control, mientras que para el grupo que recibió los SIP presentó un descenso. También, el análisis estadístico determinó que se presentó un efecto residual de los tratamientos para esta variable en el segundo periodo de evaluación (Anexo 2).

3.3.4 Leche corregida por energía

En las Tablas 3-8 y 3-9, se presentan los valores determinados para leche corregida por energía (LCE) para los dos periodos de evaluación. Para esta variable, durante el primer periodo de evaluación, se observó una disminución en los valores principalmente para el día 14 para los dos tratamientos (19% para el grupo a los que se suminitró los SIP y 17,8% para grupo control) y fue menos marcada para el tiempo 28 de evaluación, con un incremento hacia el final del periodo (día 42) (Tabla 3-8).

Tabla 3-8 Leche corregida por energía (LCE) en las vacas consumiendo dieta control y SIP (1er periodo de evaluación).

Grupo	Leche corregida por energía (LCE)							
	Días 0	***DS***	**14**	***DS***	**28**	***DS***	**42**	***DS***
SIP	19,2	2,20	15,4	1,20	15,1	2,60	16,9	1,70
C	25,8	2,00	21,3	4,30	20,4	1,20	23,0	3,00

C= Control; SIP= Subproductos de la industria del papel; *DS* = Desviación estándar
LCE (kg/d) = (12.82 x producción de grasa (kg/d)) + (7.13 x producción de proteína (kg/d)) + (0.323 x producción de leche (kg/día) (Hutjens, 2010).

Durante el segundo periodo de evaluación, para el día 14, el grupo al que se les suministraron los SIP, presentó una disminución en los valores de LCE de 8,6% mientras que el grupo control presentó un aumento del 28,6%, el resto del periodo de evaluación los valores para esta variable tienen un comportamiento similar para los dos grupos, con un incremento hacia el final del periodo (Tabla 3-9), influenciados por el aumento en los porcentajes de grasa y proteína en la leche, como se presenta más adelante.

Tabla 3-9 Leche corregida por energía (LCE) en las vacas consumiendo dieta control y SIP (2do periodo de evaluación)

Grupo	Leche corregida por energía (LCE)					
	Días 14	***DS***	**28**	***DS***	**42**	***DS***
SIP	21,0	0,50	18,9	1,10	19,8	0,40
C	18,9	2,90	17,7	1,30	18,6	2,60

C= Control; SIP= Subproductos de la industria del papel; *DS* = Desviación estándar
LCE (kg/d) = (12.82 x producción de grasa (kg/d)) + (7.13 x producción de proteína (kg/d)) + (0.323 x producción de leche (kg/día) (Hutjens, 2010).

El análisis de varianza muestra que no se encontraron diferencias significativas debido a los tratamientos para la variable LCE (p >0,05) (Tabla 3-10), se encontró un efecto del tiempo y de la interacción periodo por tiempo (p <0,05) en donde los valores para LCE en el tiempo 14 del segundo periodo para el grupo control se incrementan y los del grupo donde se suministraron los SIP disminuyeron. Para esta variable el análisis estadístico también determinó un efecto residual de los tratamientos en el segundo periodo de evaluación (Anexo 2).

Tabla 3-10 Análisis de varianza para producción de leche y leche corregida por energía (LCE) de las vacas alimentadas con la dieta control y SIP.

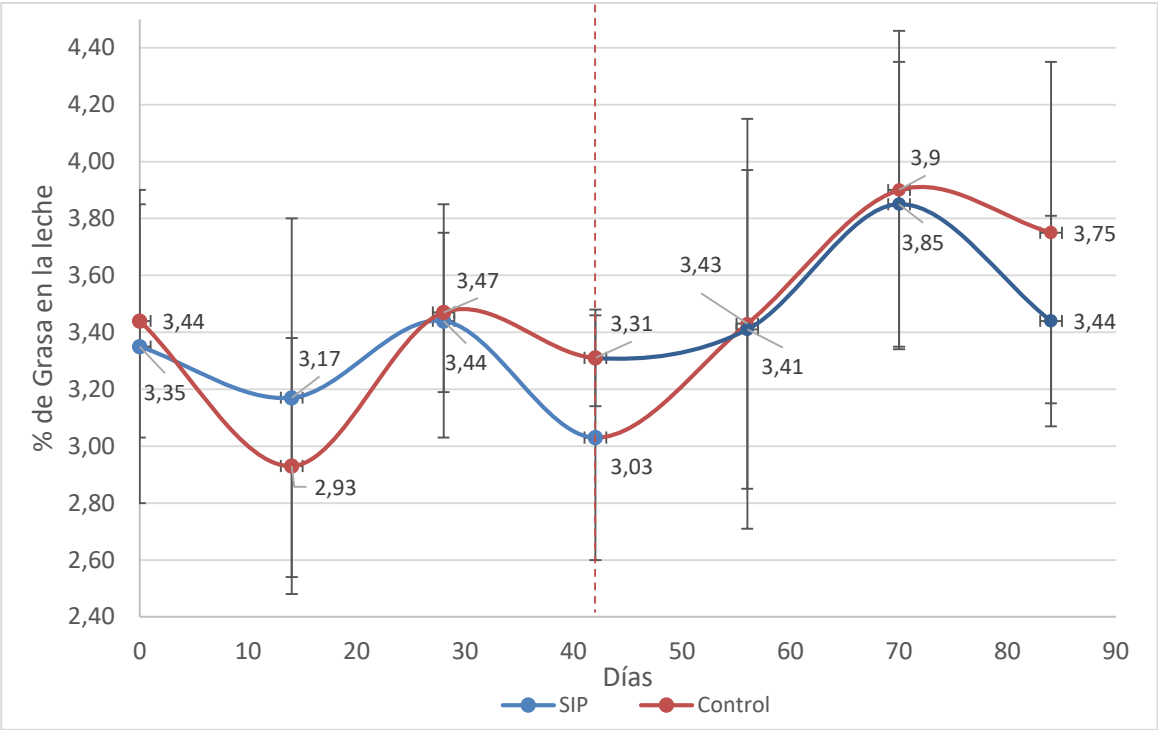
Fuente de variación	Producción leche	Leche corregida por energía
	p >0,05	
Periodo	0,930	0,144
Tratamiento	0,316	0,091
Tiempo	< 0,001	0.0002
Periodo * Tiempo	0,004	0.006
Tiempo * Tratamiento	0,274	0.673

3.3.5 Calidad de la leche

GRASA EN LECHE

En la Figura 3-2. se puede observar el comportamiento de la grasa (%) en la leche del grupo de vacas alimentadas con la dieta control y SIP.

El contenido de grasa promedio en la leche al inicio del experimento (día 0), fue de 3,44 y 3,35% para el grupo control y SIP respectivamente. La grasa en la leche varió a lo largo del primer periodo alcanzando un incremento hacia el día 28 y luego un descenso hacia el día 42 (Figura 3-2), que coincide con el incremento en la producción de leche para este mismo tiempo.



SIP= Subproductos de la industria del papel.
Línea punteada (- - - -) cambio de periodo de evaluación (día 42).

Figura 3-2 Porcentaje de grasa en leche en vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación.

En general durante el primer periodo, se registró una disminución en el contenido de grasa en la leche de -0,2 y -0,33 unidades porcentuales para el grupo control y SIP respectivamente. Durante el segundo periodo se presentó un incremento en el contenido de grasa en la leche en los dos grupos de 0,72 y 0,11 unidades porcentuales para el grupo control y SIP respectivamente, influenciada por la mayor oferta y calidad del forraje (mayor consumo de nutrientes) en este periodo de evaluación.

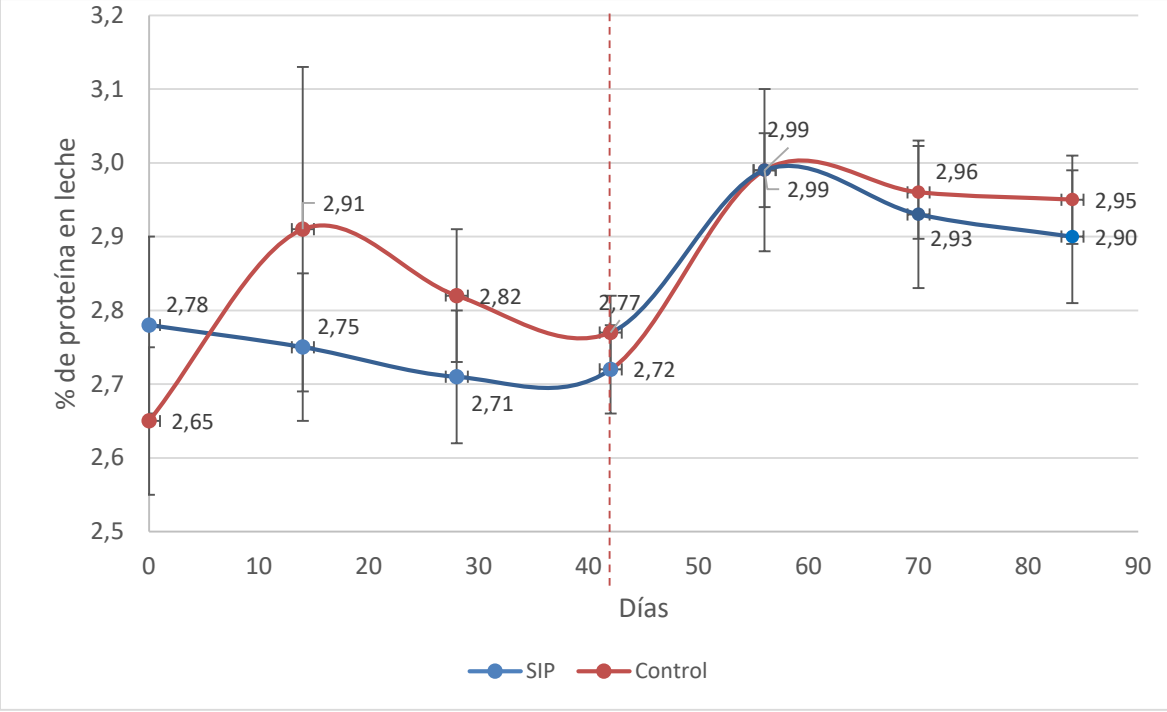
De acuerdo al análisis de varianza (Tabla 3-11), no se encontraron diferencias estadísticas significativas para el porcentaje de grasa en la leche debido los tratamientos ($p > 0.05$). Se encontró un efecto del periodo y el tiempo ($p < 0.05$) en donde el porcentaje de grasa en leche tuvo los mayores valores en el tiempo 28 del segundo periodo de evaluación.

Tabla 3-11 Análisis de varianza para las variables de calidad (grasa, proteína y sólidos totales) de la leche de las vacas alimentadas con la dieta control y SIP

Fuente de variación	Calidad de leche		
	Grasa	Proteína	Sólidos totales
	p >0,05		
Periodo	0,040	0,181	0,096
Tratamiento	0,161	0,187	0,058
Tiempo	0,001	0,0004	0,0002
Tratamiento * Tiempo	0,194	0,040	0,079
Periodo* Tiempo	0,678	0,173	0,975

PROTEÍNA EN LECHE

El comportamiento de la proteína en la leche en los periodos de evaluación se presenta en la Figura 3-3. El porcentaje inicial de proteína en la leche (día 0) para el grupo control fue de 2,65% y para el grupo SIP de 2,78%.



SIP= Subproductos de la industria del papel.
Línea punteada (- - - -) cambio de periodo de evaluación (día 42).

Figura 3-3 Porcentaje de proteína en leche en vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación.

Para el grupo de la dieta control se observó un incremento en la proteína de la leche para el día 14 de 0,26% la cual descendió hasta el día 42 para finalmente tener un incremento de 0,13% al final del periodo. Para el grupo de la dieta SIP se observa un descenso en el nivel de proteína en la leche a través de los diferentes días de muestreo durante el primer periodo para un descenso final de -0,05%. Para el segundo periodo la proteína de la leche tuvo un incremento y comportamiento similar para el grupo de la dieta control y SIP, estos incrementos fueron de 0,22 y 0,13% para el grupo control y SIP respectivamente (Figura 3-3).

De acuerdo al análisis de varianza (Tabla 3-11), no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de proteína en la leche debido a los tratamientos ($p > 0,05$), se observó un efecto debido a la interacción del tratamiento por tiempo ($p < 0,05$), donde el porcentaje de proteína en la leche en el tiempo 14 del primer periodo de evaluación muestra un incremento para el grupo control, mientras para el grupo SIP, la proteína en leche tuvo una disminución para este tiempo de muestreo.

SÓLIDOS TOTALES EN LECHE

La concentración de los sólidos totales en la leche del grupo control y SIP durante los periodos experimentales, se muestran en la Tabla 3-12 y 3-13.

Los sólidos totales de la leche para el grupo contro y SIP al inicio del experimento fueron similares (11,3% y 11,2% para el grupo SIP y control respectivamente). Para grupo SIP durante el primer periodo, esta variable se mantuvo constante durante los primeros 28 días con un descenso hacia el día 42 del primer periodo (-0,49% de solidos totales respecto al valor inicial). Para el grupo control los sólidos totales se mantuvieron estables durante los primeros 14 dias de evaluación, con un pequeño incremento en el día 28 y un descenso hacia el día 42 (Tabla 3-12).

El descenso en los sólidos totales en los dos grupos al final del primer periodo coincide con el incremento en la producción de leche en este mismo lapso de tiempo.

Tabla 3-12 Sólidos totales en leche (%) en vacas consumiendo dieta control y SIP (1er periodo de evaluación)

Grupo	Sólidos totales en la leche(%)							
	Días 0	***DS***	**14**	***DS***	**28**	***DS***	**42**	***DS***
SIP	11,3	0,81	11,2	0,83	11,3	0,58	10,9	0,59
C	11,2	0,17	11,1	0,51	11,6	0,37	11,4	0,29

SIP= Subproductos de la industria del papel; C= Control; *DS*= Desviación Estándar

Para el segundo periodo, se registró un incremento en los sólidos totales hasta el día 28 en los dos grupos evaluados y un descenso para el día 42 (Tabla 3-13).

Tabla 3-13 Sólidos totales en leche (%) en vacas consumiendo dieta control y SIP (2do. periodo de evaluación)

Grupo	Sólidos totales en la leche (%)					
	Días 14	***DS***	**28**	***DS***	**42**	***DS***
SIP	11,7	0,69	12,0	0,62	11,5	0,61
C	11,7	0,93	12,1	0,69	11,9	0,77

C= Control; SIP= Subproductos de la industria del papel; *DS*= Desviación Estándar

Teniendo en cuenta el análisis de varianza (Tabla 3-11), para los sólidos totales en leche no se encontraron diferencias significativas debido a los tratamientos ($p > 0.05$), se encontró un efecto del tiempo para esta variable ($p < 0.05$) con un descenso en los sólidos totales para los 2 grupos el día 42 de los periodos de evluación.

3.3.6 Peso vivo y condición corporal

PESO VIVO

Los animales del grupo control y SIP presentaron pérdida de peso, al final del primer periodo (día 42) de -5kg y -6 kg para el grupo control y SIP respectivamente. La pérdida de peso de los grupos de animales se puede asociar a la baja oferta de forraje (3,3 kg de MS/100 kg de PV) y a su moderada calidad. Durante el segundo periodo se registró un aumento promedio de peso para el grupo control de 9 kg mientras que los animales que fueron alimentados con SIP presentaron una pérdida de peso promedio de -4 kg (Tabla 3-14). De acuerdo al análisis de varianza (Tabla 3-14), se encontraron diferencias

estadísticas significativas para el peso vivo debido a los tratamientos (p <0,05) y el periodo (p <0,05).

Tabla 3-14 Peso vivo (kg) de las vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación.

Peso promedio (kg)								Fuente de variación (p >0.05)		
Tratamiento	**Periodo 1**				**Periodo 2**			**Tto.**	**Grupo**	**Periodo**
	Días 0	***DS***	**42**	***DS***		**42**	***DS***			
SIP	530	68	524	73	**Control**	533	77	0,018	0,261	0,007
Control	605	58	600	58	**SIP**	596	77			

SIP = Subproducto de la industria del papel; Tto. = Tratamiento; *DS* = Desaviación estándar

CONDICIÓN CORPORAL

La condición corporal de los animales no presentó diferencias significativas debido al los tratamientos, periodo o grupo (p >0,05) (Tabla 3-15).

Tabla 3-15 Condición corporal de las vacas consumiendo dieta control y SIP durante los 2 periodos de evaluación.

Condición corporal								Fuente de variación (p >0.05)		
Tratamiento	**Periodo 1**				**Periodo 2**			**Tto.**	**Grupo**	**Periodo**
	Días 0	***DS***	**42**	***DS***		**42**	***DS***			
SIP	2,81	0,13	2,81	0,13	**Control**	2,81	0,24	0,153	1,000	0,445
Control	2,75	0,29	2,88	0,29	**SIP**	2,88	0,14			

SIP = Subproductos de la industria del papel; Tto.= Tratamiento; *DS* = Desviación estándar
Condición corporal =escala 1 a 5.

3.4 Discusión

3.4.1 Consumo de materia seca y MS digestible de la dieta

Factores como la oferta y calidad de forraje, concentrado y estado de lactancia afectan la tasa de sustitución de la pradera por concentrado, siendo los dos primeros los que mayor efecto sobre la tasa de sustitución (Delaby *et al*., 2001) y comportamiento de los animales en pastoreo (Pulido y Leaver, 2001).

En el presente estudio, no se encontraron diferencias significativas en el consumo de MS proveniente del forraje debido a los tratamientos evaluados, aunque, se encontró un mayor valor numérico en el consumo de MS del forraje en el tratamiento control. Bargo *et al.* (2003), mencionan que, al suplementar con concentrados con altos contenidos fibra de alta digestibilidad, a animales de alta producción en pastoreo, encontraron un aumento ligeramente en el consumo de MS de la pradera (0,13 kg/d), con una gran variación entre estudios (de 0,7 a 1,4 kg/d).

Para el consumo de MS total, si bien, no se encontraron diferencias significativas debido a los tratamientos, los mayores valores de consumo de MS total, se presentaron para el grupo de animales que consumieron la dieta con la adición de SIP, posiblemente por un efecto aditivo de la suplementación, ya que de acuerdo con Lange, (1980), Viglizzo, (1981) citados por Avellanal y Machado (2016), este efecto se puede generar porque los nutrientes incorporados por el suplemento, se adicionan totalmente a los de la pastura y esto ocurre cuando el animal no completa sus requerimientos con el consumo del forraje, debido a forrajes poco apetecibles, de baja digestibilidad, escasos o con tiempo de pastoreo restringidos.

Prasad *et al*., (1991) mencionan que, con bajos niveles de suplementos en la dieta, puede haber un aumento en el consumo y digestibilidad de residuos lignocelulósicos por efectos asociativos positivos. Estos efectos asociativos de la suplementación en la digestibilidad de forrajes de mala calidad y su efecto en la producción animal, se han reportado en niveles bajos de suplementación (10 a 20%). Sin embargo, a altos niveles de suplementación, el consumo de MS de residuos lignocelulósicos disminuye, por la sustitución de los residuos por los suplementos.

Ya que en la literatura no se encontraron reportes del uso del mismo material (SIP o lodo de destintado) en alimentación de rumiantes, las comparaciones de algunos resultados, las hacemos sobre materiales que tienen alguna similitud con estos SIP como son: papel o residuos de pulpas de papel, evaluados en alimentación animal.

Sherrod y Hansen (1973) y Combe y Briggs (1974), concluyen que en dietas que incluyen fuentes de papel y tienen como base fibra proveniente de forrajes, hay un efecto benéfico en el consumo y ganancias de peso en los animales. También indican, que la fuente de papel no actúa en el rumen de la misma manera que los forrajes, a pesar de la similitud en su composición química y posibles productos de fermentación ruminal. Además, cuando se disminuyó la fuente de fibra del forraje (heno) y se omitió la inclusión de melaza en las dietas, los consumos de materia seca disminuyeron.

Los consumos de MS total encontrados en este estudio (17,6 y 18 kg de MS/animal/día para tratamiento control y SIP respectivamente), son similares a los reportados por Mertens *et al.,* (1971), cuando incluyeron 10% de papel en la dieta de vacas en lactancia (17 kg/animal/día). Sin embargo, los animales de su grupo control reportaron un CMS de 21,5 kg/animal/día) con una dieta que incluía semilla de algodón y heno de alfalfa. Estos autores también reportan, que al aumentar el nivel de inclusión de papel al 20% de la dieta, el consumo de MS total se redujo a 12,5 kg/animal/día. También reportan, una respuesta lineal directa entre el consumo de heno y papel, ya que los animales que consumieron más papel también consumieron más de la porción fibrosa del heno.

En otro estudio, Millet *et al*.,(1973), evaluó la inclusión de pulpa de papel en dietas para novillos (50% de inclusión de pulpa de papel en la dieta y un grupo control sin inclusión de pulpa de papel) durante 58 días, los animales del grupo control presentaron una tendencia a un mayor consumo de alimentos respecto al peso vivo (2,84 y 2,48% para el grupo control y grupo con inclusión de pulpa de papel); también,una menor relación consumo/ganancia (9,4 y 11,6 kg para el grupo control y grupo inclusión de pulpa), sin embargo, no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los grupos evaluados.

Otros autores como Croy y Rode (1988), reportaron una disminución lineal de la ingesta voluntaria de MS ($p < 0,05$), cuando se incrementó el nivel de residuos de pulpa de papel en la dieta, cuando evaluaron el consumo de MS en dietas para novillos con inclusiones de residuos de pulpa de papel de 0, 12, 24, 36 y 48%, encontrando consumos de 7,5 kg

de MS/día cuando se incorporó el 12% de pulpa de papel en la dieta y de 8,1 kg de MS/día para el tratamiento control.

Bilawchuk (1989), no encontró diferencias en el consumo de MS (kg/día) en novillos, cuando incorporó en ensilajes de cebada 22 y 44% de residuos de pulpa de papel. Los consumos reportados fueron de 11.1, 10.9 y 10.4 kg de MS/día, para tratamiento control, silo 22 o silo 44% de inclusión de la pulpa de papel respectivamente.

Riquelme *et al.,* (1975), en un ensayo alimentando corderos, donde incluyó en las dietas 66% de residuos de celulosa (pulpa de madera kraft o residuos de celulosa tipo sulfito) y un tratamiento control (60% alfalfa y 40% de alimento concentrado), encontró que el CMS fue menor para el tratamiento que incluía los residuos celulósicos respecto al control, sugiriendo que el consumo estaría limitado por el alto consumo de fibra.

La reducción en el consumo por la inclusión de productos lignocelulósicos, también fue observada en otros estudios como los realizados por Daniels *et al.*, (1970) usando papel periódico y Clarke and Dyer (1972), quienes usaron aserrín de madera tratada químicamente. Estos autores mencionan, que la disminución en el consumo de las dietas con estos materiales relacionados al papel, no parece estar asociado a factores de palatabilidad.

Respecto al consumo de MS digestible encontrado en el presente trabajo, aunque los tratamientos no tuvieron efecto para esta variable, si se encontró un efecto del periodo ($p < 0,05$) influenciado por la baja digestibilidad del forraje que consumieron los animales durante el primer periodo (*DIVMS* 54,2%), ya que los SIP que se incluyeron en la ración tenían mayor *DIVMS* (65,3%) y representan solamente el 10% de la ración, mientras que el forraje representa el 60% del total de la dieta.

Millet *et al.* (1973), encontraron valores en la digestibilidad de la MS de 66% en una dieta con 20% de inclusión de residuos de pulpa de papel, cuando incrementó los niveles de inclusión de residuos de pulpa (35, 50 y 65%) los valores de digestibilidad fueron de 61, 60 y 53% respectivamente. Mertens *et al*., (1971), no encontraron diferencias significativas en la digestibilidad de las dietas, con inclusiones de 10 y 20% de papel respecto a la dieta control con valores de 77,4, 77,5 y 77,4% para el control, 10% de papel y 20% de papel respectivamente. Mientras que Croy y Rode (1988), reportaron un incremento lineal en la

digestibilidad de la MS a medida que los residuos de pulpa de papel se incrementaban en la dieta.

3.4.2 Producción de leche

En el presente trabajo, aunque hubo una diferencia inicial en la producción de leche en los dos grupos, (27,2 vs. 20,3 litros/día en promedio para grupo control y SIP respectivamente) (Figura 3-1), a través del estudio se presentó una disminución en la producción de leche, siendo mayor para el grupo control durante el primer periodo y para el grupo SIP durante el segundo periodo, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la producción debido al tratamiento.

El descenso inicial en la producción de leche que se observó en el presente estudio, puede estar asociada a la baja calidad y oferta de los forrajes durante el inicio de este periodo, dada la baja precipitación de la zona, además que parte de este tiempo los animales pastorearon praderas de kikuyo asociadas con Raigrás, el cual se encontraba en estado reproductivo (semilla). La recuperación en la producción de leche hacia el final del primer periodo se asocia con el consumo de forrajes de mejor calidad (cambios de potreros) y por consumo de avena en pastoreo (aproximadamente 5 horas al día, por un lapso de 8 días después del día 25 de evaluación).

La calidad del forraje tiene impactos significativos en la digestibilidad de la dieta y la ingesta de alimento. Perkins (2001) citado por Stokes, (2002), sugirió que muchas de las variaciones observadas lecherías de alta producción, están relacionadas con cambios en la calidad del forraje donde las vacas de alta producción son más sensibles a los cambios en la digestibilidad que las vacas de baja producción. Allen (1996) indíca, que a medida que los forrajes maduran, la digestibilidad de la fibra decrece, y debido a que más del 25% de las dietas del ganado lechero son fibra, la variación en la digestibilidad de esta, puede tener un gran efecto en el contenido energético de la dieta y por ende en la producción de leche.

Respecto a la inclusión de materiales lignocelulosicos en la dieta de vacas lecheras, en trabajos realizados por Mertens *et al*., (1971) observaron que con diferentes niveles de inclusión de papel en la dieta (0, 10 y 20%), no encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la producción de leche de las vacas para el tratamiento control y 10% de inclusión de papel, el tratamiento con 20% inclusión de papel, presentó diferencias significativas (p

<0,05) con una caída dramática en la producción asociada a la disminución en el consumo de este tratamiento (9 kg menos respecto al control).

. Valk *et al*., (1990) citado por Bargo *et al*., (2003), mencionan que la producción de leche disminuye ligeramente (-0,46 kg/d) cuando los suplementos fibrosos reemplazan a aquellos con altos contenidos de almidón, existiendo un gran rango de variabilidad (-2,6 a 1,3 kg/d), además, de una reducción en el contenido de proteína en la leche (-0,06 unidades porcentuales). Sin embargo, Meijs (1986), reporta un incremento en la producción de leche, cuando los concentrados a base de fibra reemplazaron a los concentrados a base de almidón en un estudio en pastoreo.

En este estudio, la producción de litros de leche/kg de MS consumida, fue en promedio de 1,04 y 1,18 litros, para el grupo con adición de SIP y grupo control respectivamente para los 2 periodos (Tabla 3-6 y 3-7). Cabe resaltar que, en el presente estudio, el concentrado que se ofreció en la tarde (antes del ordeño de la tarde) tenía mas características fibrosas que amiláceas, con baja calidad nutricional, siendo inferior a la calidad del forraje usado en este estudio (Tabla 3-2 y 3-3).

Los valores en producción de leche respecto al consumo de MS encontrados, son inferiores a los reportados por Delahoy *et al*., (2003), cuando evaluaron dos suplementos, uno en base a almidón (maíz) y otro a base de fibra altamente digestible (pulpa de remolacha, cascarilla de soya y salvado de trigo) suministrando 8,2 kg de suplemento/animal/día), en vacas en lactancia media y en pastoreo de praderas de mediana calidad (>50% FDN). Estos autores no encontraron diferencias entre los suplementos y el consumo de MS y producción de leche, encontrando producciones de 1,34 litros de leche/kg de MS consumida.

Autores como (Reis y Combs, 2002; y Soriano *et al*., 2002); citados por Bargo *et al.*, (2002), reportan estudios en los cuales se utilizaron vacas de altas producciones en sistemas de pastoreo, suplementadas con 8 a 9 kg/d de concentrados basados en grano de maíz, en las cuales los consumos de MS total fueron de 22 kg/animal/d y una producción de leche de 30 kg/d (relación 1,36 litros de leche/kg de MS consumida). Según Bargo *et al*., (2003) mencionan que, se puede esperar una mayor respuesta a la suplementación en vacas con alto mérito genético, porque dividen más nutrientes para la producción de leche y pierden más peso vivo en la lactancia temprana, que las vacas con bajo mérito genético. Además, la etapa de la lactancia también influye en las respuestas en producción de leche a los

suplementos concentrados, ya que en la lactancia temprana las vacas dirigen más nutrientes hacia la producción de leche, mientras que, en la lactancia tardía se direccionan más nutrientes a la recuperación de peso vivo.

3.4.3 Calidad de la leche

Sutton (1989), menciona, que la concentración de grasa en la leche es la más sensible a las influencias de la dieta, fue el primer componente ampliamente utilizado como base para variar el precio unitario de la leche y puede cambiarse en un rango más amplio de los tres sólidos principales, alrededor de 3 unidades porcentuales por medios nutricionales, y las proteínas en un rango mucho más pequeño de un poco más de una quinta parte y la lactosa en absoluto. Una disminución en la grasa láctea se da por la alteración en la producción de acetato y butirato a nivel ruminal como precursores para la síntesis de grasa (Calvache y Navas 2012).

El porcentaje de grasa en la leche, en este estudio no presentó diferencias significativas debido a los tratamientos ($p > 0,05$) y son similares a los reportados por Mertens *et al.,* (1971) quien encontró valores de 2,6, 3,1 y 3,4% para la dieta control, 10% y 20% de inclusión de papel en la dieta de vacas lecheras. Los tratamientos con papel utilizados por estos investigadores tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el porcentaje de grasa de la leche con una respuesta lineal directa. Al incrementar de 0 a 10% la inclusión de papel en la dieta, la grasa en la leche se incrementó en 0,5% y cuando se pasó del 10 al 20% de inclusión de papel en la ración el incremento fue de 0,3%. Al determinar el valor de leche corregida por grasa (4%), estos autores no encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) para los tratamientos, equilibrando la disminución real en la producción por el aumento de grasa con la inclusión de papel en la dieta.

Mertens *et al.,* (1971) también reportan, una relación lineal directa entre el acetato de rumen y el nivel de inclusión de papel en la dieta. Los tratamientos con papel dieron como resultado ácidos grasos volátiles totales más altos en el rumen y un menor pH que fueron en gran parte resultado del aumento del acetato. Estos cambios ruminales se asociaron con aumentos en los porcentajes de grasa de la leche.

Otros autores como Millet *et al.* (1973), reportaron un decrecimiento en los niveles de amonio ruminal y una tendencia al incremento en las concentraciones de AGVs en el rúmen. Sn embargo, los porcentajes molares de acetato y propionato en el rumen no

presentaron diferencias significativas, con el aumento de los niveles de pulpa de papel en la ración de novillos; aunque, hubo una tendencia al incremento del propionato.

Dinius y Bond (1975), también encontraron una mayor concentración de AGVs en el fluido ruminal de novillos alimentados con residuos de pulpa de papel respecto a novillos alimentados con heno. Los animales alimentados con los residuos de pulpa de papel presentaban un menor porcentaje de acetato y un mayor porcentaje de propionato.

Por otra parte, la proporción de forraje: concentrado que se manejó en este estudio (60:40) tendría influencia sobre el porcentaje de grasa en la leche, ya que autores como Whitlock *et al*., (2003) y Mendoza (2011), mencionan que las variaciones en la oferta o consumo de forraje no presentan ninguna asociación con el contenido de grasa en la leche. Sin embargo, la proporción de forraje consumido en relación al concentrado en las dietas tuvo un efecto directo en el contenido de grasa en la leche.

Otro factor a tener en cuenta sobre en la concentración de grasa en la leche, es el tiempo de lactancia, Zaragoza *et al*., (1998) encontraron que, la concentración de grasa en leche desciende durante las primeras semanas de lactación, y luego crece linealmente hasta el final. No depende del número de lactancias y es superior en aquellas vacas que están entre 211 días y el secado.

En cuanto al porcentaje de proteína en la leche, de acuerdo a DePeters y Cant (1992), la concentración de proteína en leche es un parámetro poco sensible a las variables nutricionales, respecto al resto de las variables de la explotación.

En este estudio no se encontraron diferencias para el porcentaje de proteína en la leche debido a los tratamientos evaluados ($p > 0,05$). Los descensos en los porcentajes de grasa y de proteína en la leche que se presentaron en este estudio, tanto en el tratamiento control como la inclusión de los SIP, coinciden con los incrementos en la producción de leche durante el tiempo evaluado. Su disminución se puede relacionar con un efecto de dilución de estas fracciones en el volumen de producción de leche.

Mertens *et al*., (1971), no encontraron diferencias significativas, en el porcentaje de proteína de la leche y el porcentaje de sólidos no grasos, entre una dieta control y dos niveles de inclusión de papel en la dieta (10 y 20%). Mientras, que el porcentaje de sólidos totales fue mayor ($p < 0.05$) para el tratamiento con 20% de inclusión de papel en la dieta,

este efecto del tratamiento en los sólidos totales puede explicarse por el aumento del porcentaje de grasa en la leche cuando se aumentó el papel.

Zaragoza *et al*., (1998) mencionan que la semana de lactancia puede afectar la concentración de proteína en leche, la cual desciende durante las primeras semanas de lactación, y luego crece linealmente hasta el final. En cuanto al número de lactancias, reportaron, que no afecta la concentración de proteína, si bien las vacas con cinco o más lactancias tienen en general una tasa menor.

3.4.4 Peso corporal y condición corporal

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) debido a los tratamientos cuando se evaluó la condición corporal de los animales, sin embargo, si se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el peso corporal de debido a los tratamientos, ya que en los dos periodos los animales del grupo SIP presentaron pérdida de peso (-6 y -4 kg promedio para el periodo 1 y 2 respectivamente) y los animales del grupo control perdieron peso durante el primer periodo en el segundo periodo tuvieron ganancias de peso (-5 y 9 kg para el 1 y 2 periodo respectivamente). La pérdida de peso de los animales durante el primer periodo se puede asociar a la baja oferta de forraje (3,3 kg de MS/100 kg de PV) y la calidad del forraje ofrecido a los animales durante este periodo (digestibilidad y PC).
Remmpis *et al.,* (2011), describen que el sistema de calificación de la condición corporal, es un método útil para evaluar las reservas de energía corporal y se usa ampliamente para evaluar el estado nutricional en vacas lecheras. El puntaje de la condición corporal representa una evaluación subjetiva de las reservas de tejido y nutricional estado de vacas secas y lactantes.

Tedeschi *et al*., (2006) mencionan que, los cambios en el peso corporal de los animales reflejan el uso de reservas de energía para complementar las deficiencias de la ración durante la lactancia temprana o como forma de almacenamiento de la energía consumida cuando está por encima de los requerimientos del animal. Sin embargo, Andrew *et al.* (1994) analizaron datos de sacrificio de vacas lecheras y encontraron hasta un 40% de variación en la energía sin un cambio en el peso vivo. Estos autores, al desarrollar sus modelos para ajustar los cambios en la condición corporal a la producción de leche en vacas, exponen que, para vacas lactantes adultas un cambio en el peso corporal no Indica necesariamente cambios en las reservas de tejidos o viceversa. Por lo tanto, los cambios

en la condición corporal se utilizan para calcular los cambios en el tejido como una función de peso vivo vacío.

Komaragiri y Erdman (1997), mencionan que el llenado intestinal puede variar de 2,5 a 4 kg por cada kg de aumento en el consumo de MS, lo que puede compensar la pérdida de peso atribuible a la movilización tisular por un aumento de consumo de MS.

Otto *et al*., (1991), encontraron que cada cambio en una unidad de condición corporal en vacas Holstein, estaba asociado con un cambio de 56 kg en peso vivo. Tedeschi *et al*., (2006) asumieron una carga intestinal de 15% del peso vivo para convertirlo en peso vivo vacío y tomaron como valor de cambio de una unidad de la condición corporal a peso vivo vacío de 47,7 kg y Fox *et al.* (1999), indicaron que el cambio medio de peso vivo asociado con un cambio en una unidad de condición corporal (escala 1 - 5), equivale 84,6 kg de peso vivo.

Chigaru y Topps (1981), citados por Wrigth y Russel (1984), calcularon que cada kilogramo de pérdida de peso en vacas lactando contiene 615 g de grasa, 280 g de agua, 83 g de proteína y 27 MJ energía, el ARC (1980) suegiere valores de 26 MJ/kg y 150 g/kg de cambio de peso en vacas adultas. En el modelo descrito por Fox *et al*. (1999) en el NRC, estos autores predicen, 5,47 Mcal y 68 g de proteína por cada kilogramo de pérdida de peso vivo, cuando los animales cambian de condición corporal de 3 a 2 (escala 1-5). De acuerdo a estos autores, la cantidad de energía por kilogramo de peso vivo perdído, varía acorde a la condición corporal de los animales, encontrando rangos de 4,36 a 7,59 Mcal/kg en condiciónes corporales de 1,5 y 4,5 respectivamente (escala 1-5).

Tamminga *et al*. (1997), investigaron la cantidad, el valor energético y la composición del tejido corporal movilizado en vacas lecheras, encontrando que, la movilización de tejido fue más alta en la primera semana después del parto y disminuyó durante el progreso de la lactancia. Además, la movilización de proteínas disminuyó rápidamente y la movilización de grasa más lentamente, lo que resultó en un aumento de la proporción de grasa a proteína dentro del tejido movilizado. Para la proteína, la movilización cambió a retención en la semana 5, mientras que la movilización de grasa aún continuó. Los cálculos de estos autores mostraron que, las vacas pueden producir entre 120 y 550 kg de leche a partir de reservas corporales sobre la base de energía. La movilización máxima en 8 semanas ascendió a 41,6 kg de peso corporal vacío, 30,9 kg de grasa y 4,6 kg proteína. En términos de cantidad y composición (grasa corporal, proteína, agua), la movilización varía

considerablemente entre vacas individuales. Por lo tanto, los factores de alimentación y animales deben examinarse cuando se debe predecir la movilización de vacas individuales.

Remppis *et al*., (2011), mencionan trabajos realizados por Johnson (1984), donde alimentaron vacas frisonas británicas adultas, en un nivel de energía moderado durante 20 semanas después del parto, encontrando que, las vacas no pudieron compensar el déficit de energía alimentaria y produjeron aproximadamente 450 kg de leche a partir de las reservas de energía del cuerpo.

En algunos trabajos cuando se incorporaron residuos lignocelulósicos en la dieta de rumiantes, autores como Combe y Briggs (1970), encontraron que utilizar altos niveles de inclusión de papel en la dieta de rumiantes (84%), puede generar un balance negativo de nitrógeno qué incidió en la pérdida de peso en los animales.mientras que, Mertens *et al*., (1971), no encontraron diferencias significativas (p >0,05) para el cambio de peso vivo en vacas lactando, encontrando cambios de peso vivo de +24,1 kg, +18,3 kg para tratamiento control y 10% de inclusión de papel en la ración respectivamente. Sin embargo, la inclusión de 20% de papel en la dieta tuvo un cambio de peso vivo en los animales de -5.3 kg; con este nivel de inclusión de papel en la dieta se tuvo aproximadamente un 40% menos de consumo.

Otros autores como Daniels *et al*. (1970) reportaron, que a bajos niveles de inclusión de residuos lignocelulósicos como papel, no afectaron el peso vivo de los animales alimentados con este tipo de productos, ellos indicaron que el periódico molido puede remplazar al menos el 12% de la dieta de novillos en crecimiento sin afectar la eficiencia del alimento, la calidad de la canal, la ganancia de peso y calidad de la carne.

Dinius y Oltjen (1971) citados por Bakker, (1992), reportaron que, el aumento de peso promedio de novillos no se vio afectado significativamente (p >0,05) por la adición de 8% de papel periódico en una ración, comparado con un grupo control. Cuando se incrementó la inclusión de papel periódico en la ración de 16 a 24% los novillos no ganaron peso; mientras que, Sherrod y Hansen (1973), compararon papel periódico como fuente de fibra con heno de pasto Sudán, encontrando que las ganancias promedio diarias de peso fueron comparables para novillas alimentadas con el control (heno sudan) y las novillas alimentadas con el 3,3% de la ración de papel periódico.

Por otra parte, autores como Dinius y Bond (1975), incluyeron altos niveles de residuos lignocelulósicos (75% de residuos finos de pulpa de papel), en la dieta de novillas gestando, y no encontraron diferencias significativas (p >0.05) en la ganancia de peso (0,24 kg/animal/día) y peso al nacimiento de los terneros respecto a la dieta control con heno. En otro ensayo, estos autores incorporaron 50% de residuos finos de pulpa de papel en la dieta de novillos, donde obtuvieron mayores ganancias de peso (0,74 y 0,47 kg/día para dieta con pulpa y control respectivamente) y un mayor consumo de MS como % del peso vivo (3,21 y 2,81% para la dieta con pulpa y control respectivamente).

3.5 Conclusiones

Los consumos de MS del forraje, MS digestible y MS total de los tratamientos evaluados, no se vieron afectados por la inclusión del 10% de los SIP, lo que indicaría que este subproducto de la fabricación de papel, se pueden integrar a la dieta no solamente en las épocas de baja disponibilidad de MS forrajera, si no en cualquier época del año.

La producción de leche y la LCE, no presentaron diferencias significativas (p >0,05) debido a los tratamientos. No obstante, se evidenció un efecto de residual del tratamiento sobre estas variables que indicaría que el tiempo en el cual se tomaron las muestras luego del cambio de tratamiento no fueron suficientes para eliminar este efecto.

Las características de calidad de la leche (proteína, grasa y sólidos totales) no se vieron influenciadas por la inclusión del 10% de los SIP.

Las vacas alimentadas con los SIP, no evidenciaron cambios en la condición corporal de a través del estudio. Sin embargo, el grupo de animales con el tratamiento de SIP presentaron, pérdidas de peso en los dos periodos de evaluación (promedio de -6 y -4 kg), posiblemente por una movilización de tejidos para mantener los niveles de producción de leche.

3.6 Referencias bibliográficas

ARC 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Búreaux. Slough, England.

ALLEN, M. 1996. Relationship between forage quality and dairy cattle production. Animal Feed Science and Technology. 59(1-3): 51-60.

ANDREW, S., WALDO, D. AND ERDMAN, R. 1994. Direct analysis of body composition of dairy cows at three physiological stages. J. Dairy Sci. 77: 3022-3033.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 2006a. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18 ed. Chapter 33: Dairy Products. USA: BRADELY RL. 87 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 2006b. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18 ed. Chapter 4: Animal Feed. USA: WENDT THIEX NJ. 72 p.

AVELLANAL, P Y MACHADO, J. 2016. Consumo de nutrientes digestibles totales y digestibilidad aparente *In vivo* en vaquillonas suplementadas con grano de maíz a diferentes frecuencias diarias. Tesis de grado de Doctor en Ciencias Veterinarias Orientación: Producción Animal. Universidad de la República. Facultad de Veterinaria. Montevideo. Uruguay.

BAKKER, M. 1992. Alternative uses for waste newspaper: an investigation into the economic viability of options for reprocessing newspaper in Tasmania in 1991. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for a Masters in Environmental Studies. The Centre for Environmental Studies, University of Tasmania.

BARGO F., MULLER L., DELAHOY J. AND CASSIDY T. 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. J. Dairy Sci. 85: 2948-2963.

BARGO, F., MULLER, KOLVER, E., DELAHOY J. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. J Dairy Sci. 86: 1-42.

BILAWCHUK, M. 1989. Evaluating Kraft pulp mill fiber wastes as feedstuffs for beef cattle. A Thesis submitted in a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. The Faculty of Graduate Studies Department of Animal Science. The University of British Columbia. Canadá.

CALVACHE, I. Y NAVAS, A. 2012. Factores que influyen en la composición nutricional de la leche. Rev. Cienc. Anim. 5: 73-85.

CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca). 2006. Diagnóstico prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica de los Ríos Ubaté y Suarez. Informe General. Santafé de Bogotá. p. 289.

CEPI (CONFEDERATION OF EUROPEAN PAPER INDUSTRIES). 2011. Maximum value from paper for recycling, towards a multi-product paper mill. (Fecha de consulta 16 de noviembre de 2016) Recuperado de:

www.paperforrecycling.eu/uploads/Modules/.../REC-054-10final.pdf

CHILIBROSTE, P. 1998. Fuentes comunes de error en la alimentación del ganado lechero: I Predicción del consumo. Conferencia: XXVI Jornadas Uruguayas de Buiatría, At Centro Médico Veterinario Paysandú. 1: 1-7.

CLARKE, S. and DYER, I. 1972. Chemically degraded wood in finishing beef cattle rations. J. Animal. Sci. 37:1022-1026.

COOMBE, J. AND BRIGGS, A. 1974 Use of waste paper as a feedstuff for ruminants. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry.14: 292-301.

CORREA, H. 2011. Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteico y el contenido de proteína en la leche. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Producción Animal. Facultad de Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia.

CROY, D. AND RODE, L. 1988. Nutritive value of pulp mill fiber waste for ruminants. Can. J. Anim. Sci. 68: 461-470.

DANIELS, L., CAMPBELL, J. MARTZ, F AND HEDRICK, H. 1970. An evaluation of newspaper as feed for ruminants. Journal of Animal Science. 30(4): 593-596.

DELABY, L., PEYRAUD, J., AND DELAGARDE, R. 2001. Effect of the level of concentrate supplementation, herbage allowance and milk yield at turn-out on the performance of dairy cows in mid lactation at grazing. Animal Science. 73(1): 171–181.

DELAHOY, J., MULLER, L., BARGO, F.; CASSIDY, T. AND HOLDEN, L. 2003. Supplemental carbohydrate sources for lactating dairy cows on pasture. J. Dairy Sci. 86: 906-915.

DEPETERS, J. AND CANT, P. 1992. Nutritional factors influencing the nitrogen composition of bovine milk: A review. J. Dairy Sci. 75: 2043-2070.

DINIUS, D. AND BOND, J. 1975. Digestibility, ruminal parameters and growth by cattle fed a waste wood pulp. Journal of Animal Science. 41(2): 629-634.

FERGUSON, J., GALLIGAN, D. AND THOMSEN, N. 1994. PrinSIPal descriptors of body condition score in holstein cows. J. Dairy Sci. 77: 2695-2703.

FOX, D., VAN AMBURGH, M., AND TYLUTKI, T. 1999. Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. J. Dairy Sci. 82:1968–1977.

GONZÁLEZ J, JIMÉNEZ C, MÉNDEZ J, ORTIZ L, RUIZ A, VARGAS A. 1997. Levantamiento edafológico del centro Agropecuario Marengo, Bogotá, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia., p. 1-64.

HUTJENS, M. 2010. Benchmarking your feed efficiency, feed cost, and income over feed cost. WCDS Advances in dairy technology. 22: 3-10.

JONES, B. AND KENWARD, G. 2003. Design and Analysis of Cross- Over Trials. Second Edition. Chapman y Hall/CRC. New York, Washington, D.C.

KAPS, M. AND LAMBERSON, W. 2004. Biostatistics for animals Science. CABI Publishing. UK.

KOMARAGIRI, M. AND ERDMAN, R. 1997. Factors affecting body tissue mobilization in early lactation dairy cows. 1. Effect of dietary protein on mobilization of body fat and protein. J Dairy Sci 80:929–937.

LIPPKE, H. 2002. Estimation of forage intake by ruminants on pasture. Crop Sci 42:869-872.

MEIJS, J. 1986. Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 2. Effect of concentrate composition on herbage intake and milk production. Grass and Forage Science. 41:229-235.

MENDOZA, C. 2011. Efecto de la variación diaria en la oferta forrajera sobre el volumen y composición de la leche en explotaciones de la sabana de Bogotá. Tesis Magister en Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Departamento de producción animal. Universidad Nacional de Colombia.

MERTENS, D., CAMPBELL, J. AND MARTZ, A. 1971. Lactational and Ruminal Response of Dairy Cows to Ten and Twenty Percent Dietary Newspaper. Journal of Dairy Science. 54(5): 667-672.

MILLETT, A., BAKER, J., SATTER, D., MCGOVERN, N., AND DINIUS, A. 1973. Pulp and papermaking residues as feedstuffs for ruminants. Journal of Animal Science. 37(2): 599-607.

MONTE, M., FUENTE, E. BLANCO, A. AND NEGRO, C. (2009) Waste management from pulp and paper production in the European Union. Waste Manag. 29(1): 293–308.

OTTO, K., FERGUSON, J. FOX, D. AND SNIFFEN, C. 1991. Relationship between body condition score and composition of ninth to eleventh rib tissue in holstein dairy cows. J Dairy Sci. 74: 852-859

PRASAD, C., SAMPATH, K., SHIVARAMAIAH, M. AND WALLI, T. 1991. Dry matter intake, digestibility and suplementation of slender and coarse straws. A review. In: Feeding of ruminants on fibrous crop residues. Edited by Singh, K. and Schiere, J. Proceedings of an international workshop Held at the National Dairy Research Institute, Karnal (Haryana-India) P.188-203.

PULIDO, R. AND LEAVER, J. 2001. Quantifying the influence of sward height, concentrate level, and initial milk yield on the milk production and grazing behaviour of continuously stocked dairy cows. Grass Forr Sci. 56: 57-67.

REMPPIS, S., STEINGASS, H., GRUBER, L., AND SCHENKEL, H. 2011. Effects of energy intake on performance, mobilization and retention of body tissue, and metabolic parameters in dairy cows with special regard to effects of pre-partum nutrition on lactation. A review. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 24(4):540-572

RIQUELME, I., DYER, L. BARIBO, L. AND COUCH B. 1975. Wood Cellulose as an energy source in lamb fattening rations. Journal of Animal Science. 40(5): 977-981.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA DE CUNDINAMARCA. 2018. Evaluaciones Agropecuarias 2016 - Departamento de Cundinamarca. Estadísticas de actividades pecuarias. (Fecha de consulta 17 septiembre de 2018) Recuperado de: http://www.cundinamarca.gov.co/wps/portal/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeagricultura/Secagriculturadespliegue/asdocumentacion_contenidos/csecreagri_centrodoc_documentos

SHERROD, L. AND HANSEN, K. 1973. Newspaper levels as roughage in ruminant rations. Journal of Animal Science. 36(3): 592-596.

STOKES, S. 2002. The importance of forage quality for milk production and health. Advances in Dairy Technology.14: 207-2015.

SUNVOLD, G. AND COCHRAN R. 1991. Technical note: evaluation of acid detergent lignin, alkaline peroxide lignin, acid insoluble ash, and indigestible acid detergent fiber as internal markers for prediction of alfalfa, bromegrass, and prairie hay digestibility by beef steers. J Anim Sci. 69:4951-4955.

SUTTON, D. 1989. Altering milk composition by feeding. Journal of Dairy Science. 72(10): 2801-2814.

TAMMINGA, S., LUTEIJN, P., AND MEIJER, R. 1997. Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. Livestock Production Science. 52: 31-38.

TEDESCHI, L., SEO, S., FOX, D. AND RUIZ, R. 2006. Accounting for energy and protein reserve changes in predicting diet allowable milk production in cattle. J. Dairy Sci. 89:4795–4807.

TEUBER, N. Y BALOCCHI, D. 2003. Balance alimenticio con los recursos del sur. En Seminario: Hagamos de la lechería un mejor negocio. Series ACTAS INIA No. 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigaciones. Remehue.

VARJÃO, L. 2015. Aditivo palatabilizante e aglomerante elaborado com vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC) para alimentação animal. Tese de Doutor em Zootecnia, ao Programa de graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

WRIGHT, I. AND RUSSEL, A. 1984. The composition and energy content of empty body weight change in mature cattle. Anim. Prod. 39: 365 -369.

WHITLOCK, L., SCHINGOETHE D., HIPPEN A., KALSCHEUR, K. AND ABU GHAZALEH A. 2003 Milk production and composition from cows feed high oil or conventional corn at two forage concentrations. J Dairy Sci 2003; 86: 2428–2437.

ZARAGOZA, C., SEGUI, A. SANZ, E. 1998. Relaciones entre la producción y el contenido de proteína con los factores de la producción de leche. Trabajo de investigación final de carrera. Escola Técnica Superior d'Enginyeria Agrària, UdL, Lleida.

4. Discusión general, conclusiones y recomendaciones

4.1 Discusión general

Por las características climáticas de la región (Provincia de Ubaté) en la cual se presenta un balance hídrico negativo durante 8 meses del año, el cuál se acentúa cuando se presentan anormalidades climáticas (fenómeno del niño), la baja producción de biomasa forrajera es un problema que enfrentan los ganaderos de esta zona, por lo cual el uso de los SIP se convierte en una alternativa para ayudar a suplir en cierta medida la falta de materia seca a suministrar a los animales.

Los SIP (subproductos de la industria del papel), se generan en la producción de fibra reciclada y están constituidos por fibras cortas de celulosa y un alto contenido de cenizas. Estos subproductos pueden ser un potencial contaminante ambiental, por su disposición o porque gran parte de estos subproductos, son a menudo eliminados mediante la combustión. Aunque, no se encontraron referencias en la literatura sobre el uso de este mismo tipo de subproducto en la alimentación animal, otros productos lignocelulósicos provenientes de la industria de papel (papel y pulpas), han sido evaluados en la alimentación de rumiantes, evaluando diferentes niveles de inclusión y determinando sus consumos, digestibilidades y sus respuestas en los parámetros productivos de los animales como ganancia de peso y producción de leche. Algunos de estos estudios

revelan que estos materiales tienen una baja calidad nutricional y palatabilidad, que pueden limitar su nivel de inclusión en la dieta.

Debido a la falta de información sobre las características nutricionales de los SIP para ser usados en la alimentación de rumiantes, se realizó un análisis inicial de su calidad nutricional, donde se encontró que, al igual que otros materiales como papel y pulpas usados en trabajos con rumiantes, los SIP contienen bajos niveles de Nitrógeno, valores medios de digestibilidad de la materia seca (*In vitro* e *In situ*), altos niveles de FDN y FDA y algunos minerales como Ca, Mg, Cu, Zn y Fe que se pueden tener en cuenta al utilizar este producto en las dietas para rumiantes.

Debido a la baja calidad nutricional de los SIP, se realizó un tratamiento de amonificación con úrea (al 4% de la MS), sin embargo, este tratamiento no mejoró la calidad nutricional de los SIP, en especial la digestibilidad, ya que estudios realizados con este tipo de tratamiento en materiales lignocelulósicos, incrementó la *DIVMS* (de 3 a 9 unidades porcentuales), la PC y disminuyeron los contenidos de FDN y FDA de los materiales tratados. Dado los resultados obtenidos en este ensayo, los SIP se utilizaron sin la amonificación en los otros experimentos de esta investigación.

Mediante el análisis de composición química y de digestibilidad de diferentes muestras de producción, se pudo establecer que los SIP generados en la planta de producción de papel, son homogéneos en su composición química, digestibilidad y composición mineral. La digestibilidad resulta similar a papeles de buena calidad y mayor a los valores reportados para residuos de pulpas de la fabricación de papel, usados en algunos estudios de alimentación animal (Combe y Briggs, 1974; Moss *et al*., 1990). Los bajos niveles de lignina encontrados indican que esta ha sido removida durante el proceso de fabricación, ya que en pulpas de papel los valores son muy elevados. La fibra contenida en los SIP es en su gran mayoría celulosa, dada la cercanía entre los valores de FDN y FDA determinados en las muestras.

Los SIP contienen altos niveles de cenizas y dentro de estas, el Ca, Zn, Fe y Cu se encuentran en niveles elevados cuando se comparan con los contenidos para estos minerales en forrajes como Raigrás o Kikuyo. Sin embargo, los altos niveles de Cu encontrados en los SIP, generan un límite en los niveles de inclusión en las raciones de los rumiantes, ya que este mineral puede generar un problema de intoxicación, en especial en las dietas para ovinos los cuales son muy suceptibles a altos niveles de consumo de

Cu en la dieta. La digestibilidad "*In situ*" de la MS y FDA realizada a la muestra de SIP evidenció una rápida desaparición de estas fracciones durante las primeras 24 horas de incubación ruminal, con un menor incremento en su porcentaje de degradación hasta las 48 horas. Este porcentaje de degradación *In situ* de la MS de los SIP, es superior a valores reportados para algunas pulpas de papel (Moss *et al*., 1990) y similares a algunos residuos de cosecha como el maíz (Elizondo, 1988).

Uno de los puntos que se ha descrito, en el uso de materiales provenientes de la industria del papel, es su baja palatabilidad, por lo cual se realizó una prueba de aceptabilidad de los SIP por medio de la medición de consumo, con la inclusión de glicerol y melaza como productos palatabilizantes y concentrado comercial como una forma de suministro. Cuando se ofrecieron el 10% de los SIP sin palatabilizantes como parte de la ración, su consumo fue muy bajo, confirmando que estos productos no son palatables cuando se ofrecen como tal, sin embargo, el consumo se incrementó cuando se utilizó el glicerol y melaza como palatabilizantes (20% de los SIP). Sin embargo, cuando se suministraron los SIP mezclados con concentrado comercial y los palatabilizantes su consumo se incrementó, en especial con el uso de melaza, siendo el concentrado y la melaza, dos productos de uso frecuente en los ganaderos de la región.

En virtud de los resultados obtenidos en la prueba de aceptabilidad, se eligió el tratamiento en el cuál los SIP se ofrecen mezclados con melaza y con el suplemento comercial. La inclusión del 10% de los SIP en la dieta de las vacas lecheras, no afectó el CMS del forraje, CMS total y MS digestible, posiblemente por un efecto asociativo del suplemento sobre la digestibilidad de los forrajes en especial si estos son de baja calidad. De acuerdo con algunos reportes donde se incluyeron residuos lignocelulósicos como papel, niveles de inclusión de estos materiales (20%), superiores a los evaluados en este trabajo, afectan el consumo y en niveles muy altos (> al 80% de la dieta) se genera un rechazo por los animales. Respecto a la producción de leche y LCE, el tratamiento con los SIP no tuvo efecto sobre estas variables, sin embargo, se encontró un efecto residual del tratamiento para el segundo periodo, que indicaría que el tiempo que se dejó para la estabilización de la microbiota ruminal no fue el suficiente, pese a esto, los análisis estadísticos indican, que el tratamiento con los SIP en el tiempo, tiende a incrementar la producción de leche. Algunos autores reportan que, con inclusiones de residuos lignocelulósicos (papel) en la

dieta, similares a los usuados en este trabajo, la producción de leche no se afectó, pero a mayores niveles de inclusión, la producción de leche se disminuye significativamente, relacionada con el consumo el cual tiende a deprimirse con mayores niveles de inclusión de estos materiales en la dieta (Mertens *et al*. 1971). La calidad de la leche, tampoco se vio afectada por la inclusión del 10% de los SIP en la dieta, al igual que la condición corporal de los animales. Sin embargo, el peso vivo de los animales estuvo influenciado por los tratamientos, perdiendo peso los animales que recibieron los SIP en la dieta, indicando que estos tuvieron que movilizar reservas corporales para mantener la producción de leche.

4.2 Conclusiones

El tratamiento de amonificación con úrea no mejoró las características asociadas a calidad de los SIP principalmente la digestibilidad.

Aunque los SIP tienen una baja aceptación por los animales cuando son suministrados como tal, su consumo se incrementa con la inclusión de productos palatabilizantes como glicerol o melaza. Sin embargo, suministrarlo mezclado con un suplemento comercial y melaza, presentó los mayores consumos por los animales. Estos resultados indicarían, que los SIP con el uso de palatabilizantes, se pueden ofrecer a los animales en explotaciones ganaderas que suministren o no alimentos concentrados y lograr su consumo por los animales.

Los SIP generados en diferentes lotes de producción por la empresa productora de papel, tienen una composición química homogénea, que avalaría su estabilidad composicional para ser incorporados en una dieta para rumiantes. Estos subproductos, además de ser una alternativa de suministro de MS (fibra) para los rumiantes, también contienen una serie de minerales que pueden ser tenidos en cuenta para ser utilizados por los animales.

Por sus características de rápida degradabilidad durante las primeras 24 horas de incubación ruminal, estos productos no afectarían la cinética ruminal de otros componentes de la dieta.

La inclusión de los SIP en 10% de la ración, no afectó el consumo de forraje, ni el consumo total de MS de la dieta por los animales.

La producción de leche y su calidad (grasa, proteína y sólidos totales). no se vio afectada por la inclusión del 10% de los SIP en la ración de las vacas en producción.

Las vacas alimentadas con los SIP, no evidenciaron cambios en su condición corporal, sin embargo, el peso vivo de los animales registró pérdidas durante los dos periodos de evaluación, posiblemente por una movilización de tejidos para mantener los niveles de producción.

La incorporación de los SIP en la dieta de rumiantes, se convierte en una alternativa para incrementar la biomasa alimenticia de los animales, especialmente en las épocas de baja oferta forrajera, ya que es un producto disponible permanentemente, además se contribuye a un aprovechamiento de un producto que actualmente es contaminante del ambiente.

4.3 Recomendaciones

- Para futuros estudios, prolongar los periodos de adaptación a los tratamientos en ensayos *in vivo* que permitan evitar los efectos residuales sobre los parámetros productivos evaluados.

- Se sugiere investigar diferentes niveles de inclusión de los SIP dentro de la dieta; Además, otras formas de suministrar este tipo de producto (SIP) a los animales, como los ensilajes, en los cuales también serviría como fuente de MS cuando el material a ensilar no cumpla con este parámetro.

- Por el contenido de minerales que presentan los SIP, se sugiere formular una sal mineralizada específica para los animales que estén recibiendo este producto.

- Los altos niveles de Cu que se encuentran en los SIP, pueden generar restricciones en su nivel de inclusión en dietas de especies como los ovinos, que son poco tolerantes a altos niveles de este mineral.

- El uso de melaza o glicerol, como palatabilizantes para incrementar el consumo de los SIP, estaría sujeto al precio del mercado, ya que ambos presentaron buenos

resultados en los ensayos de aceptación por consumo de los animales, cuando no se utilizó el suplemento comercial dentro del tratamiento.

- Es importante dar a conocer tanto a las empresas generadoras de este tipo de productos (SIP) como a los productores pecuarios, el uso de los SIP como alternativa para la alimentación animal, ya que es un recurso viable y rentable para los pequeños y hasta grandes productores, dado el compromiso de la empresa Productos Familia S.A de suministrar el producto a los ganaderos que lo requieran.

- La metodología empleada para la evaluación de los SIP en este trabajo, puede ser recomendada como referencia, para futuras evaluaciones de materiales no tradicionales con potencial de ser incorporados en la dieta de rumiantes.

5. Anexos.

5.1 Anexo 1. Análisis estadístico variables evaluadas capítulo 2.

Grupo 1. SIP + Melaza o Glicerol (con transformación de variable con logaritmo para normalidad) (SAS)

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
cuadrado	2	1 2
periodo	3	1 2 3
vaca	6	1 2 3 4 5 6
tratamiento	3	T1 T2 T3

Número de observaciones 18

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: consumo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	2278378.333	207125.303	4.00	0.0508
Error	6	310711.444	51785.241		
Total correcto	17	2589089.778			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	consumo Media
0.879992	69.14495	227.5637	329.1111

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
cuadrado	1	284258.0000	284258.0000	5.49	0.0576
vaca(cuadrado)	4	725405.1111	181351.2778	3.50	0.0836
periodo(cuadrado)	4	429587.7778	107396.9444	2.07	0.2026
tratamiento	2	839127.4444	419563.7222	8.10	0.0197

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
cuadrado	1	284258.0000	284258.0000	5.49	0.0576
vaca(cuadrado)	4	725405.1111	181351.2778	3.50	0.0836
periodo(cuadrado)	4	429587.7778	107396.9444	2.07	0.2026
tratamiento	2	839127.4444	419563.7222	8.10	0.0197

Variable dependiente: lconsumo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	11	40.83258546	3.71205322	5.03	0.0298
Error	6	4.42731625	0.73788604		
Total correcto	17	45.25990171			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	lconsumo Media
0.902180	17.68576	0.859003	4.857032

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
cuadrado	1	1.39657400	1.39657400	1.89	0.2180
vaca(cuadrado)	4	6.48932262	1.62233066	2.20	0.1857
periodo(cuadrado)	4	2.63397483	0.65849371	0.89	0.5223
tratamiento	2	30.31271401	15.15635701	20.54	0.0021

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
cuadrado	1	1.39657400	1.39657400	1.89	0.2180
vaca(cuadrado)	4	6.48932262	1.62233066	2.20	0.1857
periodo(cuadrado)	4	2.63397483	0.65849371	0.89	0.5223
tratamiento	2	30.31271401	15.15635701	20.54	0.0021

Procedimiento GLM

Observación	Observado	Predichos	Residual
1	3.87298335	2.49029427	1.38268908
2	7.28010989	12.89509836	-5.61498847
3	22.18107301	17.94877362	4.23229939

4	17.60681686	19.16840209	-1.56158523
5	11.83215957	10.28518736	1.54697220
6	4.47213595	4.45752293	0.01461303
7	19.74841766	19.56952151	0.17889615
8	3.87298335	-0.19503292	4.06801627
9	19.89974874	24.14666116	-4.24691242
10	10.14889157	11.85306343	-1.70417186
11	34.72751071	33.50733697	1.22017374
12	35.21363372	34.72963560	0.48399812
13	21.14237451	14.86449177	6.27788274
14	15.36229150	17.23074648	-1.86845499
15	3.16227766	7.57170542	-4.40942776
16	7.41619849	11.98990937	-4.57371088
17	4.12310563	3.47482438	0.64828124
18	27.91057147	23.98514184	3.92542964

Suma de residuales	-0.0000000
Suma de residuales cuadrados	194.5225594
Suma de residuales cuadrados - Error SS	0.0000000
Autocorrelación de primer orden	-0.1646764
Durbin-Watson D	2.2403100

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba de Student-Newman-Keuls para consumo

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I bajo la hipótesis null completa, pero no bajo las hipótesis null parciales.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	6
Error de cuadrado medio	51785.24

Número de medias	2	3
Rango crítico	321.485	403.10563

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

SNK Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	531.8	6	T2
A			
A	425.5	6	T3
B	30.0	6	T1

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba de Student-Newman-Keuls para lconsumo

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I bajo la hipótesis null completa, pero no bajo las hipótesis null parciales.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	6
Error de cuadrado medio	0.737886

Número de medias	2	3
Rango crítico	1.2135352	1.5216351

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

SNK Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	5.9240	6	T2
A			
A	5.6167	6	T3
B	3.0304	6	T1

Sistema SAS

Procedimiento UNIVARIATE
Variable: rconsumo

Momentos

N	18	Pesos de la suma	18
Media	0	Observaciones de la suma	0
Desviación típica	135.192987	Varianza	18277.1438
Asimetría	0.0858444	Curtosis	-0.7642067
Suma de cuadrados no corregidos	310711.444	Suma de cuadrados corregidos	310711.444
Coeficiente de variación	.	Media de error estándar	31.8652927

Medidas estadísticas básicas

Localización		Variabilidad	
Media	0.00000	Desviación típica	135.19299
Mediana	10.97222	Varianza	18277
Moda	.	Rango	468.66667
		Rango intercuantil	215.50000

Tests para posición: Mu0=0

Test	-Estadístico-		-----P-valor------	
T de Student	t	0	Pr > |t|	1.0000
Signo	M	1	Pr >= |M|	0.8145
Puntuación con signo	S	-2.5	Pr >= |S|	0.9323

Tests para normalidad

Test	--Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	#11 X	0.961603	Pr < W	0.6329
Kolmogorov-Smirnov	D	0.124425	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.041538	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.266974	Pr > A-Sq	>0.2500

Cuantiles (Definición 5)

Cuantil	Estimador
100% Máx	266.3889
99%	266.3889
95%	266.3889
90%	181.2222
75% Q3	92.5556
50% Mediana	10.9722
25% Q1	-122.9444
10%	-194.4444

Sistema SAS

Procedimiento UNIVARIATE
Variable: rconsumo

Cuantiles (Definición 5)

Cuantil	Estimador
5%	-202.2778
1%	-202.2778
0% Mín	-202.2778

Observaciones extremas

-------Inferior-------		--------Superior-------	
Valor	Observación	Valor	Observación
-202.278	2	92.5556	1
-194.444	10	109.7222	3
-172.944	9	122.0556	11
-143.444	15	181.2222	8
-122.944	14	266.3889	13

Sistema SAS

Procedimiento UNIVARIATE
Variable: rlconsumo

Momentos

N	18	Pesos de la suma	18
Media	0	Observaciones de la suma	0
Desviación típica	0.51032379	Varianza	0.26043037
Asimetría	-0.2797354	Curtosis	-0.3509016
Suma de cuadrados no corregidos	4.42731625	Suma de cuadrados corregidos	4.42731625
Coeficiente de variación	.	Media de error estándar	0.12028447

Medidas estadísticas básicas

Localización		Variabilidad	
Media	0.000000	Desviación típica	0.51032
Mediana	0.051670	Varianza	0.26043
Moda	.	Rango	1.89713
		Rango intercuantil	0.60588

Tests para posición: Mu0=0

Test	-Estadístico-		-----P-valor------	
T de Student	t	0	Pr > |t|	1.0000
Signo	M	1	Pr >= |M|	0.8145
Puntuación con signo	S	0.5	Pr >= |S|	1.0000

Tests para normalidad

Test	--Estadístico--		-----P-valor------	

Shapiro-Wilk	#11 X	0.981606	Pr < W	0.9651
Kolmogorov-Smirnov	D	0.089029	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.020092	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.148222	Pr > A-Sq	>0.2500

Cuantiles (Definición 5)

Cuantil	Estimador
100% Máx	0.8659610
99%	0.8659610
95%	0.8659610
90%	0.6664651
75% Q3	0.3546433
50% Mediana	0.0516704
25% Q1	-0.2512354
10%	-0.7193456

Sistema SAS

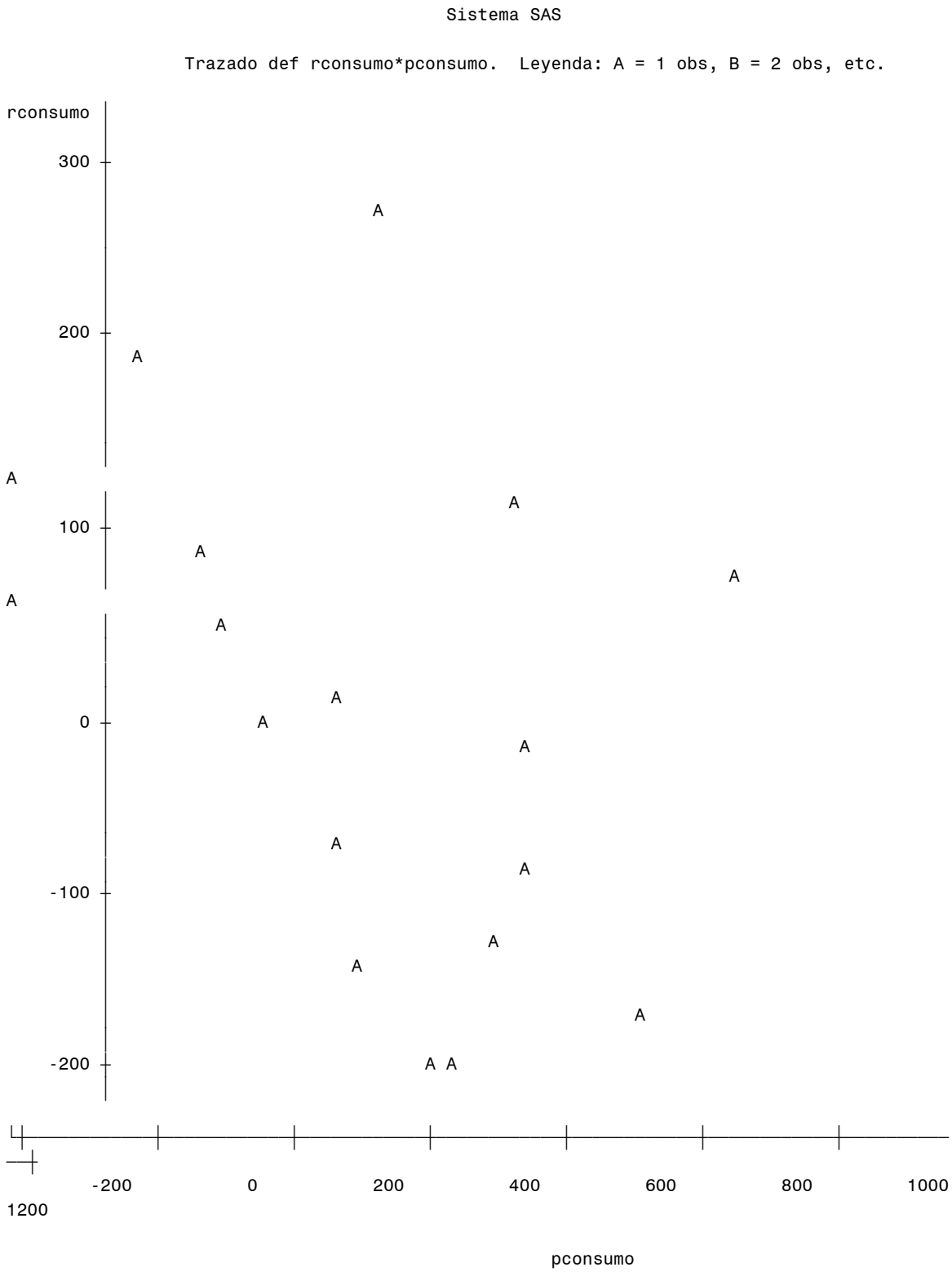
Procedimiento UNIVARIATE
Variable: rlconsumo

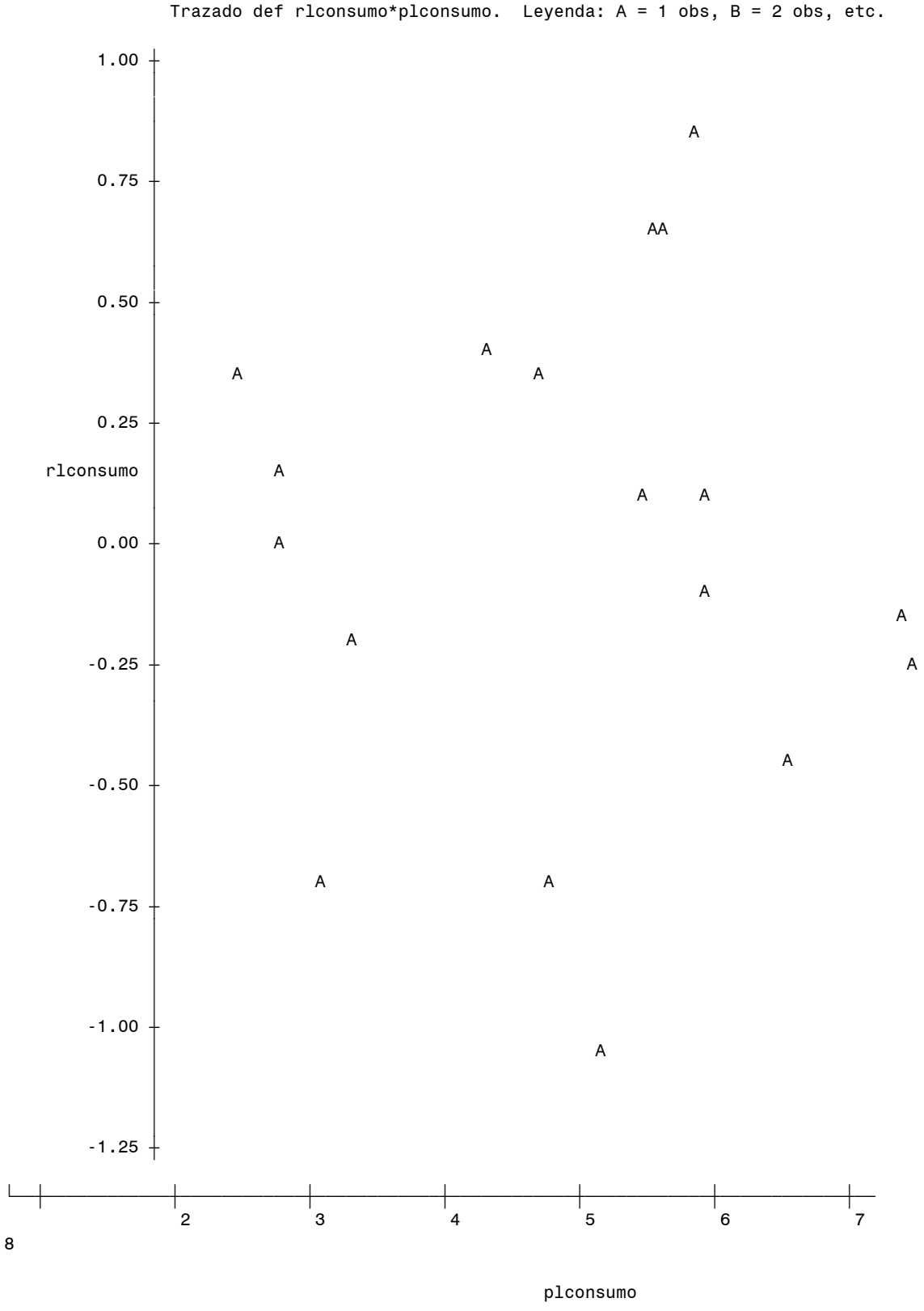
Cuantiles (Definición 5)

Cuantil	Estimador
5%	-1.0311674
1%	-1.0311674
0% Mín	-1.0311674

Observaciones extremas

--------Inferior-------		--------Superior-------	
Valor	Observación	Valor	Observación
-1.031167	16	0.354643	8
-0.719346	15	0.397851	10
-0.683777	2	0.633317	13
-0.450798	9	0.666465	3
-0.251235	11	0.865961	18


Sistema SAS
Trazado def rconsumo*pconsumo. Leyenda: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.
rconsumo
300
200
100
0
-100
-200
-200
0
200
400
600
800
1000
1200
pconsumo


Trazado def rlconsumo*plconsumo. Leyenda: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
-0.50
-0.75
-1.00
-1.25
rlconsumo
2
3
4
5
6
7
8
plconsumo

Grupo 2. SIP + Melaza o Glicerol + Suplemento comercial (Con estimación de unidad perdida por método de covariable) (SAS)

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
cuadrado	2	1 2
periodo	3	1 2 3
vaca	6	1 2 3 4 5 6
tratamiento	3	T1 T2 T3

Número de observaciones 18

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: consumo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	12	4468809.667	372400.806	41.60	0.0003
Error	5	44758.333	8951.667		
Total correcto	17	4513568.000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	consumo Media
0.990084	5.616141	94.61325	1684.667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
cuadrado	1	320000.000	320000.000	35.75	0.0019
vaca(cuadrado)	4	664366.667	166091.667	18.55	0.0033
periodo(cuadrado)	4	1885872.667	471468.167	52.67	0.0003
tratamiento	2	747369.000	373684.500	41.74	0.0008
cov	1	851201.333	851201.333	95.09	0.0002

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F

cuadrado	1	30628.7619	30628.7619	3.42	0.1236
vaca(cuadrado)	4	107886.2000	26971.5500	3.01	0.1288
periodo(cuadrado)	4	476465.2000	119116.3000	13.31	0.0071
tratamiento	2	756764.0833	378382.0417	42.27	0.0007
cov	1	851201.3333	851201.3333	95.09	0.0002

Parámetro			Estimación		Error estándar	Valor t	Pr > |t|
Término independiente			2128.388889	B	77.7860115	27.36	<.0001
cuadrado	1		98.111111	B	101.3796799	0.97	0.3776
cuadrado	2		0.000000	B	.	.	.
vaca(cuadrado)	1	1	-212.333333	B	77.2513934	-2.75	0.0404
vaca(cuadrado)	2	1	-101.000000	B	94.6132478	-1.07	0.3346
vaca(cuadrado)	3	1	0.000000	B	.	.	.
vaca(cuadrado)	4	2	147.000000	B	77.2513934	1.90	0.1154
vaca(cuadrado)	5	2	11.000000	B	77.2513934	0.14	0.8923
vaca(cuadrado)	6	2	0.000000	B	.	.	.
periodo(cuadrado)	1	1	-435.333333	B	94.6132478	-4.60	0.0058
periodo(cuadrado)	2	1	-172.000000	B	77.2513934	-2.23	0.0765
periodo(cuadrado)	3	1	0.000000	B	.	.	.

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: consumo

Parámetro			Estimación		Error estándar	Valor t	Pr > |t|
periodo(cuadrado)	1	2	-417.666667	B	77.2513934	-5.41	0.0029
periodo(cuadrado)	2	2	-99.333333	B	77.2513934	-1.29	0.2548
periodo(cuadrado)	3	2	0.000000	B	.	.	.
tratamiento	T1		-480.000000	B	54.6249841	-8.79	0.0003
tratamiento	T2		-92.166667	B	61.0725889	-1.51	0.1916
tratamiento	T3		0.000000	B	.	.	.
cov			1598.000000		163.8749523	9.75	0.0002

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para consumo

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	5
Error de cuadrado medio	8951.667
Valor crítico del rango estudentizado	4.60166
Diferencia significativa mínima	177.74

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	tratamiento
A	1964.17	6	T3
B	1605.67	6	T2
B			
B	1484.17	6	T1

Sistema SAS

Procedimiento UNIVARIATE
Variable: rconsumo

Momentos

N	18	Pesos de la suma	18
Media	0	Observaciones de la suma	0
Desviación típica	51.3112379	Varianza	2632.84314
Asimetría	-0.0390295	Curtosis	-0.6081211
Suma de cuadrados no corregidos	44758.3333	Suma de cuadrados corregidos	44758.3333
Coeficiente de variación	.	Media de error estándar	12.0941748

Medidas estadísticas básicas

Localización		Variabilidad	
Media	0.00000	Desviación típica	51.31124
Mediana	-2.00000	Varianza	2633
Moda	.	Rango	184.16667
		Rango intercuantil	67.66667

Tests para posición: MuO=O

Test	-Estadístico-		-----P-valor------	
T de Student	t	0	Pr > |t|	1.0000
Signo	M	0	Pr >= |M|	1.0000
Puntuación con signo	S	1.5	Pr >= |S|	0.9576

Tests para normalidad

Test	--Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	#11 X	0.980727	Pr < W	0.9572
Kolmogorov-Smirnov	D	0.104067	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.02025	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.142381	Pr > A-Sq	>0.2500

Cuantiles (Definición 5)

Cuantil	Estimador

100%	Máx	96.7778
99%		96.7778
95%		96.7778
90%		66.2778
75%	Q3	33.8333
50%	Mediana	-2.0000
25%	Q1	-33.8333
10%		-80.0556

Sistema SAS

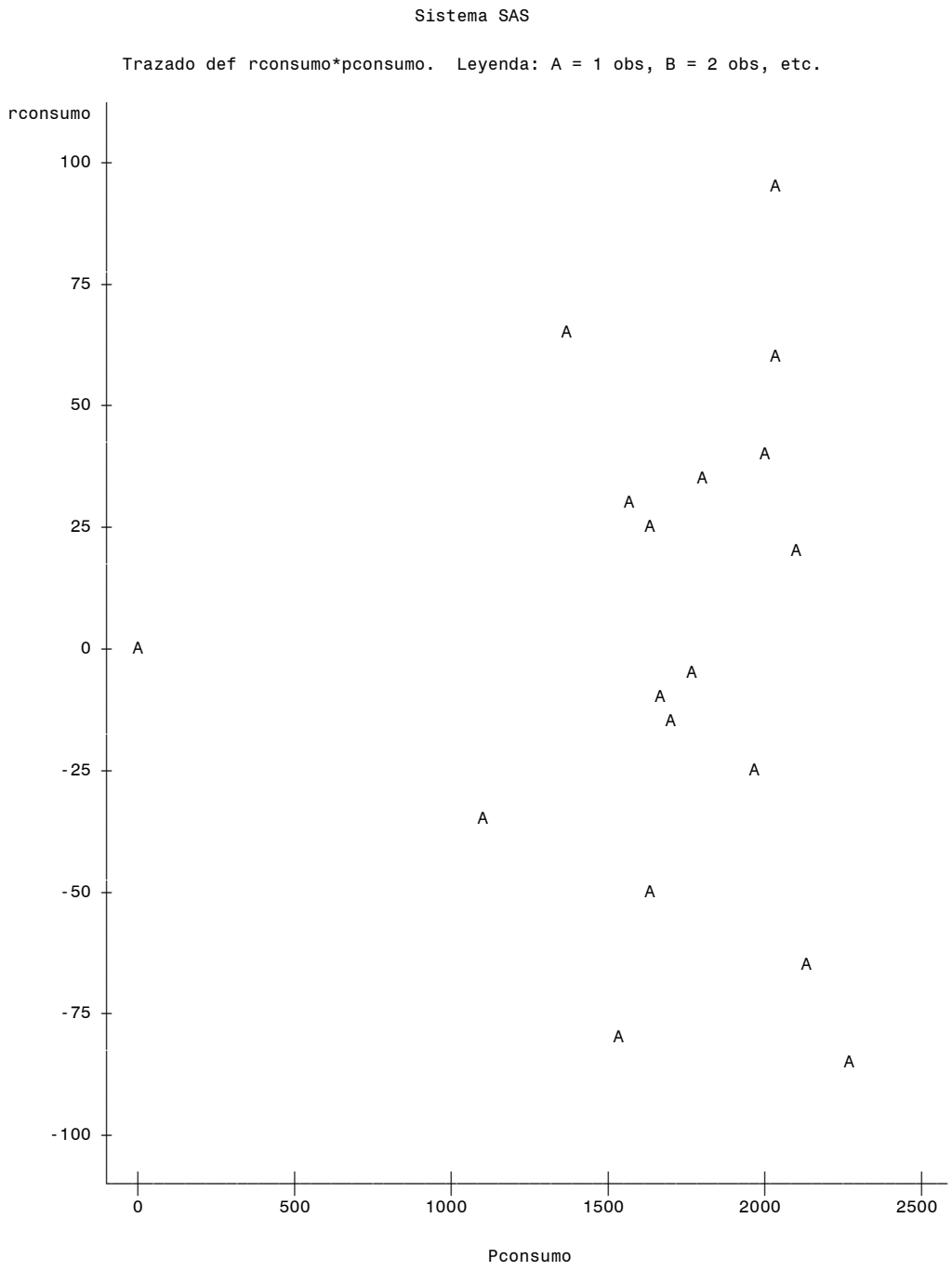
Procedimiento UNIVARIATE
Variable: rconsumo

Cuantiles (Definición 5)

Cuantil	Estimador
5%	-87.3889
1%	-87.3889
0% Mín	-87.3889

Observaciones extremas

-------Inferior-------		-------Superior-------	
Valor	Observación	Valor	Observación
-87.3889	12	33.8333	7
-80.0556	17	37.8333	3
-64.3333	9	58.9444	14
-49.5556	13	66.2778	10
-33.8333	1	96.7778	18



5.2 Anexo 2. Análisis estadístico variables evaluadas capítulo 3.

Consumo total (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
Periodo	2	1 2
tratamiento	2	control papel
grupo	2	1 2

Dimensiones

Parámetros de covarianza	2
Columnas en X	7
Columnas en Z	8
Asuntos	1
Obs máx por Tema	16

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	16
Número de observaciones usadas	16
Número de observaciones no usada	0

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	55.00892618	
1	1	48.37141266	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Estimador
Vaca(grupo)	2.6320
Residual	0.5854

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	48.4
AIC (Smaller is Better)	52.4
AICC (Smaller is Better)	53.7
BIC (Smaller is Better)	52.5

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
grupo	1	6	0.02	0.8991
tratamiento	1	6	1.46	0.2722
Periodo	1	6	0.25	0.6371

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tratamiento	**control**	17.6550	0.6342	6	27.84	<.0001
tratamiento	**papel**	18.1175	0.6342	6	28.57	<.0001

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	_tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
tratamiento	**control**	**papel**	-0.4625	0.3826	6	-1.21	0.2722	Tukey-Kramer	0.2722

Procedimiento MEANS

Variable de análisis : total

Periodo	tratamiento	Número de observaciones	N	Media	Dev std	Mínimo	Máximo
1	**control**	**4**	4	17.6400000	1.2825236	15.9000000	18.6700000
	papel	**4**	4	17.9425000	1.3398103	16.2900000	19.2200000
2	**control**	**4**	4	17.6700000	2.2597788	15.5200000	20.0400000
	papel	**4**	4	18.2925000	2.0792046	15.3300000	20.1600000

Consumo de forraje (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Periodo	2	1 2
tratamiento	2	control papel
grupo	2	1 2

Dimensiones

Parámetros de covarianza	2
Columnas en X	7
Columnas en Z	8
Asuntos	1
Obs máx por Tema	16

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	16
Número de observaciones usadas	16
Número de observaciones no usada	0

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	54.89236811	
1	1	47.49296212	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Estimador
Vaca(grupo)	2.6823
Residual	0.5040

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	47.5
AIC (Smaller is Better)	51.5
AICC (Smaller is Better)	52.8

Estadísticos de ajuste

BIC (Smaller is Better)	51.7

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
Grupo	1	6	0.15	0.7085
tratamiento	1	6	3.86	0.0970
Periodo	1	6	2.02	0.2047

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tratamiento	**control**	10.6450	0.6311	6	16.87	<.0001
tratamiento	**papel**	9.9475	0.6311	6	15.76	<.0001

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	_tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
tratamiento	**control**	**papel**	0.6975	0.3550	6	1.96	0.0970	Tukey-Kramer	0.0970

Procedimiento MEANS

Variable de análisis : forraje

Periodo	tratamiento	Número de observaciones	N	Media	Dev std	Mínimo	Máximo
1	**control**	**4**	4	10.6300000	1.2825236	8.8900000	11.6600000
	papel	**4**	4	9.4575000	1.3827840	7.8100000	10.8200000
2	**control**	**4**	4	10.6600000	2.2597788	8.5100000	13.0300000
	papel	**4**	4	10.4375000	2.0203197	7.5500000	12.2000000

Consumo de MS digestible (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
Periodo	2	1 2
tratamiento	2	control papel
grupo	2	1 2

Dimensiones

Parámetros de covarianza	2
Columnas en X	7
Columnas en Z	8
Asuntos	1
Obs máx por Tema	16

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	16
Número de observaciones usadas	16
Número de observaciones no usada	0

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	44.59095484	
1	1	36.99872937	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Estimador
Vaca(grupo)	1.1442
Residual	0.2062

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	37.0
AIC (Smaller is Better)	41.0
AICC (Smaller is Better)	42.3
BIC (Smaller is Better)	41.2

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
Grupo	1	6	0.26	0.6306
tratamiento	1	6	0.11	0.7524
Periodo	1	6	40.78	0.0007

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	Periodo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
Periodo	**1**	10.9125	0.4109	6	26.56	<.0001
Periodo	**2**	12.3625	0.4109	6	30.09	<.0001

Procedimiento MEANS

Variable de análisis : MSdigest

Periodo	tratamiento	Número de observaciones	N	Media	Dev std	Mínimo	Máximo
1	**control**	**4**	4	11.1500000	0.9609024	9.9000000	12.0000000
	papel	**4**	4	10.6750000	0.8732125	9.6000000	11.7000000
2	**control**	**4**	4	12.2000000	1.3589211	11.0000000	13.7000000
	papel	**4**	4	12.5250000	1.3671747	10.5000000	13.4000000

Producción de leche (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
periodo	2	1 2
tiempo	3	14 28 42
tratamiento	2	control papel

Dimensiones

Parámetros de covarianza	6
Columnas en X	28
Columnas en Z	0
Asuntos	16
Obs máx por Tema	3

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	56
Número de observaciones usadas	48
Número de observaciones no usada	8

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	152.40490807	
1	2	148.22607668	0.02451670
2	1	146.86376639	0.00708201
3	1	146.48954498	0.00122616
4	1	146.42858878	0.00007722
5	1	146.42502915	0.00000057
6	1	146.42500410	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Asunto	Estimador
UN(1,1)	**vaca*periodo**	2.6174
UN(2,1)	**vaca*periodo**	-0.8085
UN(2,2)	**vaca*periodo**	1.6443

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Asunto	Estimador
UN(3,1)	**vaca*periodo**	0.5911
UN(3,2)	**vaca*periodo**	-1.4849
UN(3,3)	**vaca*periodo**	3.6734

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	146.4
AIC (Smaller is Better)	158.4
AICC (Smaller is Better)	161.8
BIC (Smaller is Better)	163.1

Test del ratio de verosimilitud del modelo nulo

DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
5	5.98	0.3082

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
Intercept					2.5310	0.9968	9.93	2.54	0.0296
Vaca		**5793**			-1.8214	0.8348	6	-2.18	0.0719
Vaca		**5795**			-1.3487	0.8348	6	-1.62	0.1573
Vaca		**5799**			-1.1649	0.8348	6	-1.40	0.2124
Vaca		**5825**			-0.6000	0.8348	6	-0.72	0.4994
Vaca		**5831**			-0.04352	0.8348	6	-0.05	0.9601
Vaca		**5834**			-0.6652	0.8348	6	-0.80	0.4559
Vaca		**7916**			-0.8342	0.8348	6	-1.00	0.3563
Vaca		**7919**			0	.	.	.	.
periodo			**1**		1.4900	0.9583	7.6	1.55	0.1606
periodo			**2**		0	.	.	.	.
tratamiento	**control**				-0.1700	0.9583	7.6	-0.18	0.8638
tratamiento	**papel**				0	.	.	.	.
Tiempo				**14**	-3.4244	0.9787	13	-3.50	0.0039
Tiempo				**28**	-4.3912	1.2466	13	-3.52	0.0037
tiempo				**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**1**	**14**	-4.1788	1.1301	13	-3.70	0.0027
periodo*tiempo			**1**	**28**	-0.3875	1.4394	13	-0.27	0.7920
periodo*tiempo			**1**	**42**	0	.	.	.	.

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
periodo*tiempo			**2**	**14**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**28**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**14**	1.6412	1.1301	13	1.45	0.1701
tiempo*tratamiento	**papel**			**14**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**28**	0.02000	1.4394	13	0.01	0.9891
tiempo*tratamiento	**papel**			**28**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**papel**			**42**	0	.	.	.	.

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
Vaca	7	6	1.13	0.4503
Periodo	1	6.83	0.01	0.9305
Tratamiento	1	6.83	1.17	0.3161
Tiempo	2	12	33.52	<.0001
periodo*tiempo	2	12	8.72	0.0046
tiempo*tratamiento	2	12	1.44	0.2740

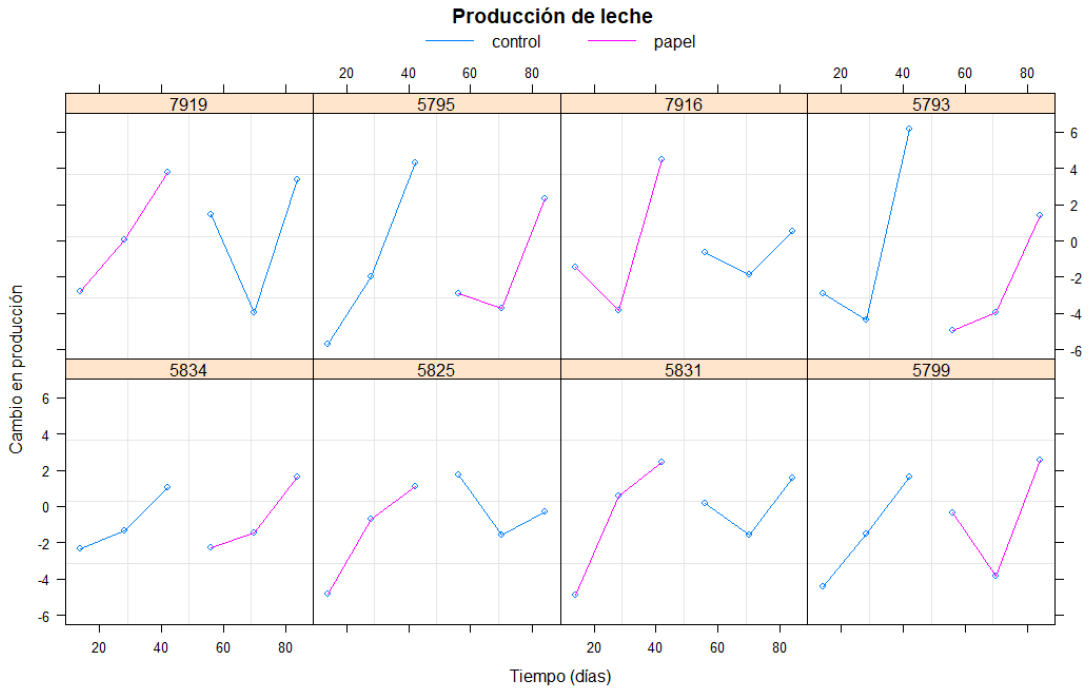
Medias de mínimos cuadrados

Efecto	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
periodo*tiempo	**1**	**14**	-3.6562	0.5720	9.99	-6.39	<.0001
periodo*tiempo	**1**	**28**	-1.6425	0.4534	8.63	-3.62	0.0059
periodo*tiempo	**1**	**42**	3.1263	0.6776	7.6	4.61	0.0020
periodo*tiempo	**2**	**14**	-0.9675	0.5720	9.99	-1.69	0.1217
periodo*tiempo	**2**	**28**	-2.7450	0.4534	8.63	-6.05	0.0002
periodo*tiempo	**2**	**42**	1.6362	0.6776	7.6	2.41	0.0438
tiempo		**14**	-2.3119	0.4045	9.99	-5.72	0.0002
tiempo		**28**	-2.1937	0.3206	8.63	-6.84	<.0001
tiempo		**42**	2.3812	0.4792	7.6	4.97	0.0013

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	periodo	tiempo	_periodo	_tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
periodo*tiempo	**1**	**14**	**1**	**28**	-2.0137	0.8572	13	-2.35	0.0353	Tukey-Kramer	0.2475
periodo*tiempo	**1**	**14**	**1**	**42**	-6.7825	0.7991	13	-8.49	<.0001	Tukey-Kramer	<.0001
periodo*tiempo	**1**	**14**	**2**	**14**	-2.6887	0.8089	9.99	-3.32	0.0077	Tukey-Kramer	0.0530
periodo*tiempo	**1**	**14**	**2**	**28**	-0.9113	0.7299	14.6	-1.25	0.2315	Tukey-Kramer	0.8057
periodo*tiempo	**1**	**14**	**2**	**42**	-5.2925	0.8868	19.7	-5.97	<.0001	Tukey-Kramer	0.0007
periodo*tiempo	**1**	**28**	**1**	**42**	-4.7688	1.0178	13	-4.69	0.0004	Tukey-Kramer	0.0054
periodo*tiempo	**1**	**28**	**2**	**14**	-0.6750	0.7299	14.6	-0.92	0.3701	Tukey-Kramer	0.9324
periodo*tiempo	**1**	**28**	**2**	**28**	1.1025	0.6411	8.63	1.72	0.1211	Tukey-Kramer	0.5450
periodo*tiempo	**1**	**28**	**2**	**42**	-3.2787	0.8153	14.6	-4.02	0.0012	Tukey-Kramer	0.0164
periodo*tiempo	**1**	**42**	**2**	**14**	4.0938	0.8868	19.7	4.62	0.0002	Tukey-Kramer	0.0061
periodo*tiempo	**1**	**42**	**2**	**28**	5.8712	0.8153	14.6	7.20	<.0001	Tukey-Kramer	0.0001
periodo*tiempo	**1**	**42**	**2**	**42**	1.4900	0.9583	7.6	1.55	0.1606	Tukey-Kramer	0.6394
periodo*tiempo	**2**	**14**	**2**	**28**	1.7775	0.8572	13	2.07	0.0586	Tukey-Kramer	0.3604
periodo*tiempo	**2**	**14**	**2**	**42**	-2.6037	0.7991	13	-3.26	0.0062	Tukey-Kramer	0.0591
periodo*tiempo	**2**	**28**	**2**	**42**	-4.3812	1.0178	13	-4.30	0.0009	Tukey-Kramer	0.0102
Tiempo		**14**		**28**	-0.1181	0.6062	13	-0.19	0.8485	Tukey-Kramer	0.9793
Tiempo		**14**		**42**	-4.6931	0.5651	13	-8.31	<.0001	Tukey-Kramer	<.0001
Tiempo		**28**		**42**	-4.5750	0.7197	13	-6.36	<.0001	Tukey-Kramer	<.0001

Efecto residual producción de leche (Lenguaje de programación R)



La tabla de análisis se observa a continuación:

Parametro	Estimador	Error estándar	Wald	Valor P	Significancia
Media	0,2680	1,4590	0,0300	0,8540	
Periodo_2	3,7250	0,6240	35,6000	0,0000	***
Tiempo	-6,1540	1,6550	13,8300	0,0002	***
Tratamiento_Papel	0,5130	0,3490	2,1600	0,1414	
Carryover_control	-2,2750	0,4150	29,9800	0,0000	***
Tiempo cuadrado	2,3870	0,4390	29,5900	0,0000	***
Periodo_2 xTiempo	-1,9960	0,2830	49,7300	0,0000	***
TiempoxCarryover_control	0,8140	0,1990	16,8000	0,0000	***

Para este caso el análisis se realiza de la siguiente manera:

Aunque el tratamiento papel tiene un promedio más alto, este no es significativo

Hay interacción de periodo por tiempo.

Hay efecto de tiempo al cuadrado, si se ve en la gráfica las curvas son parábolas.

Entonces el efecto residual se comporta de la siguiente manera:

		Tiempo

Carry over	Secuencia	14	28	42
	Control-Papel	-1,461	-0,647	0,167
	Papel-Control	1,461	0,647	-0,167

La correlación entre las diferentes mediciones es:

1,0000	-0,6793	0,4214	-0,4321	0,1083	-0,0960
-0,6790	1,0000	-1,0160	0,8686	-0,0005	0,4544
0,4210	-1,0000	1,0000	-1,0000	-0,4449	0,0233
-0,4320	0,8686	-1,0541	1,0000	-0,0579	0,2942
0,1080	-0,0005	-0,4449	-0,0579	1,0000	-0,3518
-0,0960	0,4544	0,0233	0,2942	-0,3518	1,0000

Leche corregida por energía (LCE) (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
periodo	2	1 2
tiempo	3	14 28 42
tratamiento	2	control papel

Dimensiones

Parámetros de covarianza	6
Columnas en X	28
Columnas en Z	0
Asuntos	16
Obs máx por Tema	3

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	48
Número de observaciones usadas	48

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	172.37944332	

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
1	2	168.28870900	153.23310495
2	1	161.52138324	2.21640934
3	1	159.57368278	0.05750317
4	1	156.11895278	0.02361869
5	1	154.69124713	0.00683926
6	1	154.29892636	0.00106224
7	1	154.24262244	0.00003970
8	1	154.24067527	0.00000008
9	1	154.24067160	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Asunto	Estimador
UN(1,1)	**vaca*periodo**	7.9442
UN(2,1)	**vaca*periodo**	-3.6017
UN(2,2)	**vaca*periodo**	3.1369
UN(3,1)	**vaca*periodo**	1.9092
UN(3,2)	**vaca*periodo**	-2.4987
UN(3,3)	**vaca*periodo**	3.0113

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	154.2
AIC (Smaller is Better)	166.2
AICC (Smaller is Better)	169.6
BIC (Smaller is Better)	170.9

Test del ratio de verosimilitud del modelo nulo

DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
5	18.14	0.0028

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
Intercept					1.3669	0.8211	11.8	1.66	0.1223
Vaca		**5793**			-1.7253	0.5003	6	-3.45	0.0137
Vaca		**5795**			-0.7816	0.5003	6	-1.56	0.1693
Vaca		**5799**			-1.0051	0.5003	6	-2.01	0.0913
Vaca		**5825**			-0.6851	0.5003	6	-1.37	0.2199
Vaca		**5831**			-0.3248	0.5003	6	-0.65	0.5403
Vaca		**5834**			-0.4117	0.5003	6	-0.82	0.4420
Vaca		**7916**			-0.4864	0.5003	6	-0.97	0.3685
Vaca		**7919**			0	.	.	.	.
Periodo			**1**		1.2812	0.8677	10.2	1.48	0.1701
periodo			**2**		0	.	.	.	.
tratamiento	**control**				0.4013	0.8677	10.2	0.46	0.6535
tratamiento	**papel**				0	.	.	.	.
tiempo				**14**	-1.4725	1.1568	13	-1.27	0.2253
tiempo				**28**	-2.4150	1.4456	13	-1.67	0.1187
tiempo				**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**1**	**14**	-5.4850	1.3358	13	-4.11	0.0012
periodo*tiempo			**1**	**28**	-0.2300	1.6692	13	-0.14	0.8925
periodo*tiempo			**1**	**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**14**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**28**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**14**	1.2425	1.3358	13	0.93	0.3692
tiempo*tratamiento	**papel**			**14**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**28**	-0.2400	1.6692	13	-0.14	0.8879
tiempo*tratamiento	**papel**			**28**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**papel**			**42**	0	.	.	.	.

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
vaca	7	6	2.18	0.1812
periodo	1	11.3	2.45	0.1447
tratamiento	1	11.3	3.41	0.0910

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
tiempo	2	12	18.02	0.0002
periodo*tiempo	2	12	7.79	0.0068
tiempo*tratamiento	2	12	0.41	0.6733

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo		**14**	-2.0631	0.7046	12.8	-2.93	0.0119
tiempo		**28**	-1.1194	0.4428	11.7	-2.53	0.0269
tiempo		**42**	1.5306	0.4338	10.2	3.53	0.0053
periodo*tiempo	**1**	**14**	-4.1650	0.9965	12.8	-4.18	0.0011
periodo*tiempo	**1**	**28**	-0.5938	0.6262	11.7	-0.95	0.3622
periodo*tiempo	**1**	**42**	2.1713	0.6135	10.2	3.54	0.0052
periodo*tiempo	**2**	**14**	0.03875	0.9965	12.8	0.04	0.9696
periodo*tiempo	**2**	**28**	-1.6450	0.6262	11.7	-2.63	0.0225
periodo*tiempo	**2**	**42**	0.8900	0.6135	10.2	1.45	0.1770

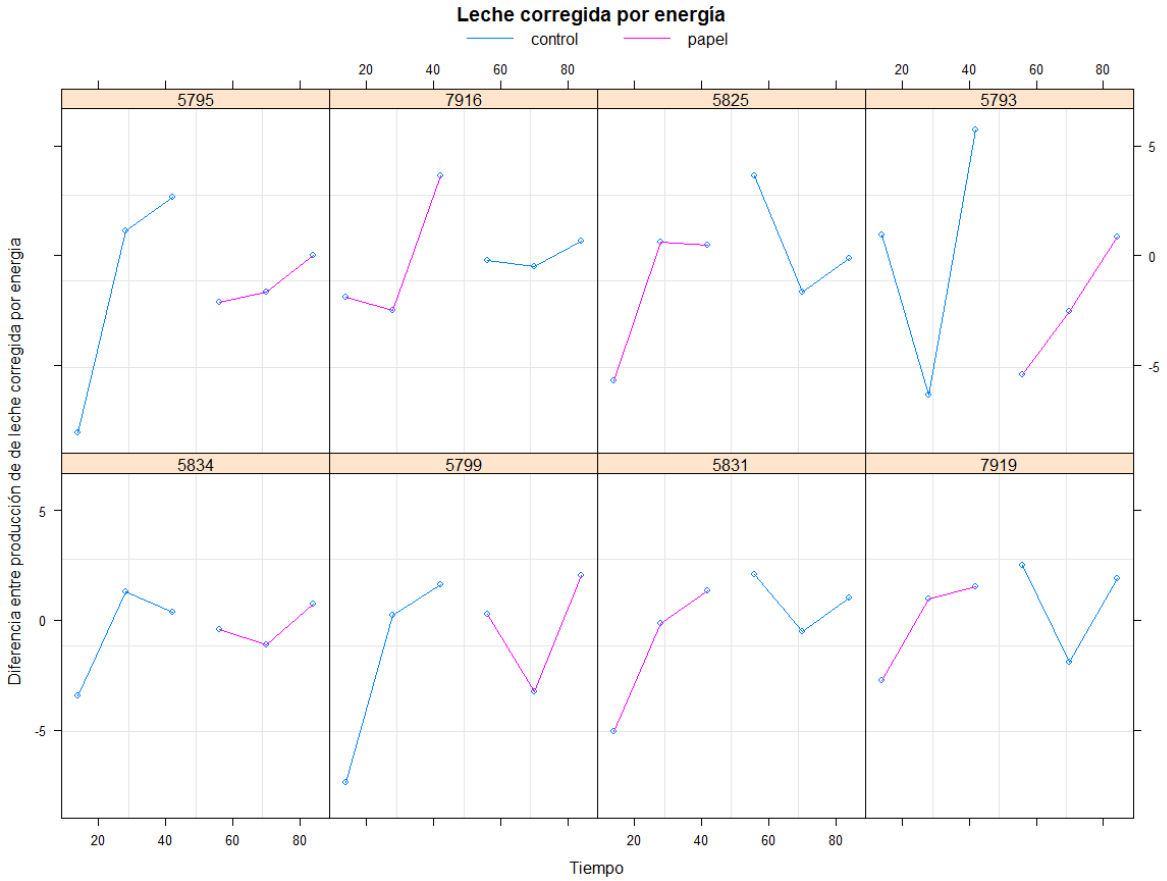
Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	periodo	tiempo	_periodo	_tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
tiempo		**14**		**28**	-0.9437	1.0690	13	-0.88	0.3934	Tukey-Kramer	0.6608
tiempo		**14**		**42**	-3.5937	0.6679	13	-5.38	0.0001	Tukey-Kramer	0.0004
tiempo		**28**		**42**	-2.6500	0.8346	13	-3.18	0.0073	Tukey-Kramer	0.0203
periodo*tiempo	**1**	**14**	**1**	**28**	-3.5712	1.5118	13	-2.36	0.0344	Tukey-Kramer	0.2429
periodo*tiempo	**1**	**14**	**1**	**42**	-6.3362	0.9445	13	-6.71	<.0001	Tukey-Kramer	0.0002
periodo*tiempo	**1**	**14**	**2**	**14**	-4.2038	1.4093	12.8	-2.98	0.0107	Tukey-Kramer	0.0931
periodo*tiempo	**1**	**14**	**2**	**28**	-2.5200	1.1769	15.8	-2.14	0.0482	Tukey-Kramer	0.3299
periodo*tiempo	**1**	**14**	**2**	**42**	-5.0550	1.1702	19.1	-4.32	0.0004	Tukey-Kramer	0.0099
periodo*tiempo	**1**	**28**	**1**	**42**	-2.7650	1.1803	13	-2.34	0.0357	Tukey-Kramer	0.2499
periodo*tiempo	**1**	**28**	**2**	**14**	-0.6325	1.1769	15.8	-0.54	0.5985	Tukey-Kramer	0.9933

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	periodo	tiempo	_periodo	_tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
periodo*tiempo	**1**	**28**	**2**	**28**	1.0513	0.8856	11.7	1.19	0.2587	Tukey-Kramer	0.8348
periodo*tiempo	**1**	**28**	**2**	**42**	-1.4838	0.8767	15.4	-1.69	0.1107	Tukey-Kramer	0.5604
periodo*tiempo	**1**	**42**	**2**	**14**	2.1325	1.1702	19.1	1.82	0.0841	Tukey-Kramer	0.4879
periodo*tiempo	**1**	**42**	**2**	**28**	3.8163	0.8767	15.4	4.35	0.0005	Tukey-Kramer	0.0094
periodo*tiempo	**1**	**42**	**2**	**42**	1.2812	0.8677	10.2	1.48	0.1701	Tukey-Kramer	0.6840
periodo*tiempo	**2**	**14**	**2**	**28**	1.6838	1.5118	13	1.11	0.2856	Tukey-Kramer	0.8667
periodo*tiempo	**2**	**14**	**2**	**42**	-0.8513	0.9445	13	-0.90	0.3839	Tukey-Kramer	0.9389
periodo*tiempo	**2**	**28**	**2**	**42**	-2.5350	1.1803	13	-2.15	0.0512	Tukey-Kramer	0.3270

Efecto residual Leche corregida por energía (LCE) (Lenguaje de programación R)



La tabla de análisis se observa

Parámetro	Estimador	Error estándar	Wald	Valor P	Significancia
Media	-4430	2,800	2,5	0,11355	
Periodo_2	5,743	1,288	19,89	0,0000082	***
Tiempo	-0,181	2,905	0	0,95029	
Tratamiento_Papel	0,245	0,31	0,62	0,42948	
Carryover_control	-2,619	0,53	24,4	0,00000078	***
Tiempo cuadrado	0,855	0,665	1,65	0,19911	
Periodo_2 xTiempo	-2741	0,573	22,86	0,0000017	***
TiempoxCarryover_control	0,888	0,232	14,69	0,00013	***

Para este caso el análisis se realiza de la siguiente manera:

Aunque el tratamiento papel tiene un promedio más alto, este no es significativo

Hay interacción de periodo por tiempo.

Hay efecto de tiempo al cuadrado, si se ve en la gráfica las curvas son parábolas.

Entonces el efecto residual se comporta de la siguiente manera:

		Tiempo		
Carry over	Secuencia	14	28	42
	Control-Papel	-1,731	-0,843	0,045
	Papel-Control	1,731	0,843	-0,045

Y la matriz de correlación entre vacas es:

1	-1	0,2593	-0,1654	-0,0754	0,2889
-1	1	-0,1571	0,0698	-0,0137	-0,139
0,2593	-0,1571	1	-0,3951	-0,1573	0,3821
-0,1654	0,0698	-0,3951	1	-0,2909	-0,1574
-0,0754	-0,0137	-0,1573	-0,2909	1	-0,316
0,2889	-0,139	0,3821	-0,1574	-0,316	1

Calidad de la leche

Grasa (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
periodo	2	1 2
tiempo	3	14 28 42
tratamiento	2	control papel

Dimensiones

Parámetros de covarianza	6
Columnas en X	28
Columnas en Z	0
Asuntos	16

Dimensiones

Obs máx por Tema	3

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	56
Número de observaciones usadas	48
Número de observaciones no usada	8

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	66.95530249	
1	2	51.93808107	0.49071791
2	1	49.76652311	0.20441666
3	1	48.56248628	0.09188378
4	1	47.96819710	0.03175005
5	1	47.75811708	0.00657536
6	1	47.71664806	0.00044206
7	1	47.71407662	0.00000267
8	1	47.71406175	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Asunto	Estimador
UN(1,1)	**vaca*periodo**	0.2831
UN(2,1)	**vaca*periodo**	-0.09412
UN(2,2)	**vaca*periodo**	0.2720
UN(3,1)	**vaca*periodo**	-0.02507
UN(3,2)	**vaca*periodo**	-0.03238
UN(3,3)	**vaca*periodo**	0.01424

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	47.7
AIC (Smaller is Better)	59.7
AICC (Smaller is Better)	63.1

Estadísticos de ajuste

BIC (Smaller is Better)	64.3

Test del ratio de verosimilitud del modelo nulo

DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
5	19.24	0.0017

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
Intercept					-0.5837	0.07401	7.77	-7.89	<.0001
Vaca		**5793**			0.2990	0.08010	6	3.73	0.0097
Vaca		**5795**			-0.09427	0.08010	6	-1.18	0.2838
Vaca		**5799**			0.2835	0.08010	6	3.54	0.0122
Vaca		**5825**			0.3230	0.08010	6	4.03	0.0069
Vaca		**5831**			0.09125	0.08010	6	1.14	0.2980
Vaca		**5834**			0.1736	0.08010	6	2.17	0.0733
Vaca		**7916**			0.3583	0.08010	6	4.47	0.0042
Vaca		**7919**			0	.	.	.	.
Periodo			**1**		-0.00875	0.05967	4.77	-0.15	0.8894
Periodo			**2**		0	.	.	.	.
tratamiento	**control**				0.2513	0.05967	4.77	4.21	0.0093
tratamiento	**papel**				0	.	.	.	.
Tiempo				**14**	0.6531	0.2552	13	2.56	0.0238
Tiempo				**28**	0.7769	0.2565	13	3.03	0.0097
tiempo				**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**1**	**14**	-0.5913	0.2947	13	-2.01	0.0661
periodo*tiempo			**1**	**28**	-0.02875	0.2962	13	-0.10	0.9242
periodo*tiempo			**1**	**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**14**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**28**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**14**	-0.2488	0.2947	13	-0.84	0.4139
tiempo*tratamiento	**papel**			**14**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**28**	-0.1012	0.2962	13	-0.34	0.7380

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo*tratamiento	**papel**			**28**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**papel**			**42**	0	.	.	.	.

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
vaca	7	6	8.58	0.0091
periodo	1	6.93	6.28	0.0410
tratamiento	1	6.93	2.45	0.1619
tiempo	2	12	12.32	0.0012
periodo*tiempo	2	12	1.88	0.1947
tiempo*tratamiento	2	12	0.40	0.6780

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo	**14**	-0.05000	0.1330	12.7	-0.38	0.7132
tiempo	**28**	0.4287	0.1304	12.1	3.29	0.0064
tiempo	**42**	-0.2831	0.02984	4.77	-9.49	0.0003

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	tiempo	_tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
tiempo	**14**	**28**	-0.4787	0.2155	13	-2.22	0.0447	Tukey-Kramer	0.1077
tiempo	**14**	**42**	0.2331	0.1474	13	1.58	0.1377	Tukey-Kramer	0.2904
tiempo	**28**	**42**	0.7119	0.1481	13	4.81	0.0003	Tukey-Kramer	0.0012

Proteína (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
periodo	2	1 2
tiempo	3	14 28 42
tratamiento	2	control papel

Dimensiones

Parámetros de covarianza	6
Columnas en X	28
Columnas en Z	0
Asuntos	16
Obs máx por Tema	3

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	56
Número de observaciones usadas	48
Número de observaciones no usada	8

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	-19.29204100	
1	4	-35.25168153	0.03305021
2	3	-35.80985908	0.00867457
3	1	-36.32746893	0.00424323
4	1	-36.58522910	0.00169823
5	1	-36.68424162	0.00040971
6	1	-36.70693578	0.00003690
7	1	-36.70880959	0.00000039
8	1	-36.70882855	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Asunto	Estimador
UN(1,1)	**vaca*periodo**	0.02314

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Asunto	Estimador
UN(2,1)	**vaca*periodo**	-0.00815
UN(2,2)	**vaca*periodo**	0.01609
UN(3,1)	**vaca*periodo**	0.003353
UN(3,2)	**vaca*periodo**	-0.00322
UN(3,3)	**vaca*periodo**	0.001527

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	-36.7
AIC (Smaller is Better)	-24.7
AICC (Smaller is Better)	-21.3
BIC (Smaller is Better)	-20.1

Test del ratio de verosimilitud del modelo nulo

DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
5	17.42	0.0038

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
Intercept					-0.03127	0.03336	9.77	-0.94	0.3713
Vaca		**5793**			-0.03768	0.04347	6	-0.87	0.4193
Vaca		**5795**			0.04765	0.04347	6	1.10	0.3150
Vaca		**5799**			-0.00068	0.04347	6	-0.02	0.9880
Vaca		**5825**			0.05463	0.04347	6	1.26	0.2556
Vaca		**5831**			0.04952	0.04347	6	1.14	0.2981
Vaca		**5834**			0.004122	0.04347	6	0.09	0.9276
Vaca		**7916**			0.06257	0.04347	6	1.44	0.2001
Vaca		**7919**			0	.	.	.	.
Periodo			**1**		5.21E-17	0.01954	8.18	0.00	1.0000
Periodo			**2**		0	.	.	.	.
tratamiento	**control**				-0.01750	0.01954	8.18	-0.90	0.3960
tratamiento	**papel**				0	.	.	.	.
tiempo				**14**	0.1669	0.05802	13	2.88	0.0130

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo				**28**	-0.03187	0.06716	13	-0.47	0.6429
tiempo				**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**1**	**14**	-0.1287	0.06700	13	-1.92	0.0768
periodo*tiempo			**1**	**28**	-0.01375	0.07754	13	-0.18	0.8620
periodo*tiempo			**1**	**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**14**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**28**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**14**	0.1912	0.06700	13	2.85	0.0135
tiempo*tratamiento	**papel**			**14**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**28**	0.001250	0.07754	13	0.02	0.9874
tiempo*tratamiento	**papel**			**28**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**papel**			**42**	0	.	.	.	.

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
vaca	7	6	1.36	0.3615
periodo	1	2.6	3.29	0.1816
tratamiento	1	2.6	3.17	0.1870
tiempo	2	12	16.60	0.0004
periodo*tiempo	2	12	2.04	0.1732
tiempo*tratamiento	2	12	4.22	0.0409

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo		**14**	0.1806	0.03803	9.29	4.75	0.0010
tiempo		**28**	-0.05562	0.03171	12.1	-1.75	0.1048
tiempo		**42**	-0.01750	0.009768	8.18	-1.79	0.1101
tiempo*tratamiento	**control**	**14**	0.2675	0.05378	9.29	4.97	0.0007
tiempo*tratamiento	**papel**	**14**	0.09375	0.05378	9.29	1.74	0.1142
tiempo*tratamiento	**control**	**28**	-0.06375	0.04485	12.1	-1.42	0.1805
tiempo*tratamiento	**papel**	**28**	-0.04750	0.04485	12.1	-1.06	0.3103

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo*tratamiento	**control**	**42**	-0.02625	0.01381	8.18	-1.90	0.0931
tiempo*tratamiento	**papel**	**42**	-0.00875	0.01381	8.18	-0.63	0.5438

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	tiempo	_tratamiento	_tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
tiempo		**14**		**28**	0.2362	0.05891	13	4.01	0.0015	Tukey-Kramer	0.0046
tiempo		**14**		**42**	0.1981	0.03350	13	5.91	<.0001	Tukey-Kramer	0.0002
tiempo		**28**		**42**	-0.03812	0.03877	13	-0.98	0.3434	Tukey-Kramer	0.6007
tiempo*tratamiento	**control**	**14**	**papel**	**14**	0.1737	0.07605	9.29	2.28	0.0473	Tukey-Kramer	0.2712
tiempo*tratamiento	**control**	**14**	**control**	**28**	0.3312	0.08331	13	3.98	0.0016	Tukey-Kramer	0.0177
tiempo*tratamiento	**control**	**14**	**papel**	**28**	0.3150	0.07002	16.7	4.50	0.0003	Tukey-Kramer	0.0074
tiempo*tratamiento	**control**	**14**	**control**	**42**	0.2937	0.04738	13	6.20	<.0001	Tukey-Kramer	0.0005
tiempo*tratamiento	**control**	**14**	**papel**	**42**	0.2762	0.05552	10.1	4.98	0.0005	Tukey-Kramer	0.0034
tiempo*tratamiento	**papel**	**14**	**control**	**28**	0.1575	0.07002	16.7	2.25	0.0383	Tukey-Kramer	0.2849
tiempo*tratamiento	**papel**	**14**	**papel**	**28**	0.1412	0.08331	13	1.70	0.1138	Tukey-Kramer	0.5588
tiempo*tratamiento	**papel**	**14**	**control**	**42**	0.1200	0.05552	10.1	2.16	0.0558	Tukey-Kramer	0.3212
tiempo*tratamiento	**papel**	**14**	**papel**	**42**	0.1025	0.04738	13	2.16	0.0497	Tukey-Kramer	0.3202
tiempo*tratamiento	**control**	**28**	**papel**	**28**	-0.01625	0.06342	12.1	-0.26	0.8021	Tukey-Kramer	0.9998
tiempo*tratamiento	**control**	**28**	**control**	**42**	-0.03750	0.05483	13	-0.68	0.5060	Tukey-Kramer	0.9805
tiempo*tratamiento	**control**	**28**	**papel**	**42**	-0.05500	0.04693	13.6	-1.17	0.2613	Tukey-Kramer	0.8416
tiempo*tratamiento	**papel**	**28**	**control**	**42**	-0.02125	0.04693	13.6	-0.45	0.6578	Tukey-Kramer	0.9970
tiempo*tratamiento	**papel**	**28**	**papel**	**42**	-0.03875	0.05483	13	-0.71	0.4922	Tukey-Kramer	0.9775
tiempo*tratamiento	**control**	**42**	**papel**	**42**	-0.01750	0.01954	8.18	-0.90	0.3960	Tukey-Kramer	0.9403

Sólidos totales (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
periodo	2	1 2
tiempo	3	14 28 42
tratamiento	2	control papel

Dimensiones

Parámetros de covarianza	6
Columnas en X	28
Columnas en Z	0
Asuntos	16
Obs máx por Tema	3

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	48
Número de observaciones usadas	48

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	64.36801772	
1	2	50.82424040	3.41178567
2	1	49.57325815	0.22658522
3	1	48.26165772	0.08645580
4	1	47.68866871	0.02621635
5	1	47.51431584	0.00415735
6	1	47.48815294	0.00016774
7	1	47.48717550	0.00000035
8	1	47.48717353	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Asunto	Estimador
UN(1,1)	**vaca*periodo**	0.2899
UN(2,1)	**vaca*periodo**	-0.03956
UN(2,2)	**vaca*periodo**	0.2972
UN(3,1)	**vaca*periodo**	0.007396
UN(3,2)	**vaca*periodo**	-0.01439
UN(3,3)	**vaca*periodo**	0.006253

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	47.5
AIC (Smaller is Better)	59.5
AICC (Smaller is Better)	62.8
BIC (Smaller is Better)	64.1

Test del ratio de verosimilitud del modelo nulo

DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
5	16.88	0.0047

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
Intercept					-0.7460	0.07682	6.39	-9.71	<.0001
vaca		**5793**			0.4235	0.1040	6	4.07	0.0066
vaca		**5795**			0.02627	0.1040	6	0.25	0.8089
vaca		**5799**			0.3942	0.1040	6	3.79	0.0091
vaca		**5825**			0.5254	0.1040	6	5.05	0.0023
vaca		**5831**			0.1187	0.1040	6	1.14	0.2970
vaca		**5834**			0.2269	0.1040	6	2.18	0.0718
vaca		**7916**			0.5926	0.1040	6	5.70	0.0013
vaca		**7919**			0	.	.	.	.
periodo			**1**		0.007500	0.03954	4.77	0.19	0.8574
periodo			**2**		0	.	.	.	.
tratamiento	**control**				0.2350	0.03954	4.77	5.94	0.0023
tratamiento	**papel**				0	.	.	.	.

Solución para efectos fijos

Efecto	tratamiento	vaca	periodo	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo				**14**	0.8900	0.2297	13	3.87	0.0019
tiempo				**28**	0.6413	0.2496	13	2.57	0.0233
tiempo				**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**1**	**14**	-0.6900	0.2652	13	-2.60	0.0219
periodo*tiempo			**1**	**28**	-0.00500	0.2882	13	-0.02	0.9864
periodo*tiempo			**1**	**42**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**14**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**28**	0	.	.	.	.
periodo*tiempo			**2**	**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**14**	0.02250	0.2652	13	0.08	0.9337
tiempo*tratamiento	**papel**			**14**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**28**	0.06000	0.2882	13	0.21	0.8383
tiempo*tratamiento	**papel**			**28**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**control**			**42**	0	.	.	.	.
tiempo*tratamiento	**papel**			**42**	0	.	.	.	.

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
vaca	7	6	9.59	0.0068
periodo	1	7.49	3.62	0.0962
tratamiento	1	7.49	4.96	0.0588
tiempo	2	12	19.75	0.0002
periodo*tiempo	2	12	3.15	0.0795
tiempo*tratamiento	2	12	0.02	0.9754

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo	**14**	0.2200	0.1346	12.1	1.63	0.1279
tiempo	**28**	0.3325	0.1363	11.9	2.44	0.0314

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tiempo	**42**	-0.3363	0.01977	4.77	-17.01	<.0001

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	tiempo	_tiempo	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
tiempo	**14**	**28**	-0.1125	0.2041	13	-0.55	0.5908	Tukey-Kramer	0.8478
tiempo	**14**	**42**	0.5562	0.1326	13	4.19	0.0011	Tukey-Kramer	0.0033
tiempo	**28**	**42**	0.6688	0.1441	13	4.64	0.0005	Tukey-Kramer	0.0015

Peso vivo y condición corporal

Peso vivo (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
periodo	2	1 2
tratamiento	2	1 2
grupo	2	1 2

Dimensiones

Parámetros de covarianza	2
Columnas en X	7
Columnas en Z	8
Asuntos	1
Obs máx por Tema	16

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	16

Número de observaciones

Número de observaciones usadas	16
Número de observaciones no usada	0

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	90.41037697	
1	1	86.00653970	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Estimador
vaca(grupo)	44.3333
Residual	17.1458

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	86.0
AIC (Smaller is Better)	90.0
AICC (Smaller is Better)	91.3
BIC (Smaller is Better)	90.2

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
grupo	1	6	1.54	0.2614
tratamiento	1	6	10.24	0.0186
periodo	1	6	15.40	0.0078

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tratamiento	**1**	-4.8750	2.7722	6	-1.76	0.1292
tratamiento	**2**	1.7500	2.7722	6	0.63	0.5511

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	_tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
tratamiento	**1**	**2**	-6.6250	2.0704	6	-3.20	0.0186	Tukey-Kramer	0.0186

Condición corporal (SAS)

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
vaca	8	5793 5795 5799 5825 5831 5834 7916 7919
periodo	2	1 2
tratamiento	2	1 2
grupo	2	1 2

Dimensiones

Parámetros de covarianza	2
Columnas en X	7
Columnas en Z	8
Asuntos	1
Obs máx por Tema	16

Número de observaciones

Número de observaciones leídas	16
Número de observaciones usadas	16
Número de observaciones no usada	0

Historia de iteración

Iteración	Evaluaciones	-2 Res Log Like	Criterio
0	1	-4.05501910	
1	1	-4.05501910	0.00000000

Criterio de convergencia cumplido.

Estimaciones del parámetro de covarianza

Parm Cov	Estimador
vaca(grupo)	0
Residual	0.02344

Estadísticos de ajuste

Verosimilitud -2 Res Log	-4.1
AIC (Smaller is Better)	-2.1
AICC (Smaller is Better)	-1.7

Estadísticos de ajuste

BIC (Smaller is Better)	-2.0

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
Grupo	1	6	0.00	1.0000
tratamiento	1	6	2.67	0.1536
Periodo	1	6	0.67	0.4454

Medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|
tratamiento	**1**	-0.03125	0.05413	6	-0.58	0.5847
tratamiento	**2**	0.09375	0.05413	6	1.73	0.1340

Diferencias de medias de mínimos cuadrados

Efecto	tratamiento	_tratamiento	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > |t|	Ajuste	Adj P
tratamiento	**1**	**2**	-0.1250	0.07655	6	-1.63	0.1536	Tukey	0.1536